ГОДИШНИК

НА ТЕХНИЧЕСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ

във Варна

том I

ВАРНА
2013

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ”

СБОРНИК ДОКЛАДИ

ЮБИЛЕЙНА НАУЧНА МЕЖДУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЯ 50 ГОДИНИ КАТЕДРА ЕТЕТ

Под патронажа на Ректора на Технически университет – Варна
проф. д-р инж. Овид Фархи

4-5 Октомври 2013

ГР. ВАРНА, БЪЛГАРИЯ

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

Председател: *доц. д-р инж. Слава Добрева Харизанова*
доц. д-р инж. Петър Георгиев Георгиев *доц. д-р инж. Мариана Георгиева Тодорова*
доц. д-р Драгомир Добрев Гроздев *доц. д-р инж. Бохос Рупен Апрахамян*
доц. д-р инж. Лора Василева Попова *доц. д-р инж. Павлина Калчева Тотева-Лютова*
доц. д-р инж. Радко Петров Михайлов
Секретар: *инж. Паолина Костова Политова*

Издател: Технически университет - Варна
ISSN: ***1311-896X***

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

Председател:
Доц. д-р инж. Бохос Апрахамян

Членове:
Доц. д-р инж. Мария Маринова
Доц. д-р инж. Христофор Тахрилов
Доц. д-р инж. Любомир Димитров
Доц. д-р инж. Борислав Димитров
Гл.ас. инж. Венелин Павлов
Гл.ас. инж. Янита Славова
Ас. инж. Майк Щреблау
Ас. инж. Татяна Димова
Ас. инж. Тодор Пенев
Ас. инж. Надежда Цветкова

ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ

Ирм Шеер-Понтенагел – Директор на Евросолар, Германия
Д-р Дитмар Шмидт – Соларен център – Мекленбург, Германия
Проф. дтн инж. Владимир Нагай – Новочеркаски политехнически институт, Русия
Проф. д-р инж. Етем Кьоклюкая – Декан на Инженерния факултет на Sakarya University, Турция

Проф. дтн инж. Димитър Димитров – ТУ-Варна
Проф. дтн инж. Сава Контров – ТУ-Варна
Проф. дтн инж. Иван Ячев – ТУ-София
Чл.кор. проф. дтн инж. Георги Младенов – ИЕ-БАН
Доц. д-р инж. Маринела Йорданова – ТУ-Варна
Доц. д-р инж. Валентин Стоянов – РУ-Русе
Проф. д-р инж. Иван Палов – РУ-Русе
Доц. д-р инж. Минчо Симеонов – ТУ-Габрово
Проф. дтн инж. Илиана Маринова – ТУ-София
Доц. д-р инж. Владимир Лазаров – ТУ-София
Проф. дтн инж. Емил Соколов – ТУ-София
Проф. дтн инж. Александър Александров – ТУ-София
Проф. дтн инж. Ганчо Божилов – ТУ-София
Проф. дтн инж. Минчо Минчев – ТУ-София

Инж. Димитър Голодов – Елдоминвест ООД
Инж. Стоян Йонков – АББ България ЕООД
Инж. Асен Георгиев – Теси ООД
Инж. Владимир Последович – Спарки Елтос АД
Инж. Цеко Геновски – Хюндай Хеви Индъстрис Ко. България АД
Проф. д-р Ангел Велчев – Балканско ехо ЕООД
Инж. Диана Петкова – Лонг Ман Холдинг АД
Инж. Тотко Тотев – Итън Индъстрис ЕООД
Инж. Николин Каябашев – Елиа АД
Инж. Трифон Гатев – ГТТ Инженеринг ООД
Инж. Йордан Костадинов – Коаттех ООД
Инж. Йордан Йорданов – ПС Електрик ООД
Инж. Младен Младенов – Политерм ООД
Инж. Ясен Янакиев – ЗАВН – Добрич АД
Инж. Ирена Митева – Община Варна

СЪДЪРЖАНИЕ
CONTENTS

ЕЛЕКТРОТЕХНИКА

ELECTRICAL ENGINEERING

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ВЪЗНИКВАЩАТА УДАРНА ВЪЛНА ПРИ ВИСОКОВОЛТОВ ПЕРИОДИЧНО ЗАТИХВАЩ РАЗРЯД В ТЕЧНОСТ
STUDY OF THE ARISING SHOCK WAVE PARAMETERS AT HIGH VOLTAGE PERIODICALLY ATTENUATING DISCHARGE IN LIQUID
Милена Д. Иванова, Стефан Т. Барудов 9

УЧЕТ ФАКТОРА РОСТА ЦЕН НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ
THE ACCOUNTING FACTOR OF RISE IN PRICES FOR ENERGY CARRIERS FOR ASSESSMENT EFFICIENCY OF DEVICES OF THE DISTRIBUTED GENERATION
Ирина Л. Кирпикова, Владислав П. Обоскалов, Татьяна Ю. Паниковская, Дмитрий И. Померанец 15

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ
IMPROVEMENT OF THE POWER SUPPLY RELIABILITY THROUGH OPTIMUM LOCATION OF THE SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION
Татьяна Ю. Паниковская, Дмитрий А. Чечушков 21

КОМПЮТЪРЕН МЕТОД ЗА БЕЗКОНТАКТНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПСИХОЛОГИЧЕН СТРЕС В ГОВОРА
COMPUTATIONAL METHODS FOR CONTACTLESS DETERMINATION OF PSYCHOLOGICAL STRESS SPEECH
Петър Ст. Апостолов 26

АНАЛИЗ И ИЗМЕРВАНЕ НА ВЕКТОРНИ ВЕЛИЧИНИ В ПРОЦЕСА НА ОБУЧЕНИЕ НА СТУДЕНТИТЕ ОТ ЕЛЕКТРОСПЕЦИАЛНОСТИТЕ В ТУ-ВАРНА ПО ТЕОРЕТИЧНА ЕЛЕКТРОТЕХНИКА
ANALYSIS AND MEASUREMENT OF VECTOR QUANTITIES IN THE PROCESS OF THE EDUCATION OF THE STUDENTS FROM THE ELECTRICAL SPECIALITIES OF TU-VARNA IN CIRCUIT THEORY
Емил И. Панов, Илонка Т. Лилянова, Мирослава Г. Донева, Вяра Й. Василева, Емил С. Барудов, Христо Ж. Караиванов, Златан К. Ганев 31

ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ И АПАРАТИ

ELECTRICAL MACHINES AND APPARATUS

ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ И СИЛОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ-ПЕРСПЕКТИВИ ЗА РАЗВИТИЕ И ПРОИЗВОДСТВО
ELECTRICAL MACHINERY AND POWER TRANSFORMERS-TRENDS FOR THE DEVELOPMENT AND PRODUCTION
Любомир В. Димитров 37

РАЗРАБОТВАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОНЕН ТЕРМОРЕГУЛАТОР С LCD ДИСПЛЕЙ
DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN ELECTRONIC THERMOSTAT WITH LCD DISPLAY
Илвер И. Сеидов, Снежинка Л. Захариева, Аврам С. Леви 49

ИЗСЛЕДВАНЕ КОНФИГУРАЦИЯТА НА МАГНИТНОТО ПОЛЕ В СЕПАРАТОРИ С ПОСТОЯННИ МАГНИТИ ЗА ОЧИСТВАНЕ НА СЛЪНЧОГЛЕДОВИ СЕМЕНА
EXPLORATION OF THE MAGNETIC FIELD CONFIGURATION IN PERMANENT MAGNET SEPARATORS FOR PURIFICATION OF SUNFLOWER SEEDS
Татяна Димова, Бохос Апрахамян, Майк Щреблау 54

ДИАГНОСТИКА И ПРОГНОЗИРАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ МАШИНИ ПРИ ПРОДЪЛЖИТЕЛНА ЕКСПЛОАТАЦИЯ
DIAGNOSIS AND PREDICTION OF RELIABILITY OF ELECTRICAL MACHINES FOR CONTINUOUS OPERATION
Тодор В. Пенев 59

ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ВАКУУМНИ КОНТАКТОРИ ЗА СРЕДНО И НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ
IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF VACUUM CONTACTORS FOR MEDIUM AND LOW VOLTAGE
Борислав Димитров, Димитър Димитров, Ангел Маринов, Георги Николов *67*

ИНТЕЛИГЕНТНА СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА НА СИЛОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ
INTELLIGENT SYSTEM FOR MONITORING AND DIAGNOSIS OF POWER TRANSFORMERS
Стефка Г. Кантурска, Любомир В. Димитров *73*

СИМУЛАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОНЕН ПУСКОВО РЕГУЛИРАЩ АПАРАТ ЗА ГАЗОРАЗРЯДНИ ЛАМПИ
SIMULATION STUDY OF STARTING AND ADJUSTING ELECTRONIC DEVICE FOR DISCHARGE LAMPS
Минчо Ф. Пеев, Димитър И. Димитров *79*

ВЪЗОБНОВЯЕМИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ И ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ

RENEWABLE ENERGY SOURCES AND ENERGY EFFICIENCY

ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРАТА НА ПОЧВАТА ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ЗАЗЕМИТЕЛНИ МРЕЖИ В ДВУСЛОЙНА ПОЧВЕНА СРЕДА
EARTHING GRID DESIGN IN THE TWO SOIL STRUCTURE
Росица Ф. Димитрова, Маргрета П. Василева, Маринела Й. Йорданова *85*

MULTIFUNCTIONAL ENERGY EFFECTIVE LED LAMP
Petko H. Mashkov, Berkant S. Gyoch, Hristo I. Beloev, Stanislav M. Penchev *89*

DESIGN OF ANTIREFLECTION WIDEBAND COATINGS FOR THE VISIBLE SPECTRAL REGION
Berkant S. Gyoch, Petko H. Mashkov, Stanislav M. Penchev *94*

ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА КОРАБНИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАЩИ СИСТЕМИ
ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT OF SHIP MOTOR DRIVEN SYSTEMS
Елена К. Кателиева *100*

ИЗСЛЕДВАНЕ РАБОТАТА НА РАЗВОЙНА СИСТЕМА ЗА ИМИТИРАНЕ НА ВЯТЪРНА ТУРБИНА
STUDY OF DEVELOPMENT SYSTEM FOR WIND TURBINE SIMULATION
Димитър М. Димитров, Милен Б. Бонев, Живко Г. Гроздев *108*

ИЗСЛЕДВАНЕ РАБОТАТА НА РАЗВОЙНА СИСТЕМА ИЗПОЛЗВАНА КАТО РЕГУЛИРУЕМ ИНВЕРТОР ЗА ВЕТРОГЕНЕРАТОР
STUDY OF DEVELOPMENT SYSTEM USING AS VSI FOR WIND GENERATOR
Димитър М. Димитров, Живко Г. Гроздев, Милен Б. Бонев *114*

ИЗСЛЕДВАНЕ НА АВТОНОМНИ ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ
RESEARCH OF STAND-ALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS
Светлозар К. Захариев, Димитър И. Димитров *120*

КОМПЕНСАЦИЯ НА РЕАКТИВНИ ТОВАРИ ВЪВ ФОТОВОЛТАИЧНИ ЦЕНТРАЛИ ПРИСЪЕДИНЕНИ НА СРЕДНО НАПРЕЖЕНИЕ 20 KV
REACTIVE POWER COMPENSATION IN PHOTOVOLTAIC PLANTS CONNECTED TO MEDIUM VOLTAGE 20 KV
Валентин Н. Гюров, Владимир Ч. Чиков, Никола И. Македонски, Румен М. Киров *126*

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, МИКРО И НАНОИНЖЕНЕРИНГ

ELECTRICAL TECHNOLOGIES, MICRO AND NANO ENGINEERING

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА КОНТАКТИТЕ НА КОНТАКТОРИ К6Е С ОТЛОЖЕНИ НАНОСТРУКТУРИРАНИ ПОКРИТИЯ В УСТАНОВЕН РЕЖИМ
STUDY OF THE TEMPERATURE OF THE CONTACTS OF THE CONTACTORS K6E WITH NANOSTRUCTURED COATINGS IN A STEADY STATE
Александър В. Гайдарджиев *131*

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВРЕМЕТО ЗА ГОРЕНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ДЪГА ПРИ ОТВАРЯНЕ НА КОНТАКТИТЕ НА КОНТАКТОРИ К6Е С ОТЛОЖЕНИ НАНОСТРУКТУРИРАНИ ПОКРИТИЯ
STUDY OF THE BURNING TIME OF THE ARC WHEN OPENING CONTACTORS K6E WITH NANOSTRUCTURED COATINGS
Бохос Р. Апрахамян, Александър В. Гайдарджиев, Майк Ю. Щреблау *136*

НАСТРОЙВАНЕ РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА ТЕМПЕРАТУРНОТО ПОЛЕ В НЕФЕРОМАГНИТНИ ДЕТАЙЛИ
ADJUSTMENT OF THE TEMPERATURE FIELD DISTRIBUTION IN NON-FERROMAGNETIC DETAILS
Илонка Т. Лилянова *140*

МЕТОДИКА ЗА ОЦЕНКА НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТТА НА ЕЛЕКТРОТЕРМИЧНИ УРЕДИ ЗА ПРИГОТВЯНЕ НА ХРАНА
METHODS FOR EVALUATION THE ENERGY EFFICIENCY ON ELECTROTHERMAL EQUIPMENTS
Янита С. Славова, Мария И. Маринова *145*

ЗАРЕЖДАНЕ, ТЕСТВАНЕ, РЕЦИКЛИРАНЕ И ИЗПИТАНИЯ НА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ
ACUMULATOR BATTERIES CHARGING, TESTING AND RECYCLING
Стоян С. Гишин *151*

МОБИЛЕН ПРОГРАМИРУЕМ РАЗРЯДЕН ТЕСТЕР С МИКРОПРОЦЕСОРНО УПРАВЛЕНИЕ, КОНТРОЛ И РЕГИСТРАЦИЯ ЗА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ
MOBILE PROGRAMMABLE DISCHARGE TESTER WITH MICROPROCESSOR MANAGEMENT, CONTROL AND REGISTRATION OF ACCUMULATOR BATTERIES
Стоян С. Гишин *155*

SOME NANOSTRUCTURES IN THE PRESENCE OF A LONGITUDINAL CONSTANT ELECTRIC FIELD
Adelina Miteva Miteva *159*

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТАЛОКЕРАМИЧНИ ПОКРИТИЯ, ПОЛУЧЕНИ ЧРЕЗ ПЛАЗМЕНО НАПЛАСТЯВАНЕ, В ЕЛЕКТРОТЕХНИКАТА
APPLICATION OF METAL CERAMIC COATINGS PRODUCED BY PLASMA SPRAYING, IN ELECTRICAL ENGINEERING
Божидар Дяков, Бохос Апрахамян *163*

ИЗСЛЕДВАНЕ ТЕРМОМЕХАНИЧНА УСТОЙЧИВОСТ НА СИСТЕМАТА АНОДЕН ОКСИД/АЛУМИНИЙ
INVESTIGATION OF THERMOMECHANICAL STABILITY OF A SYSTEM ANODE OXIDE/ALUMINUM
Ана Г. Банкова, Валентин Хр. Видеков, Боряна Р. Цанева *168*

COMPUTER SIMULATION STUDY OF THE ELECTRONIC STRUCTURE OF LINEAR QUANTUM WELLS IN AN ELECTRIC FIELD
Adelina Miteva Miteva *172*

СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ, ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ, РОБОТИ И МЕХАТРОНИКА

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНИКА И МИКРОЕЛЕКТРОНИКА

НОВИ МАТЕРИАЛИ И КОМПОНЕНТИ

МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА НА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ СЪОРЪЖЕНИЯ

CONTROL SYSTEMS, ELECTRICAL DRIVES, ROBOTICS AND MECHATRONICS

POWER ELECTRONICS AND MICROELECTRONICS

NEW MATERIALS AND COMPONENTS

MONITORING AND DIAGNOSTICS OF ELECTRICAL EQUIPMENT

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИЧНОГО ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО МАТЕРИАЛА В СИЛЬНОТОЧНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ
USE OF PLASTIC ELECTRICALLY CONDUCTIVE MATERIAL IN HIGH-CONTACT CONNECTION
Александр А. Казанцев, Игорь. А. Косорлуков 177

АНАЛИЗ НА ГРЕШКИТЕ ПРИ ВЕКТОРНИЯ АНАЛИЗ И ВЕКТОРНИТЕ ИЗМЕРВАНИЯ В АВТОТРАНСФОРМАТОРЕН ДИСКРЕТЕН РЕГУЛАТОР НА ПРОМЕНЛИВО НАПРЕЖЕНИЕ
ERROR ANALYSIS OF THE VECTOR ANALYSIS AND THE VECTOR MEASUREMENTS IN AN AUTOTRANSFORMER DISCRETE AC VOLTAGE REGULATOR
Емил Панов, Емил Барудов, Стефан Барудов 180

АДАПТИРАНЕ НА ОЕП НА СТЕРЕО ТВИС
ADAPTATION OF OPTICAL ELECTRONICS CONVERTER OF STEREO TV MEASURING SYSTEM
Росен П. Спиров, Нели С. Грънчарова, Георги А. Ангелов 185

БЕЗСЕНЗОРНО ДИРЕКТНО УПРАВЛЕНИЕ НА МОМЕНТА НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ
SENSORLESS DIRECT TORQUE CONTROL OF INDUCTION MOTOR
Е. Маринов, Ж. Жеков, Ц. Тодоров 191

ADVANCES IN SYTHESIS,DEPENDANCE OF VAPRIZATION OF MICRON SIZED PARTICLES IN THERMAL PLASMA AND THEIR APLICATION IN FUEL CELLS
G.Vissokov, K. Georgieva, Tz.Tzvetcov 196

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОБЪЕКТАХ БЮДЖЕТНОЙ СФЕРЫ
ANALYSIS METHODS TO REDUCE ENERGY LOSSES IN OBJECTS BUDGET SPHERE
Владимир Е. Семин, Виктор М. Дашков 201

ПРОБЛЕМИ НА ОБУЧЕНИЕТО ВЪВ ВИСШЕТО ОБРАЗОВАНИЕ

ПРОФЕСИОНАЛНО ОБУЧЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ЗА ВЕТРОВА ЕНЕРГЕТИКА

PROBLEMS OF HIGHER EDUCATION AND TRAINING

VOCATIONAL EDUCATION AND TRAINING IN WIND ENERGY TECHNOLOGIES

РАЗВИТИЕ НА ИНТЕРАКТИВНИ И ЕЛЕКТРОННО БАЗИРАНИ МЕТОДИ НА ПРЕПОДАВАНЕ ВЪВ ВИСШИТЕ УЧЕБНИ ЗАВЕДЕНИЯ
DEVELOPMENT OF INTERACTIVE AND ELECTRONIC BASED METHODS OF TEACHING IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS
Александрина И. Банкова 205

ОТНОСНО НЯКОИ АСПЕКТИ ЗА ВРЪЗКАТА НА ОБУЧЕНИЕТО С БИЗНЕСА. УЧАСТИЕТО НА КАРИЕРНИТЕ ЦЕНТРОВЕ КАТО ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ПЪЛНОЦЕННА РЕАЛИЗАЦИЯ НА СТУДЕНТИТЕ
ON CERTAIN ASPECTS OF THE RELATIONSHIP OF TEACHING BUSINESS. PARTICIPATION CAREER CENTERS AS AN OPPORTUNITY FOR THE FULL DEVELOPMENT OF STUDENTS
Александрина И. Банкова 210

THE TRAINWIND PROJECT: AN E-LEARNING PLATFORM FOR VOCATIONAL TRAINING IN WIND ENERGY TECHNOLOGIES
Ovid Farhi, Vencislav Valchev, Todor Ganchev, Valérie Vanhecke, Idoia Arteta Gorriz, Dirk Bischof, Hristo Nikolov, Velizar Kiriakov 215

COMPETENCE ASSESSMENT
Joke Six, Valérie Vanhecke 220

INTERACTIVE MULTIMEDIA TOOLS AND APPLICATIONS IN VOCATIONAL EDUCATION IN WIND ENERGY TECHNOLOGIES
Vencislav Valchev 225

СЕКЦИЯ

- **ЕЛЕКТРОТЕХНИКА**

SECTION

- **ELECTRICAL ENGINEERING**

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ВЪЗНИКВАЩАТА УДАРНА ВЪЛНА ПРИ ВИСОКОВОЛТОВ ПЕРИОДИЧНО ЗАТИХВАЩ РАЗРЯД В ТЕЧНОСТ

STUDY OF THE ARISING SHOCK WAVE PARAMETERS AT HIGH VOLTAGE PERIODICALLY ATTENUATING DISCHARGE IN LIQUID

Милена Д. Иванова, Стефан Т. Барудов

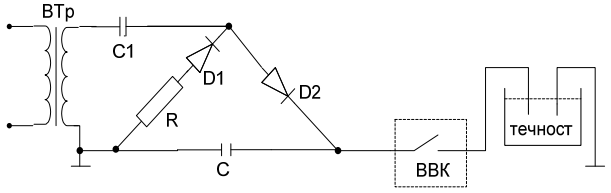
Резюме: Възникването на високоволтов разряд в течност е свързано с различни физико-химични процеси. При различни работни режими се наблюдават явления, като йонизация, ударни вълни и стримери, възникване на UV излъчване, възникване на различни химически активни компоненти. Настоящата работа е посветена на оценка изменението на налягането на възникващата ударна вълна, за случай на формиране на високоволтов периодично затихващ импулс в течност, като е обхванато влиянието на големината на напрежението, до което е заредена работната кондензаторна батерия и капацитета й.
Ключови думи: високоволтов периодично затихващ разряд в течност, капацитивно натрупване на енергия, ударна вълна в течност

Abstract: Appearance of high voltage discharge in liquid is associated with different physical and chemical processes. Under different operating modes, there are observed phenomena such as ionization, shockwaves and streamers, UV radiation, occurrence of various chemically active components. The present work is dedicated to evaluation of the arising shockwave pressure change in the case of formation of a high voltage periodically attenuating pulse in liquid, as the influence of the capacitance and voltage to which the work capacitor battery is charged are encompassed.
Keywords: capacitive energy accumulation, high voltage periodically attenuating discharge in liquid, shockwave in liquid

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Високоволтов рязряд в течност се използва за третиране на вода с различни цели, почистване на накипи и отлагания по тръби и много други [1,2,3]. Възникването на такъв вид разряд в течност е съпроводено с редица физични и химични процеси. При протичане на голям разряден ток в разрядния канал, плазмата в него се нагрява до температури $T_к$ от порядъка над 10^4 K, което предизвиква повишаване на налягането в канала $p_к$. Разрядният канал се разширява в близост до повърхността на канала възниква ударна вълна на налягане, която се разпространява в целия обем на течността. Това явление е известно като електрохидравличен ефект и намира приложение при технологиите за очистване на вода. Например, тази ударна вълна се използва при разрушаване на мембраните на различни видове бактерии и микрорганизими във вода с цел дезинфекция.

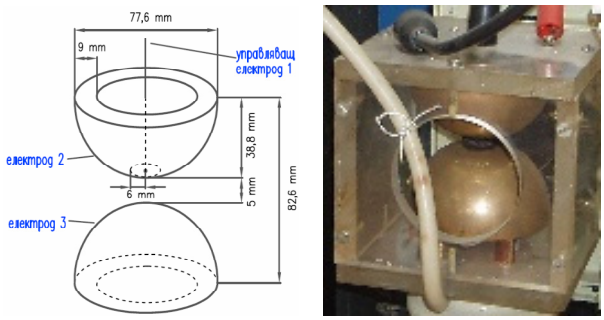
Експерименталният прототип за формиране на високоволтов периодично затихващ разряд в течна среда, с капацитивно натрупване на енергия е посочен на фиг.1 [4].



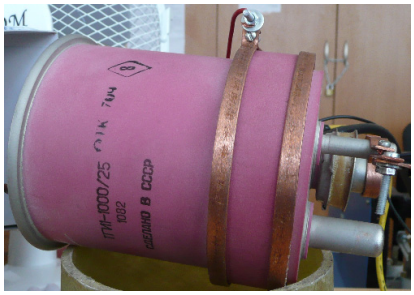
Фиг.1 Принципна схема за формиране на високоволтов разряд в течна среда

На фиг.1 С – капацитет на кондензаторната батерия, ВТр – високоволтов трансформатор, ВВК – високоволтов управляем ключ. В качеството на ВВК са използвани 2 вида - тригатрон (фиг.2а) и тиратрон ТГИ1-1000/25 (фиг.2б).

Веригите за управление на двата вида ВВК са описани в литература [5,6].



а/ тригатрон



б/тиратрон

Фиг. 2 Управляеми ВВК

Целта на работата е за случай на формиране на високоволтов периодично затихващ импулс в течност да се оцени изменението на налягането на възникващата ударна вълна, при използване на по-горе описаното схемно решение.

II. АНАЛИЗ

1. Моделиране на процесите

Максималното налягане, възникващо по повърхността на канала в течността се определя в края на времевия интервал от основното внасяне на енергията в разрядния канал, което се извършва през първия полупериод на разрядния ток. Тъй като времевия интервал е достатъчно малък, то може да се пренебрегне топлотдаването в околното пространство и процеса на нагряване на канала може да се счита за адиабатен [7]. Уравнението на адиабата може да се представи във вида:

$$p_к V_{к.е.д}^{\beta} = C_a, \qquad (1)$$

където $p_к$ – налягане в разрядния канал, $V_{к\ е.д.}$ – обем на разрядния канал за единица дължина на канала, β=1,26 – постоянен адиабат, C_a – константа.

Налягането в разрядния канал при постоянен брой на частиците в канала $N_к$, свързано с енергията, внесена в разрядния канал за единица дължина на канала $W_{к.е.д.}$, представлява съотношението

$$p_к = -\frac{dW_{к.е.д}}{dV_{к.е.д.}} \qquad (2)$$

Освен това, налягането в канала $p_к$ зависи и от скоростта на изменение на радиуса на канала $r_к$ според ур.3:

$$p_к = \rho_в \left(\frac{dr_к}{dt}\right)^2 \approx \rho_в \frac{r_к^2}{\tau_к^2}, \qquad (3)$$

където $\tau_к$ – основно време на внасяне на енергията в разрядния канал, $\rho_в$ – плътност на течността (вода), $r_к$ – радиус на канала в момент $\tau_к$.

В първо приближение:

$$\tau_к = \frac{T}{2}, \qquad (4)$$

където $T = 2\pi\sqrt{CL}$ – период на разряд на кондензаторната батерия с капацитет C на разрядния канал, L – индуктивност на разрядната верига.

От ур. 2:

$$dW_{к.е.д} = -p_к dV_{к.е.д.} = -\frac{C_a}{V_{к.е.д.}^{\beta}} dV_{к.е.д.}. \qquad (5)$$

След интегриране на ур. 5 и с използване на ур. 1 се получава:

$$W_{к.е.д} = C_a \frac{V_{к.е.д.}^{1-\beta}}{\beta - 1} = p_к V_{к.е.д.}^{\beta} \frac{V_{к.е.д.}^{1-\beta}}{\beta - 1} = p_к \frac{V_{к.е.д.}}{\beta - 1}. \qquad (6)$$

Замествайки $p_к$ от ур. 3 в ур.6 и отчитайки, че $V_{к\ е.д.}=\pi r_к^2$ за цилиндричен канал, се получава

$$W_{к.е.д} = \rho_в \frac{\pi r_к^4}{\tau_к^2 (\beta - 1)}. \qquad (7)$$

За радиуса на разрядния канал се получава:

$$r_к = \left[\frac{W_к \tau_к^2 (\beta - 1)}{\ell_к \rho_в \pi}\right]^{1/4}, \qquad (8)$$

където $W_к = W_{к.е.д}\,\ell_к$ – цялата енергия, внесена в разрядния канал с дължина $\ell_к$.

Налягането на повърхността на разрядния канал в течността от ур. 3 е:

$$p_к = \frac{\rho_в}{\tau_к^2}\left[\frac{W_к \tau_к^2(\beta-1)}{\ell_к \rho_в \pi}\right]^{1/2} = \frac{1}{\tau_к}\left[\frac{\rho_в W_к(\beta-1)}{\ell_к \pi}\right]^{1/2}. \quad (9)$$

Енергията, внесена в разрядния канал е :

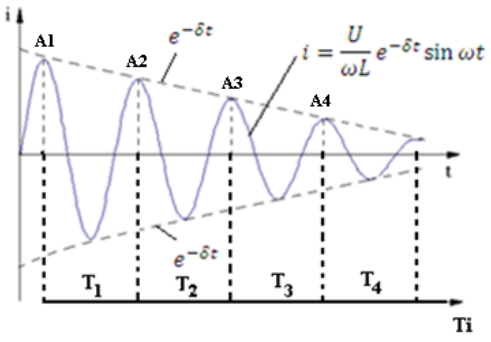
$$W_к = K_и \frac{CU_c^2}{2}. \quad (10)$$

където C – капацитет на кондензаторната батерия, U_c – напрежение на кондензаторната батерия в момента на пробив в разрядната междина във водата, $K_и$ – коефициент на използване на кондензаторната батерия.

Отчитайки ур.4 се получава ур.11:

$$p_к = U_c\left[\frac{K_и \rho_в(\beta-1)}{2\pi^3 L \ell_к}\right]^{1/2}. \quad (11)$$

От ур. 11 следва, че налягането на повърхността на разрядния канал линейно нараства с увеличаване на зарядното напрежение на кондензаторната батерия зависи от индуктивността на разрядната верига L и дължината на разрядната междина във водата $\ell_к$. Влиянието на капацитета C на кондензаторната батерия върху налягането $p_к$ е по-сложно, защото съпротивлението на разрядната верига с две разрядни междини R, индуктивността на разрядната верига L и съпротивлението на ВВК – $R_{ввк}$ зависят от капацитета: R=R(C), L=L(C), $R_{ввк}=R_{ввк}(C)$. [8]



Фиг.3 Периодично затихващ процес

За периодично затихващ разряден процес (фиг.3) и при постоянно съпротивление на трептящия кръг е валидно ур.12:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{A_2}{A_3} = \frac{A_3}{A_4} = \cdots \ldots = \frac{A_{n-1}}{A_n} = e^{\delta T} = \text{const} = B_i \quad (12)$$

където A_i са амплитудните стойности на периодично затихващото трептение, $\delta = \frac{R}{2L}$ е коефициент на затихване, а T – период.

След логаритмуване на ур.12 се получава ур.13:

$$B_i^* = \ln B_i = \delta T = \frac{\pi R}{\rho}\frac{1}{\sqrt{1-\frac{R^2}{4\rho^2}}}, \quad (13)$$

където $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ е характеристичното съпротивление, а R – съпротивление на трептящия кръг (разрядната верига).

Ако T е периода на трептящ кръг със загуби R, отчитайки, че собствената честота $\omega_0' = \omega_0\left(1-\left(\frac{R}{2\rho}\right)^2\right)^{1/2}$, където ω_0 е собствената честота на трептящия кръг без загуби, то е валидно ур.14:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega_0'} = \frac{2\pi\sqrt{LC}}{\sqrt{1-\frac{R^2}{4\rho^2}}} \quad (14)$$

След преобразуване на ур.13 и 14, се получава ур.15:

$$R = \frac{2\sqrt{\frac{L}{C}}}{\sqrt{\frac{4\pi^2}{B_i^{*2}}+1}}$$
$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{1}{LC}+\frac{R^2}{4L^2}} \quad (15)$$

От ур.15 могат да се определят R=R(C) и L=L(C)– ур.16.

$$L = \frac{T^2}{C(4\pi^2+B_i^{*2})}$$
$$R = \frac{2B_i^{*2}T}{C(4\pi^2+B_i^{*2})} \quad (16)$$

2. Експериментални резултати

Проведени са изследвания при възникване на периодично затихващ разряден импулс във вода с използване на двата варианта за ВВК - тригатрон и тиратрон. Експериментите за проведени при параметри:

- капацитета на кондензаторната батерия C=0.5 μF, 1 μF, 1.5 μF, 2 μF;
- напрежение, до което е заредена кондензаторната батерия - U_c=9.5, 10,10.5,11, 11.5 kV.

Получени са експериментални резултати за разрядния ток и напрежение, индуктивността на разрядната верига, съпротивлението на ВВК и коефициента на използване на кондензаторната батерия [8].

В табл.1 и табл.2 са представени резултатите за $L_к$ за верига с две разрядни междини (ВВК и вода), съответно при използване на тригатрон и тиратрон.

Табл.1 Индуктивност на разрядната верига с ВВК – тригатрон

		U_c, kV	9.5	10	10.5	11	11.5
L,μH	C=0,5μF	T_1	9.89	9.81	9.77	9.73	9.68
		T_2	10.1	10.0	10.0	9.98	9.96
		T_3	10.2	10.2	10.1	10.1	10.1
		T_4	10.2	10.2	10.2	10.1	10.1
	C=1 μF	T_1	10.4	10.4	10.3	10.3	10.2
		T_2	10.7	10.7	10.6	10.6	10.5
		T_3	10.9	10.9	10.8	10.8	10.8
		T_4	11.0	11.0	10.9	10.9	10.8
	C=1,5μF	T_1	10.6	10.5	10.4	10.3	10.2
		T_2	11.3	11.2	11.1	11.0	10.9
		T_3	11.5	11.4	11.3	11.2	11.1
		T_4	11.6	11.5	11.4	11.3	11.3
	C=2 μF	T_1	10.5	10.4	10.2	10.1	9.94
		T_2	11.1	11.0	10.9	10.8	10.7
		T_3	11.4	11.3	11.2	11.0	10.9
		T_4	11.6	11.5	11.3	11.2	11.1

Табл.2 Индуктивност на разрядната верига с ВВК – тиратрон

		U_c, kV	9.5	10	10.5	11	11.5
L, μH	C=0,5μF	T_1	37.1	37.1	37.0	36.9	36.9
		T_2	37.4	37.4	37.3	37.3	37.2
		T_3	37.7	37.6	37.6	37.5	37.4
		T_4	37.8	37.7	37.7	37.6	37.6
	C=1 μF	T_1	34.4	34.3	34.2	34.1	34.0
		T_2	34.9	34.9	34.8	34.7	34.6
		T_3	35.2	35.1	35.1	35.0	34.9
		T_4	35.3	35.2	35.2	35.1	35.0
	C=1,5μF	T_1	36.6	36.5	36.4	36.2	36.1
		T_2	37.2	37.1	37.1	37.0	36.9
		T_3	37.6	37.5	37.4	37.3	37.2
		T_4	37.7	37.6	37.5	37.5	37.4
	C=2 μF	T_1	33.3	33.1	32.9	32.7	32.6
		T_2	34.0	33.8	33.8	33.6	33.5
		T_3	34.4	34.3	34.2	34.1	34.0
		T_4	34.6	34.4	34.3	34.2	34.2

В табл.3 и табл.4 са показани резултатите за R за верига с една разрядна междина (ВВК)- $R_{ввк}$, а в табл.5 и табл.6 – R за верига с две разрядни междини (ВВК и вода), съответно при използване на тригатрон и тиратрон.

В табл.7 и табл.8 са представени резултати за коефициента на използване на кондензаторната батерия за двата варианта на ВВК, като К е определен на базата на получените стойности за съпротивлението на ВВК $R_{ввк}$ и на съпротивлението на разрядната верига при две разрядни междини R - ур.17.

$$К_u = \frac{R - R_{ВВК}}{R_{ВВК}}.100\%, \qquad (17)$$

Табл.3 Съпротивление на разрядната верига с една разрядна междина ВВК – тригатрон

		U_c, kV	9.5	10	10.5	11	11.5
$R_{ввк}$,Ω	C=0,5μF	T_1	0.37	0.41	0.43	0.44	0.46
		T_2	0.21	0.23	0.27	0.29	0.30
		T_3	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18
		T_4	0.06	0.07	0.10	0.14	0.17
	C=1 μF	T_1	0.43	0.45	0.46	0.48	0.50
		T_2	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35
		T_3	0.10	0.13	0.16	0.19	0.22
		T_4	0.07	0.08	0.10	0.15	0.18
	C=1,5μF	T_1	0.62	0.63	0.66	0.67	0.70
		T_2	0.25	0.31	0.34	0.38	0.43
		T_3	0.18	0.22	0.28	0.31	0.36
		T_4	0.15	0.17	0.24	0.28	0.30
	C=2 μF	T_1	0.65	0.67	0.70	0.73	0.78
		T_2	0.36	0.39	0.45	0.47	0.51
		T_3	0.25	0.28	0.32	0.38	0.42
		T_4	0.18	0.24	0.29	0.35	0.38

Табл.4 Съпротивление на разрядната верига с една разрядна междина ВВК – тиратрон

		U_c, kV	9.5	10	10.5	11	11.5
$R_{ввк}$,Ω	C=0,5μF	T_1	0.45	0.46	0.48	0.49	0.52
		T_2	0.28	0.32	0.33	0.36	0.38
		T_3	0.16	0.19	0.22	0.26	0.29
		T_4	0.12	0.14	0.17	0.21	0.23
	C=1 μF	T_1	0.48	0.51	0.53	0.55	0.59
		T_2	0.3	0.33	0.35	0.37	0.40
		T_3	0.22	0.23	0.25	0.28	0.31
		T_4	0.2	0.21	0.24	0.26	0.28
	C=1,5μF	T_1	0.52	0.54	0.56	0.58	0.61
		T_2	0.34	0.36	0.38	0.4	0.42
		T_3	0.24	0.27	0.29	0.32	0.33
		T_4	0.22	0.25	0.27	0.29	0.31
	C=2 μF	T_1	0.54	0.57	0.61	0.64	0.65
		T_2	0.38	0.40	0.42	0.45	0.47
		T_3	0.27	0.29	0.30	0.334	0.34
		T_4	0.25	0.28	0.31	0.33	0.335

Табл.5 Съпротивление на разрядната верига с две разрядни междини и ВВК – тригатрон

		U_c, kV	9.5	10	10.5	11	11.5
R,Ω	C=0,5μF	T_1	2.11	2.49	2.68	2.88	3.14
		T_2	1.17	1.29	1.50	1.64	1.74
		T_3	0.42	0.55	0.69	0.79	0.96
		T_4	0.25	0.33	0.45	0.70	0.85
	C=1 μF	T_1	2.50	2.76	2.93	3.15	3.31
		T_2	1.35	1.49	1.67	1.95	2.16
		T_3	0.54	0.70	0.87	1.05	1.24
		T_4	0.30	0.37	0.50	0.79	0.98
	C=1,5μF	T_1	3.68	3.94	4.31	4.63	4.95
		T_2	1.46	1.81	2.05	2.29	2.71
		T_3	0.98	1.28	1.61	1.75	2.07
		T_4	0.67	0.83	1.26	1.49	1.61
	C=2 μF	T_1	3.98	4.22	4.67	4.92	5.55
		T_2	2.11	2.32	2.70	2.94	3.29
		T_3	1.38	1.64	1.92	2.32	2.59
		T_4	0.87	1.15	1.51	1.82	2.05

Табл.6 Съпротивление на разрядната верига с две разрядни междини и ВВК – тиратрон

		U_c, kV	9.5	10	10.5	11	11.5
R,Ω	C=0,5μF	T_1	2.30	2.45	2.66	2.75	3.03
		T_2	1.41	1.64	1.73	1.93	2.09
		T_3	0.71	0.90	1.03	1.25	1.42
		T_4	0.48	0.60	0.74	0.94	1.05
	C=1 μF	T_1	2.58	2.82	3.02	3.20	3.49
		T_2	1.56	1.66	1.84	1.99	2.17
		T_3	1.00	1.09	1.22	1.44	1.66
		T_4	0.82	0.91	1.05	1.21	1.33
	C=1,5μF	T_1	2.86	3.01	3.25	3.47	3.70
		T_2	1.78	1.94	2.04	2.20	2.36
		T_3	1.15	1.33	1.53	1.70	1.83
		T_4	0.92	1.10	1.27	1.40	1.53
	C=2 μF	T_1	3.01	3.30	3.60	3.93	4.09
		T_2	1.98	2.19	2.32	2.51	2.66
		T_3	1.40	1.52	1.63	1.85	1.91
		T_4	1.06	1.26	1.47	1.63	1.68

Табл.7 Коефициент на използване на кондензаторната батерия,% – тригатрон

	U_c, kV	9.5	10	10.5	11	11.5
C=0,5μF	T_1	80.6	81.7	81.9	82.6	83.2
	T_2	15.4	14.6	14.5	14.0	13.5
	T_3	3.01	2.90	2.86	2.73	2.59
	T_4	0.670	0.605	0.591	0.556	0.514
C=1 μF	T_1	81.0	81.8	82.4	82.8	82.9
	T_2	15.3	14.7	14.2	14.0	13.9
	T_3	2.93	2.80	2.68	2.58	2.51
	T_4	0.586	0.558	0.530	0.495	0.478
C=1,5μF	T_1	81.2	81.9	82.7	83.4	83.9
	T_2	15.1	14.6	14.0	13.5	13.2
	T_3	2.92	2.81	2.60	2.45	2.35
	T_4	0.558	0.524	0.490	0.469	0.442
C=2 μF	T_1	81.6	82.1	83.0	83.1	83.9
	T_2	14.9	14.5	13.9	13.8	13.3
	T_3	2.83	2.74	2.55	2.48	2.30
	T_4	0.536	0.510	0.468	0.443	0.407

Табл.8 Коефициент на използване на кондензаторната батерия,% – тиратрон

	U_c, kV	9.5	10	10.5	11	11.5
C=0,5μF	T_1	78.6	79.1	79.9	80.15	80.8
	T_2	16.7	16.4	15.8	15.7	15.4
	T_3	3.52	3.42	3.23	3.16	3.02
	T_4	0.84	0.769	0.740	0.706	0.663
C=1 μF	T_1	79.4	79.9	80.4	80.8	81.1
	T_2	16.2	15.7	15.5	15.2	15.1
	T_3	3.34	3.39	3.19	3.10	3.03
	T_4	0.760	0.761	0.697	0.649	0.609
C=1,5μF	T_1	79.8	80.2	80.7	81.2	81.5
	T_2	15.9	15.7	15.3	15.0	14.8
	T_3	3.29	3.20	3.11	2.99	2.93
	T_4	0.724	0.692	0.643	0.611	0.571
C=2 μF	T_1	80.0	80.6	81.1	81.8	82.1
	T_2	15.8	15.4	15.1	14.6	14.3
	T_3	3.29	3.09	3.03	2.91	2.84
	T_4	0.662	0.626	0.597	0.568	0.546

На базата на получените резултати за $L_к$ и K, от ур.11 могат да се определят стойности за налягането в разрядния канал – табл.9 и табл.10 при параметри – $\rho_в$=1000kg/m^3, $l_к$=3 mm.

Табл.9 Налягане на разрядния канал $p_к$ при ВВК-тригатрон

	U_c, kV	9.5	10	10.5	11	11.5
$P_к.10^7$, Pa	C=0,5μF	T_1	10.15	10.79	11.37	11.99	12.61
		T_2	4.40	4.51	4.73	4.87	5.01
		T_3	1.93	2.00	2.09	2.13	2.18
		T_4	0.91	0.91	0.95	0.96	0.97
	C=1μF	T_1	9.91	10.52	11.11	11.69	12.26
		T_2	4.24	4.38	4.54	4.74	4.95
		T_3	1.84	1.90	1.95	2.01	2.08
		T_4	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90
	C=1,5μF	T_1	9.83	10.44	11.07	11.71	12.33
		T_2	4.11	4.27	4.41	4.55	4.73
		T_3	1.79	1.86	1.89	1.92	1.98
		T_4	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85
	C=2μF	T_1	9.93	10.52	11.19	11.78	12.50
		T_2	4.11	4.28	4.43	4.65	4.79
		T_3	1.77	1.84	1.88	1.95	1.97
		T_4	0.76	0.79	0.80	0.82	0.82

Табл.10 Налягане на разрядния канал $p_к$ при ВВК-тиратрон

	U_c, kV	9.5	10	10.5	11	11.5
$P_к.10^7$, Pa	C=0,5μF	T_1	5.17	5.47	5.78	6.06	6.37
		T_2	2.38	2.48	2.56	2.68	2.76
		T_3	1.09	1.13	1.15	1.20	1.22
		T_4	0.53	0.53	0.55	0.56	0.57
	C=1μF	T_1	5.40	5.71	6.02	6.33	6.64
		T_2	2.42	2.51	2.62	2.73	2.84
		T_3	1.10	1.16	1.18	1.22	1.27
		T_4	0.52	0.55	0.55	0.56	0.57
	C=1,5μF	T_1	5.25	5.55	5.85	6.16	6.47
		T_2	2.33	2.43	2.52	2.62	2.73
		T_3	1.05	1.09	1.13	1.17	1.21
		T_4	0.49	0.51	0.51	0.53	0.53
	C=2μF	T_1	5.51	5.84	6.16	6.50	6.82
		T_2	2.42	2.53	2.63	2.71	2.81
		T_3	1.10	1.12	1.17	1.20	1.24
		T_4	0.49	0.50	0.52	0.53	0.54

Съответно при увеличаване на разрядната междина във водата, стойностите на налягането ще намаляват.

Налягането на ударната вълна при използване на ВВК - тригатрон е значително по-голямо (почти два пъти) в сравнение със същото при възникване на разряд във верига с ВВК-тиратрон.

III. ИЗВОДИ

За моделирането на разрядните процеси в разрядни вериги с една и две разрядни междини в различни среди е използван смесен подход – аналитичен и идентификационен. На базата на полученото описание на генерирания високоволтов разряден импулс във вода при използване на два вида ВВК - тригатрон и тиратрон, е оценено измението на налягането на възникващата ударна вълна.

Възникващото налягане в рамките на първата полувълна е от 2 до 15 пъти по-високо

от това на останалите полувълни на затихването на високоволтовия периодично затихващ импулс.

При сравнителното изследване на получените резултати за налягането на ударната вълна, използването на тригатрон като ВВК има по-голяма ефективност от гледна точка на ефекта от ударната вълна върху очистването на водата от микроорганизми.

Получените резултати могат да бъдат използвани за оценка на развиващите се процеси при различни технологични приложения.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Yavorovsky, N.A., S.S. Peltsman, J.I.Komev, Yu.V Volkov, Technology of water treatment using pulsed electric discharges,. The 4th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology, KORUS 2000. Proceedings, Vol. 3, pp. 422 – 427.

[2] Lee H Y., H. S. Uhm, H. N. Choi, Y. J. Jung Bang K. Kang Hee C. Yoo, Underwater Discharge and Cell Destruction by Shockwaves, Journal of the Korean Physical Society, Vol. 42, February 2003, pp. S880_S884.

[3] Miyazaki Y., K. Satoh, H. Itoh, Pulsed Discharge Purification of Water Containing Nondegradable Hazardous Substances, Electrical Engineering in Japan, Volume 174, Issue 2, pages 1–8, 30 January 2011.

[4] Dillard William C. 21 - Power Electronics in Capacitor Charging Applications. Power Electronics Handbook (Third Edition), 2011.

[5] Ivanova M., Comparative experimental study of the influence of different controllable high-voltage switches over the formation of discharge in liquid medium, Journal of International Scientific Publication: Materials, Methods & Technologies, 2012, Vol. 4, Part 1, pp.60-75, ISSN 1313-2539.

[6] Barudov S., M.Dicheva, Modeling of a discharge pulse in a circuit with two discharge gaps, ICEST 2010, 23-26 June, 2010, Ohrid, Macedonia, vol.2, ISBN: 978-9989-786-58-7, pp. 823-827.

[7] Богатенков И.М., Ю.Н. Бочаров, Н.И. Гумерова, Г.М. Иманов и др., под ред. на Г.С. Кучинского, Техника высоких напряжений, Учебное пособие для вузов, ПЕИПК, Санкт Петербург, 2001.

[8] Иванова М., С. Барудов, Сравнителен анализ и моделиране на високоволтов периодично затихващ разряд в течност във верига с две разрядни междини, Международна научна сесия на ВВМУ – „Н. Й. Вапцаров”, Варна, 16-17 май 2013г., приета за публикуване.

За контакти:

инж. Милена Иванова, асистент в Катедра ”Електроенергетика” на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, 824Е, e-mail: m.dicheva@tu-varna.bg

проф. д.н. инж. Стефан Барудов, Катедра ”Електротехника” при Факултет „Инженерен” на ВВМУ „Н.Й.Вапцаров”, Варна, ул. Васил Друмев №73, e-mail: sbarudov@abv.bg

Рецензент:

доц. д-р инж. Маргрета Василева - ТУ-Варна

УЧЕТ ФАКТОРА РОСТА ЦЕН НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

THE ACCOUNTING FACTOR OF RISE IN PRICES FOR ENERGY CARRIERS FOR ASSESSMENT EFFICIENCY OF DEVICES OF THE DISTRIBUTED GENERATION

Ирина Л. Кирпикова, Владислав П. Обоскалов,
Татьяна Ю. Паниковская, Дмитрий И. Померанец

Аннотация: Предлагается математическая модель оценки экономической эффективности сооружения устройств распределенной генерации, функционирующих в качестве источников электро- и теплоснабжения потребителей с учетом темпов роста цен на энергоносители в условиях переменных графиков цены и нагрузки. За основу принят критерий максимального чистого дисконтированного дохода. Показано, что фактор роста цен существенно влияет на принимаемое решение. Конфигурация графиков цены и нагрузки определяет оптимальную стратегию загрузки источников распределенной генерации и их эффективность.
Ключевые слова: графики нагрузки, распределенная генерация, темпы роста тарифов энергоносителей, экономическая эффективность.

Abstract: A mathematical model of evaluating the economic efficiency of distributed generation facilities of devices that function as a source of electricity and heat supply to the pace of growth in energy prices in a variable schedule of prices and load. The basis of the criterion adopted by the maximum net present value. It is shown that the growth factor prices significantly influence decisions configuration price charts and load determines the optimal strategy load distributed generation sources and their effectiveness.
Keywords graphics load, distributed generation, energy growth rates, economic efficiency.

I. ВВЕДЕНИЕ

В России в настоящее время сложилась ситуация, благоприятствующая установке автономных источников питания (АИП) для электро- и теплоснабжения потребителей, к числу которых относятся газотурбинные (ГТУ) и газопоршневые (ГПУ) установки дизель генераторы, ветрогенераторы, и др. Этому способствует более низкая по сравнению с централизованным энергоснабжением себестоимость производства тепло- и электроэнергии, достаточно высокий КПД и приемлемая стоимость АИП [1]. АИП, включенные в систему энергоснабжения идентифицируются как распределенная генерация (РГ) [1, 2]. Преимущественное применение ГТУ и ГПУ получило на крупных предприятиях. Это вызвано, прежде всего, ростом тарифов на тепло- и электроэнергию, в том числе за счет перекрестного субсидирования [3].

Отсутствие конкуренции в сфере производства электроэнергии приводит к неоправданному росту тарифов, которые регулируется государством и ежегодно повышаются. Неравномерный и непропорциональный рост цен на энергоносители и топливо является значимым фактором при оценке эффективности сооружения РГ. В ближайшее время не предвидится каких-либо существенных сдвигов в направлении снижения стоимости централизованного энергоснабжения, отсюда сохранится и общая тенденция благоприятствования РГ. Дополнительным аргументом в пользу сооружения РГ является сопоставимая со стоимостью РГ плата за подключение потребителей энергии к централизованным электро- и теплосетям [4]. Предприятия, которые ориентируются на РГ, могут получить не только существенный экономический эффект, но и повышение политической и технологической надежности системы энергообеспечения производства.

II. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЯ УСТРОЙСТВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

1. Сравнительные характеристики вариантов

Развитие РГ в значительной степени зависит от соотношения цен на энергоносители. В настоящее время практически отсутствуют ограничения на потребление природного газа для производства электроэнергии. При достаточно высокой экологической эффективности газа

это позволяет максимально приблизить РГ к центрам энергопотребления. В результате относительно низкой себестоимости производства электроэнергии определяется режим загрузки всех видов РГ с потреблением газа – как правило, работа в базовом цикле с полной загрузкой агрегатов. При дальнейшем повышении цены газа, возможно, более выгодным станет использование РГ в качестве резервных или пиковых источников питания [5]. В любом случае стратегия загрузки РГ в течение суток является значимым фактором при технико-экономическим обосновании их сооружения.

Основным критерием экономической целесообразности инвестиций в настоящее время является максимум чистого дисконтированного дохода (ЧДД) [6]. Применительно к РГ ЧДД определяется как:

$$J = -K_0 + \sum_{t=1}^{T} \left(D_t - K_t - И_t\right)(1+\alpha)^{-t}, \quad (1)$$

где D_t – доход от РГ; K_t, $И_t$ – соответственно капиталовложения и издержки в текущем году t; α – ставка дисконтирования.

При оценке экономической эффективности сооружения РГ выполняется сопоставление с вариантом централизованного энергоснабжения. Отсюда все представленные в (1) составляющие необходимо выразить в виде разностей величин отнесенных к вариантам с РГ и без РГ [6].

В варианте с РГ электрическая $P_t^{\text{ээ,г}}$ и тепловая $P_t^{\text{тэ,г}}$ мощности генерации, собственного потребления ($P_t^{\text{ээ,п}}$, $P_t^{\text{тэ,п}}$), потребления из централизованной сети ($P_t^{\text{ээ},s}$, $P_t^{\text{тэ},s}$) и отпуска энергии в централизованную сеть ($P_t^{\text{ээ,от}}$, $P_t^{\text{тэ,от}}$) связаны соотношением баланса

$$P_t^{e,\text{г}} = P_t^{e,\text{от}} + P_t^{e,\text{п}} - P_t^{e,\text{s}}, \quad e \in \{\text{ээ,тэ}\}. \quad (2)$$

Балансовое соотношение (2) подразумевает обеспечение надлежащего резерва – при отказе одного или нескольких агрегатов РГ потребитель получает энергию из централизованной сети согласно договорным условиям, и, наоборот, при отказе системы централизованного энергоснабжения резервную функцию выполняет РГ.

Централизованное энергоснабжение. Здесь $P_t^{e,\text{г}} = P_t^{e,\text{от}} = 0$; $P_t^{e,\text{п}} = P_t^{e,\text{s}}$. Доход предприятия от продажи тепло- и электроэнергии $D_t = 0$. Ежегодные издержки определяются стоимостью купленного у централизованного поставщика энергоносителя. При этом чистый дисконтированный доход

$$J_1 = -K_{\text{ээ}}^{\text{пр}} - K_{\text{тэ}}^{\text{пр}} - \sum_{t=1}^{T} \left(\Pi_t^{\text{ээ}} + \Pi_t^{\text{тэ}}\right)(1+\alpha)^{-t},$$

где $K_{\text{ээ}}^{\text{пр}}, K_{\text{тэ}}^{\text{пр}}$ – стоимость присоединения соответственно к электрической и тепловой сети, включающие затраты на их реконструкцию [4]; T – расчетный период; $\Pi_t^e = ц_t^{e,\text{s}} W_t^{e,\text{п}}$ – ежегодные платежи за потребленную (от внешнего поставщика) энергию; α – ставка дисконтирования; $W_t^{e,\text{п}} = P_{\max,t}^e T_{\max,t}^e$, – планируемый объем потребляемой в период t электро- и теплоэнергии; $P_{\max,t}^e$, $T_{\max,t}^e$ – максимальная мощность и число часов использования максимальной мощности потребителя электро- и теплоэнергии; $ц_t^{e,\text{s}}$ – одноставочный тариф электро- и теплоэнергии. Иные виды тарифа, например двухставочный, могут быть преобразованы к одноставочному из условия равенства платежей.

В общем случае собственник РГ может покупать и продавать энергию на оптовом рынке, где значимыми являются суточные колебания цены энергии, выраженные в ценовых графиках (ЦГ). Режим РГ должен быть адаптирован к ЦГ. Прибыль становится зависимой от стратегии загрузки РГ. Здесь возможны различные сценарии: работа РГ в пиковой зоне ЦГ; в базе с непрерывной генерацией тепло- и электроэнергии; в качестве резервного источника питания и др.

Учитывая специфику производства (одно-, двух- или трехсменная работа предприятия) суточный период желательно разбить, по крайней мере, на два полупериода – день-ночь, а характерные графики цены и нагрузки стандартно дифференцируются по критерию сезонности и дня недели. С учетом

этого годовые платежи за электро- и теплоэнергию в год t составляют

$$\Pi_t^e = \sum_{k=1}^{N_\text{г}} n_k \sum_{\nu=1}^{N_{\nu k}} \text{ц}_{\nu kt}^{e,\text{s}} \cdot P_{\nu kt}^{e,\text{п}} \cdot \Delta t_{\nu k},\ e \in \{\text{ээ, тэ}\}, \quad (3)$$

где $N_\text{г}$ – число характерных ЦГ; n_k – годовое число графиков k-го типа (например, 100 графиков зимнего рабочего дня); $N_{\nu k}$ – число интервалов постоянства цены и мощности, длительностью $\Delta t_{\nu k}$, в графике k.

Рассматривая величину $\Delta t_{\nu k} / \sum_{\nu=1}^{N_{\nu k}} \Delta t_\nu$, как вероятность случайной реализации $\text{ц}_{\nu kt}^{\text{e}}, P_{\nu kt}^{\text{e}}$ при равномерном распределении в интервале определения графика k, платежи за энергию можно выразить через математическое ожидание $E\left(\text{ц}_{\nu kt}^{e,\text{s}} \cdot P_{\nu kt}^{e,\text{п}}\right)$ и корреляционный момент

$$\begin{aligned}\Pi_t^{\text{e}} &= \sum_{k=1}^{N_\text{г}} T_k E\left(\text{ц}_{\nu kt}^{e,\text{s}} \cdot P_{\nu kt}^{e,\text{п}}\right) = \\ &= \sum_{k=1}^{N_\text{г}} T_k \left(\bar{\text{ц}}_{kt}^{e,\text{s}} \cdot \bar{P}_{kt}^{e,\text{п}} + Cov\left(\text{ц}_{kt}^{e,\text{s}}, P_{kt}^{e,\text{п}}\right)\right)\end{aligned} \quad (4)$$

или через коэффициент корреляции и средние квадратические отклонения

$$Cov\left(\text{ц}_{kt}^{e,\text{s}}, P_{kt}^{e,\text{п}}\right) = k\left(\text{ц}_{kt}^{e,\text{s}}, P_{kt}^{e,\text{п}}\right)\sigma\left(\text{ц}_{kt}^{e,\text{s}}\right)\sigma\left(P_{kt}^{e,\text{п}}\right),$$

тогда

$$\Pi_t^{\text{e}} = \sum_{k=1}^{N_\text{г}} \vartheta_{kt}^{\text{e},s,\text{п}} \cdot \bar{\text{ц}}_{kt}^{e,\text{s}} \cdot \bar{W}_{kt}^{e,\text{п}}, \quad (5)$$

где $T_k = n_k \sum_{\nu=1}^{N_{\nu k}} \Delta t_\nu$ – суммарная длительность графика; $\bar{W}_{kt}^{e,\text{п}} = \bar{P}_{kt}^{e,\text{п}} \cdot T_k$ – среднее количество энергии; потребляемое в течение года по графику k; $\vartheta_{kt}^{\text{e},s,\text{п}}$ – коэффициент согласованности графиков цены и нагрузки,

$$\vartheta_{kt}^{\text{e},s,\text{п}} = 1 + \frac{k\left(\text{ц}_{kt}^{e,\text{s}}, P_{kt}^{e,\text{п}}\right)}{\nu\left(\text{ц}_{kt}^{e,\text{s}}\right)\nu\left(P_{kt}^{e,\text{п}}\right)}; \quad (6)$$

$\nu\left(\text{ц}_{kt}^{e,\text{s}}\right), \nu\left(P_{kt}^{e,\text{п}}\right)$ – коэффициенты вариации соответственно рыночной цены и мощности нагрузки. В случае полной независимости графиков цены и нагрузки коэффициент корреляции $k\left(\text{ц}_{kt}^{e,\text{s}}, P_{kt}^{e,\text{п}}\right) = 0$. При этом коэффициент согласованности $\vartheta_{kt}^{\text{e},s,\text{п}} = 1$ и платежи за энергию принимают упрощенный вид $\Pi_t^{\text{e}} = \sum_{k=1}^{N_\text{г}} \bar{\text{ц}}_{kt}^{e,\text{s}} \cdot \bar{W}_{kt}^{e,\text{п}}$.

Вариант с РГ. При наличии РГ часть избыточной энергии (как электрической, так и тепловой) может быть отпущена в сеть централизованного энергоснабжения по цене $\text{ц}_t^{\text{e,от}}$, которая может отличаться от рыночной. Это формирует доход предприятия. Основную долю ежегодных издержек составляют затраты на топливо. Платежи за энергию могут быть представлены выражением (5) с учетом корреляции графиков нагрузки и цены на рынке. Тогда ЧДД в варианте с РГ определяется выражением

$$J_2 = -K_\text{АИП} - K_\text{АИП}^\text{пр} - \\ - \sum_{t=1}^{T} \frac{\left(\text{И}_{\text{т},t} + \text{И}_{\text{ао},t} - \sum\limits_{\text{e}=\{\text{ээ,тэ}\}} \left(\Pi_t^{e,\text{от}} - \Pi_t^{e,s}\right)\right)}{(1+\alpha)^t},$$

где $K_\text{РГ}$ – капиталовложения на приобретение, установку, монтаж, наладку и пуск в эксплуатацию РГ; $K_\text{АИП}^\text{пр}$ – стоимость присоединения к электрической и тепловой централизованным сетям, включающие затраты на их реконструкцию, при наличии РГ; $\text{И}_{\text{т},t} = \text{ц}_{\text{т},t}\beta_\text{т} W_t^\text{г}$ – стоимость ежегодно потребляемого топлива; $\text{И}_{\text{ао},t} = p_{\text{ао},t} K_\text{АИП}$ – издержки на амортизацию и обслуживание РГ; $\Pi_t^{e,\text{от}}, \Pi_t^{e,s}$ – соответственно выручка от продажи и платежи за энергию, получаемую потребителем из сети централизованного энергоснабжения; $\text{ц}_{\text{т},t}$ – цена топлива в год t; $\beta_\text{т}$ – удельный расход топлива на единицу произведенной суммарной электро- и теплоэнергии; $W_t^\text{г} = P_\text{у} T_\text{max}$ – годовое производство энергии; $P_\text{у}$ – установленная

мощность РГ; $T_{\max}$ – число часов использования установленной мощности.

2. Расчетный чистый дисконтированный доход

Расчетный ЧДД определяется превышением ЧДД второго (с РГ) над ЧДД первого (без РГ) варианта

$$J = J_2 - J_1 = K_{\text{пр}} - K_{\text{АИП}} - \sum_{t=1}^{T} \frac{\left(\text{И}_{\text{ао},t} + \text{И}_{\text{т},t} - \sum\limits_{e=\{\text{ээ,тэ}\}} \left(\Pi_t^{e,\text{от}} + \Pi_t^{e,\text{п}} - \Pi_t^{e,s} \right) \right)}{(1+\alpha)^t} \quad \textbf{(7)}$$

где $K_{\text{пр}} = K_{\text{ээ}}^{\text{пр}} + K_{\text{тэ}}^{\text{пр}} - K_{\text{АИП}}^{\text{пр}}$ – расчетные (с учетом РГ) затраты на присоединение к централизованной сети.

Издержки на амортизацию и эксплуатацию. При обосновании инвестиций, как правило, принимается, что издержки на амортизацию и эксплуатацию пропорциональны капиталовложениям $\text{И}_{\text{ао},t} = p_{\text{ао}} K_{\text{АИП}}$. Отсюда

$$K_{\text{АИП}} + p_{\text{ао}} \cdot K_{\text{АИП}} \cdot \sum_{t=1}^{T} (1+\alpha)^{-t} = \gamma K_{\text{АИП}}, \quad (8)$$

где множитель γ выражается через сумму геометрической прогрессии (ГП)

$$\gamma = 1 + p_{\text{ао}} \sum_{t=1}^{T} (1+\alpha)^{-t} = 1 + p_{\text{ао}} \left[1 - (1+\alpha)^{-T} \right] / \alpha.$$

Топливные издержки. Пренебрегая изменением КПД при оперативном изменении режима работы РГ можно считать, что затраты на топливо пропорциональны генерации энергии и определяются через удельный расход топлива

$$\text{И}_{\text{т},t} = \text{ц}_{\text{т},t} \beta_{\text{т}} W_t^{\text{г}} = \text{ц}_{\text{т},t} \beta_{\text{т}} P_{\text{у}} T_{\text{у}}.$$

Величины $\beta_{\text{т}}, W_t^{\text{г}}$ можно считать условно неизменными в процессе эксплуатации РГ, поэтому в дальнейшем индекс t можно не указывать. Цена топлива изменяется во времени примерно с постоянным темпом роста $\alpha_{\text{т}}$. Отсюда

$$\text{И}_{\text{т},t} = \text{ц}_{\text{т},0} \beta_{\text{т}} W^{\text{г}} (1+\alpha_{\text{т}})^t,$$

где $\text{ц}_{\text{т},0}$ – цена топлива на момент пуска РГ.

Топливная составляющая расчетного ЧДД

$$\text{И}_{\text{т}} = \text{ц}_{\text{т},0} \beta_{\text{т}} W^{\text{г}} \sum_{t=1}^{T} (1+\alpha_{\text{т}})^t (1+\alpha)^{-t}. \quad (9)$$

Поскольку

$$\frac{1+\alpha}{1+\alpha_{\text{т}}} = 1 + \alpha_{\text{т}}^* = 1 + \frac{\alpha - \alpha_{\text{т}}}{1+\alpha_{\text{т}}}, \quad (10)$$

то выражение (9) может быть представлено через сумму ГП

$$\text{И}_{\text{т}} = \text{ц}_{\text{т},0} \beta_{\text{т}} W^{\text{г}} \sum_{t=1}^{T} \left(1+\alpha_{\text{т}}^*\right)^{-t} = \tau_{\text{т}} \text{ц}_{\text{т},0} \beta_{\text{т}} W_t^{\text{г}}, \quad (11)$$

где $\alpha_{\text{т}}^* = (\alpha - \alpha_{\text{т}}) / (1+\alpha_{\text{т}})$;

$$\tau_{\text{т}} = \sum_{t=1}^{T} \left(1+\alpha_{\text{т}}^*\right)^{-t} = \begin{cases} \dfrac{1 - \left(1+\alpha_{\text{т}}^*\right)^{-T}}{\alpha_{\text{т}}^*}, & \alpha \neq \alpha_{\text{т}}; \\ T, & \alpha = \alpha_{\text{т}}, \end{cases} \quad (12)$$

Анализируя (12) можно отметить, что $\tau_{\text{т}}$ определяет некоторый расчетный (по топливной составляющей) срок эксплуатации РГ. При $\alpha_m < \alpha$ величина $\tau_{\text{т}} < T$ (меньший вклад топливной составляющей в ЧДД) и при $\alpha_m > \alpha$ величина $\tau_{\text{т}} > T$ (больший вклад топливной составляющей в ЧДД).

Платежи за энергию. Принимая во внимание соотношения (3)-(6) связанные с платежами за энергию составляющие ЧДД

$$\Pi_t^{e,\xi} = \sum_{k=1}^{N_{\text{г}}} \vartheta_k^{e,\xi,\xi} \text{ц}_{kt}^{e,\xi} W_k^{e,\xi}, \quad \xi = \{\text{от}, \text{п}, s\}.$$

Здесь коэффициент $\vartheta_k^{e,\xi,\xi}$ согласует графики цены и мощности (отпускная цена и отпускная мощность, рыночная цена и мощность собственного энергопотребления, рыночная цена и импортируемая мощность нагрузки). Следует заметить, что для части генерации РГ, отводимой на собственное энергопотребление предприятия цена энергоносителя равна цене энергии на рынке. Отсюда $\vartheta_k^{e,\text{п},\text{п}} = \vartheta_k^{e,s,\text{п}}$ Суммарные платежи за энергию будут равны

$$\Pi=\sum_{t=1}^{T}\sum_{e=\{\text{ээ,тэ}\}}\frac{\left(\Pi_t^{e,\text{от}}+\Pi_t^{e,\text{п}}-\Pi_t^{e,s}\right)}{(1+\alpha)^t}. \quad (13)$$

С целью упрощения математической записи данного выражения цены и объемы энергии целесообразно представить в относительных единицах, где за базу приняты среднегодовые величины рыночной цены $\bar{\text{ц}}_t^{e,\text{s}}$ и генерируемой энергии $\bar{W}_t^{e,\text{г}}$:

$$\text{ц}_{*kt}^{e,\varsigma}=\text{ц}_{kt}^{e,\varsigma}/\bar{\text{ц}}_t^{e,\text{s}};\ W_{*kt}^{e,\varsigma}=W_{kt}^{e,\varsigma}/\bar{W}_{kt}^{e,\text{г}},$$
$$\varsigma=\{\text{от},\text{п},s\}$$

Относительные величины в большей степени определяются спецификой производства и без большой погрешности их можно считать неизменными на всем расчетном периоде. В условиях линейной пропорциональности отпускной цены и цены на рынке $\bar{\text{ц}}_{kt}^{e,\text{от}}=c_{\text{от}}\bar{\text{ц}}_{kt}^{e,s}$, а также объема отпускаемой в централизованную сеть и потребляемой предприятием энергии $W_k^{e,\text{от}}=d_{\text{от}}W_k^{e,\text{п}}$ определяемые через коэффициенты корреляции коэффициенты связности цены и мощности $\vartheta_k^{e,\xi,\xi}$ одинаковы для всех ξ,

$$\vartheta_{kt}^{\text{e},\text{от},\text{от}}=\vartheta_{kt}^{\text{e},s,s}=\vartheta_{kt}^{\text{e},s,\text{п}}=\vartheta_k^{\text{e}}. \quad (14)$$

Принимая во внимание соотношение баланса энергии $W_{e,t}^{\text{г}}=W_{e,t}^{\text{п}}+W_{e,t}^{\text{от}}-W_{e,t}^{s}$, выражение (14) можно преобразовать к виду

$$\Pi=\sum_{e=\{\text{ээ,тэ}\}}\sum_{k=1}^{N_\text{г}}\vartheta_k^{\text{e}}\theta_k^{e,\text{от}}\bar{\text{ц}}_{*k}^{e,\text{s}}\bar{W}_k^{e,\text{г}}\sum_{t=1}^{T}\frac{\bar{\text{ц}}_t^{e,\text{s}}}{(1+\alpha)^t}, \quad (15)$$

где коэффициент отпуска энергии во внешнюю сеть

$$\theta_k^{e,\text{от}}=1-\bar{W}_{*k}^{e,\text{от}}\left(1-\bar{\text{ц}}_{kt}^{e,\text{от}}/\bar{\text{ц}}_{kt}^{e,\text{s}}\right). \quad (16)$$

При равенстве отпускной и рыночной цен или при отсутствии отпуска энергии во внешнюю сеть ($\bar{W}_{*k}^{e,\text{от}}=0$) коэффициент отпуска энергии во внешнюю сеть $\theta_k^{e,\text{от}}=1$.

Зависящий от статистических параметров графиков нагрузки коэффициент согласованности $\vartheta_k^{\text{e},s,\text{п}}$ стабильно функционирующего предприятия, также можно считать условно постоянным во времени, поскольку конфигурация графиков нагрузки мало изменяется во времени. Аналогичный вывод о неизменности во времени можно сделать относительно энергии $W_{kt}^{e,\varsigma}$.

Цена на энергоноситель, так же, как и на топливо, имеет тенденцию к росту с темпом $\alpha_\text{ц}^e$. Отсюда по аналогии с (12) выражение (15) может быть представлено через сумму геометрической прогрессии, выраженной коэффициентом τ_e

$$\Pi=\sum_{e=\{\text{ээ,тэ}\}}\tau_e\bar{\text{ц}}_0^e\bar{W}^{e,\text{г}}\sum_{k=1}^{N_\text{г}}\vartheta_k^{\text{e}}\theta_k^{e,\text{от}}\bar{\text{ц}}_{*k}^{e,\text{s}}\bar{W}_{*k}^{e,\text{г}}, \quad (17)$$

где

$$\tau_e=\sum_{t=1}^{T}\left(1+\alpha_e^*\right)^{-t}=\begin{cases}\dfrac{1-\left(1+\alpha_e^*\right)^{-T}}{\alpha_e^*}, & \alpha\neq\alpha_e;\\ T, & \alpha=\alpha_e,\end{cases} \quad (18)$$

$$\alpha_e^*=\left(\alpha-\alpha_e\right)/\left(1+\alpha_e\right);\quad \bar{W}_{*k}^{e,\text{г}}=\bar{W}_k^{e,\text{г}}/\bar{W}^{e,\text{г}}.$$

При работе РГ в базовом режиме $P_{kt}^{e,\text{г}}=\text{const}$;

$$\Pi=\sum_{e=\{\text{ээ,тэ}\}}\tau_e\bar{\text{ц}}_0^e\bar{W}^{e,\text{г}}\sum_{k=1}^{N_\text{г}}\vartheta_k^e\theta_k^{e,\text{от}}\bar{\text{ц}}_{*k}^{e,\text{s}}t_{*k},$$

где $t_{*k}=t_k/8760$ – относительная длительность графика k.

В результате расчетный ЧДД

$$J=K_\text{пр}-\gamma K_\text{АИП}-\tau_\text{т}\text{ц}_{\text{т},0}\beta_\text{т}W^\text{г}+$$
$$+\sum_{e=\{\text{ээ,тэ}\}}\tau_e\psi_k^e\bar{\text{ц}}_0^e\bar{W}^{e,\text{г}}, \quad (19)$$

где

$$\psi_k^{\text{e}}=\sum_{k=1}^{N_\text{г}}\vartheta_k^e\theta_k^{e,\text{от}}\bar{\text{ц}}_{*k}^{e,\text{s}}t_{*k}^{e,\text{г}}. \quad (20)$$

Для анализа эффективности РГ по видам энергоносителей выражение (19) можно представить в виде аддитивной функции отдельно для электро- и теплоэнергии.

Как правило, РГ характеризуется своим электрическим КПД $\eta_\text{э}$ при работе в чисто электрическом режиме или суммарным КПД η_Σ при работе в когенерационном режиме. При

этом часовой расход топлива может быть выражен через КПД: $\beta_{\text{т}} W^{\text{ээ}} = c_{\text{т}} W^{\text{ээ}} / \eta_{\text{э}}$, где $c_{\text{т}}$ – коэффициент перевода энергии (кВтч) в единицы количества топлива. Для натурального газа $c_{\text{т}}$ = 0,089 м^3/кВтч. Отсюда $\beta_{\text{т}} = c_{\text{т}} / \eta_{\text{э}}$, При работе в когенерационном цикле $W^{\text{г}} = W^{\text{ээ}} + W^{\text{тэ}}$. Расчетный ЧДД

$$J = J_{\text{ээ}} + J_{\text{тэ}} = \sum_{e=\{\text{ээ,тэ}\}} \left[K^e_{\text{пр}} - \gamma K^e_{\text{АИП}} \right] + \\ + \sum_{e=\{\text{ээ,тэ}\}} \left(\tau_e \bar{\text{ц}}^e_0 \psi^{e,\text{г}} - \tau_{\text{т}} \beta_{\text{т}} \text{ц}_{\text{т},0} \right) \bar{W}^{e,\text{г}}. \quad (21)$$

В результате критерий эффективности сооружения РГ приобрел удобный для выполнения расчетов вид, без суммирования за расчетный период накопленной прибыли. Здесь все цены относятся к моменту сооружения РГ.

Если принять допущения:

– темпы роста цен на топливо, электро- и теплоэнергию равны коэффициенту дисконтирования α;

– отпускная цена энергии равна рыночной цене;

– годовой период представляется одним графиком нагрузки;

– графики нагрузки являются совершенно независящими по конфигурации от ЦГ, $k\left(\text{ц}^{e,\text{s}}_{kt}, P^{e,\text{п}}_{kt}\right)=0$,

то в этом случае согласно (18) $\alpha^*_e = \alpha^*_m = 0$; $\tau_e = \tau_{\text{т}} = T$; согласно (6) $\vartheta^{\text{e},s,\text{п}}_{kt} = 1$; согласно (15) $\theta^{e,\text{от}}_k = 1$; согласно (20) $\psi^{\text{e}} = 1$. При этом ЧДД равен

$$J = K_{\text{пр}} - \gamma K_{\text{АИП}} + T \sum_{e=\{\text{ээ,тэ}\}} \left(\bar{\text{ц}}^e_0 - \beta_{\text{т}} \text{ц}_{\text{т},0} \right) \bar{W}^{e,\text{г}},$$

а срок окупаемости (J=0) принимает обычно используемый вид

$$T_{\text{ок}} = \frac{\gamma K_{\text{АИП}} - K^{\text{пр}}}{\bar{\text{ц}}^{\text{ээ}}_0 \bar{W}^{\text{ээ,г}} + \bar{\text{ц}}^{\text{тэ}}_0 \bar{W}^{\text{тэ,г}} - \beta_{\text{т}} \text{ц}_{\text{т},0} \left(\bar{W}^{\text{ээ,г}} + \bar{W}^{\text{тэ,г}} \right)}.$$

III. ВЫВОДЫ

При технико-экономическом обосновании сооружения РГ необходимо учитывать темпы роста цен на электроэнергию и топливо. В условиях, когда цены на топливо растут быстрее цен на электро- и теплоэнергию, эффективность РГ снижается, что может привести к отказу от сооружения РГ. При неизменных темпах роста цен на топливо и энергоносители формула ЧДД может быть приведена к виду, где все параметры отнесены к году ввода РГ в эксплуатацию.

На эффективность РГ существенное воздействие оказывают конфигурации графиков нагрузки и рыночной цены энергоносителей.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Воропай Н.И. Распределенная генерация в электроэнергетических системах / Малая энергетика – 2005: Сборник трудов. М., 2005. С.13-21.

[2]. Ackermann Th. Andersson G., Soder L. Distributed Generation: A Definition // Electric Power System Rescarch, 2001, Vol.57, № 4, p. 135-204.

[3]. Богданов А.Б. Перекрестное субсидирование в энергетике России http:exergy.narod.ru/stok_prez_ru.htm

[4]. Приказ Федеральной службы по тарифами (ФСТ России) от 11 сентября 2012 г. N 209-э/1 http://www.rg.ru/2012/11/30/elektro-dok.html

[5]. Обоскалов В.П., Померанец Д.И., Силин А.А. Учет темпов роста тарифов на энергоносители при оценке эффективности сооружения РГ / // Электроэнергетика глазами молодежи: научн. труды III н.т. конференции: сб. статей. В 2 т. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. Т.1. С.636-641.

[6]. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (Вторая редакция, исправленная и дополненная) (утв. Минэкономики РФ, Минфином РФ и Госстроем РФ от 21 июня 1999 г. N ВК 477)

Контакты: доцент, к.т.н. Ирина Кирпикова, доцент кафедры АЭС, УрФУ, а/я 23, ул. Мира, 19, Екатеринбург, Россия

профессор, д.т.н. Владислав Обоскалов, профессор кафедры АЭС, УрФУ, а/я 23, ул. Мира, 19, Екатеринбург, Россия

доцент, к.т.н. Татьяна Паниковская, доцент кафедры АЭС, УрФУ, а/я 23, ул. Мира, 19, Екатеринбург, Россия

инженер Дмитрий Померанец, зам. главного инженера ОАО «ЕЭСК»ул. Б. Ельцина, 1, Екатеринбург, Россия

e-mail: kil@daes.ustu.ru, vpo@daes.ustu.ru, pti@daes.ustu.ru, Pomer@eesk.ru.

Рецензент:

доц. д-р инж. Христофор Тахрилов

ТУ-Варна

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

IMPROVEMENT OF THE POWER SUPPLY RELIABILITY THROUGH OPTIMUM LOCATION OF THE SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION

Татьяна Ю. Паниковская, Дмитрий А. Чечушков

Аннотация: Предлагается многокритериальная математическая модель для оптимизации размещения источников распределенной генерации. Представлен алгоритм решения задачи, для тестовой схемы приводится сравнительный анализ решения с учетом различных ограничений.
Ключевые слова: источники распределенной генерации, многокритериальная целевая функция, оптимизация.

Abstract: It is proposed multi-criteria mathematical model for optimizing the placement of distributed generation sources. An algorithm for solving the problem for the test circuit provides a comparative analysis of the solutions according to different restrictions.
Keywords sources of distributed generation, multi-criteria objective function, optimization.

I. ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение источников распределенной генерации (РГ) собственником–инвестором обусловлено рядом положительных факторов. Прежде всего, это максимизация прибыли от снижения покупки электроэнергии (ЭЭ) в условиях опережающего роста стоимости электроэнергии по отношению к увеличению стоимости газа. Наиболее характерными предприятиями, внедряющие источники малой генерации является предприятия нефте- и газодобывающей отрасли, которые используют первичные ресурсы для выработки электроэнергии. Таким образом, одной из основных концепцией распределенной генерации является подключение источников электрической энергии относительно небольшой единичной мощности (от десятков кВт до 50 МВт) на стороне балансовой принадлежности потребителя. Уменьшение расстояния между нагрузкой и генерации позволяет снизить потери мощности и электроэнергии в электрических сетях, разгрузить связи, снизить стоимость технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителя и, в конечном итоге, снизить стоимость электроэнергии [1].

Сумма технологического присоединения к электрическим сетям для нельготных потребителей (промышленные потребители, организации сферы услуг, объекты малого и среднего бизнеса, индивидуальные предприниматели и др.) во многих случаях сопоставима со строительством собственной генерации. При этом стоимость выработки электрической энергии сильно отличается, в зависимости от региона и технологии выработки электроэнергии. Наиболее эффективными на сегодняшний день являются установки когенерации и тригенерации, работающие на газе. Существенным приоритетом источников РГ становится возможность их устойчивой работы параллельно с основной сетью, в режимах потребления или выдачи мощности в соответствии с графиком нагрузки.

Обеспечение надежного и качественного электроснабжения крупных промышленных компаний, имеющих большую разветвленность электрических сетей, требует решения задачи оптимального размещения источников РГ. Под оптимальным размещением источников РГ понимается выбор точки подключения, мощности и состава генерирующего оборудования (тип источника, количество блоков, класс напряжения и др.).

II. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА МОЩНОСТИ И РАЗМЕЩЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РГ

1. Особенности математической модели

В настоящее время активно ведутся исследования, связанные с установкой источников распределенной генерации, предлагаются различные модели [1, 2, 3]. Каждая модель имеет свои особенности и целевую направленность.

В качестве основных требований потребителей к установкам РГ были выделены следующие параметры [4]:

- экономическая эффективность установки источника;
- обеспечение качества ЭЭ;
- повышение надежности электроснабжения потребителей;
- устойчивость работы генерирующего оборудования в различных режимах.

В соответствии с приведенными выше требованиями предлагается многокритериальная математическая модель, которая представлена критериями F_k^i:

- инвестиционным критерием: индексом рентабельности *PI* (Profitability Index);
- критерием качества электрической энергии;
- критерием надежности;
- критерием устойчивости.

В итоге формируется целевая функция, которая на каждой итерации включает в себя сумму критериев с весовыми коэффициентами

$$F_i(P) = \beta_1 F_1^i(P) + \beta_2 F_2^i(P) + \beta_3 F_3^i(P) + \beta_4 F_4^i(P), \quad (1)$$

где $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 1$ – весовые коэффициенты; i – рассматриваемый узел для подключения источника РГ.

В предлагаемой модели различные критерии специально выделены в отдельные слагаемые и выражены в безразмерных единицах, это дает дополнительную гибкость модели, так как весовые коэффициенты выполняют функцию «предпочтительного выбора». Дополнительную гибкость и расширение возможности процесса оптимизации можно получить, используя ограничения, которые влияют на ход работы алгоритма.

2. Расчеты предложенных критериев

Для решения задачи оптимизации размещения источников РГ предлагается многокритериальная математическая модель, которая учитывает приведенные выше параметры для оптимизации, так же в ней учитывается снижение потерь мощности и ЭЭ как во внешней электрической сети, так и в сети потребителя. Модель представлена следующими критериями:

1. ***Инвестиционный критерий***. В современных рыночных условиях существуют несколько критериев оценки инвестиционных проектов, одним из таких критериев является относительный показатель – индекс рентабельности *PI* (Profitability Index). При решении задачи минимизации целевой функции можно использовать функцию отношения $1/PI$

$$F_1 = \frac{1}{PI(P)}, \quad (2)$$

$$F_1 = P\frac{K_1 + K_2 + K_3}{\sum_t \left[\left(И_{ам} + И_{э,о} + И_{\Delta W} - D_{ээ} \right) (1+\alpha)^t \right]}, \quad (3)$$

где P – мощность источника; $K_1 + K_2 + K_3$ – удельные капитальные вложения на приобретение, строительство и подключение источника при условии ввода в работу источника в течение одного года; $И_{ам} = \alpha_{ам}(K_1 + K_2)P$ – сумма ежегодных амортизационных отчислений; $И_{э,о} = \alpha_{э,о}(K_1 + K_2)P$ – отчисление на ремонт и обслуживание источника РГ в год; $И_{\Delta W} = c_0 \Delta W$ – издержки, связанные с оплатой потерь электроэнергии в год (в этой величине учитывается изменение потерь электроэнергии в денежном выражении, для каждого варианта значения издержек будут разные); c_0 – стоимость потерь активной электроэнергии для рассматриваемой сетевой компании предприятия; $D_{ээ}$ – экономия от выработанной электроэнергии в год, α – коэффициент дисконтирования.

2. ***Критерий качества электрической энергии.*** Критерием качества электрической энергии принята величина отклонений по напряжению, т.к. другие показатели качества зависят от нагрузки потребителя. Таким образом, в расчетах принимаем стабилизацию отклонений по напряжению:

$$F_2 = \frac{|\Delta U|}{U_{ном}} = \frac{\left| U_{факт} - U_{ном} \right|}{U_{ном}}. \quad (4)$$

3. ***Критерий надежности***. При анализе надежности главное – это надежность системы электроснабжения. При подключении источников РГ на параллельную работу, изменяются потоки мощности по отдельным участкам цепи. Снижение потоков мощности приводит к нормализации температурных режимов оборудования, от которого в свою очередь зависит величина потока отказов и

срок безаварийной службы электрооборудования. Для оценки влияния источников РГ на снижение вероятности отказов элемента сети используется отношение вероятностей отказов после установки источника РГ к вероятности без источника РГ:

$$F_3 = \frac{\lambda_2(t)}{\lambda_1(t)} + \frac{1 - e^{-t/T + \Delta T}}{1 - e^{-t/T}}, \qquad (5)$$

где $\lambda_1(t), \lambda_2(t)$ – интенсивность отказов до и после подключения источника РГ, соответственно; значение t принимается равным нормативному сроку службы элемента, T – время безаварийной работы элемента, ΔT – время, на которое изменится время безаварийной работы элемента сети после подключения источника [5].

4. ***Критерий устойчивости.*** При планировании и ведении режима энергосистемы приходится учитывать множество факторов. Например, к ограничениям по оборудованию добавляется большая группа ограничений, связанных с устойчивостью синхронной работы энергосистемы в целом.

Устойчивость работы генерирующего оборудования, прежде всего, определяется допустимыми возмущениями, которые рассчитываются по уравнению движения ротора

$$\tau_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\Delta P}{P_{\Sigma\text{ном}}} \cdot 2\pi f, \qquad (6)$$

где τ_j – постоянная инерции генераторного агрегата; δ – угол положения ротора; ΔP – изменение мощности источника(ов) РГ.

Учитывая, что источники РГ имеют малые постоянные времени, следовательно, под действием даже незначительных возмущений в энергосистеме может возникнуть асинхронный ход и источник отключится. Поэтому очень важно определить возможные сбросы/набросы мощности и допустимое ускорение $\left(d^2\delta/dt^2\right)$, которые не приведут к потере устойчивости.

Эксплуатационные границы устойчивого режима задаются ограничениями перетоков между районами энергосистемы, а также техническими характеристиками источников РГ. Поэтому при планировании и ведении режима постоянно требуется контролировать допустимость перетоков, величины и скорости изменения мощности источника РГ.

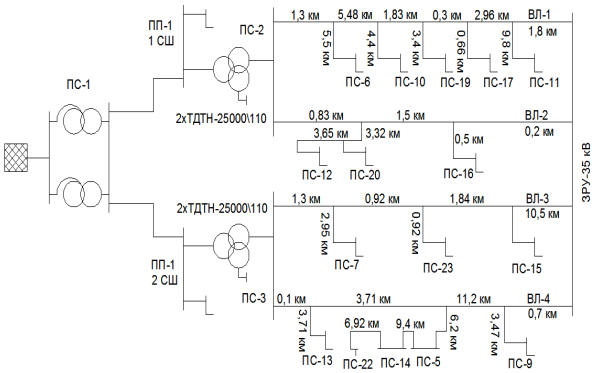
Также целесообразность установки РГ предлагается оценивать коэффициентом эффективности,

$$F_4 = k_{\text{эфф}ij} = \frac{\Delta P_{ij}}{\Delta P_{\text{РГ}ij}} \qquad (7)$$

где ΔP_{ij} – изменение потока мощности по линиям в аварийных режимах, $\Delta P_{\text{РГ}ij}$ – изменение потока мощности в линии при подключении источника распределенной генерации.

3. Тестовые расчеты

По предложенной методике были проведены экспериментальные расчеты на базе существующей системы электроснабжения нефтяного месторождения. Однолинейная схема тестовой сети приведена на рис. 1, данные по нагрузкам в табл. 1.



Фиг. 1. Однолинейная схема электроснабжения нефтяного месторождения

Табл. 1. Нагрузки подстанций нефтяного месторождения, MBA

Наименование объекта	1 СШ	2 СШ
ПС-11	2,7+i0.9	3.2+i1.12
ПС-17	0.25+i0.1	0
ПС-19	0.54+i0.29	0.06+i0.07
ПС-10	2+i1.7	1.3+i1.68
ПС-6	0.2+i0.45	1+i0.84
ПС-16	2.5+i1.18	2.4+i1.21
ПС-20	0.6+i0.43	1+i0.77
ПС-12	3.2+i0.95	3.4+i1.35
ПС-15	0.82+i0.9	0.6+i0.6
ПС-23	0.56+i0.675	0.36+i0.9
ПС-7	1+i0.45	1.3+i1.4
ПС-9	0.7+i0.675	0.5+i0.775
ПС-5	1.3+i0.4	1.5+i0.3
ПС-14	1.8+i0.7	1.5+i0.6
ПС-22	0.78+i0.73	0.39+i0.69
ПС-13	2+i0.15	1.9+i0.2

Для расчетов применялись программные комплексы, реализованные в среде табличного процессора Excel, генетический алгоритм (solver) реализовывался в качестве дополнительной надстройки в пакете поиска решения [6]. Для расчета установившихся режимов и коэффициента эффективности применялся программный комплекс Inor Xl, являющийся дополнительным компонентом для пакета MS Excel.

Электроснабжение потребителей месторождения осуществляется от энергоузла, питающегося от головной ПС 500/220/110 кВ «ПС-1». Данный энергоузел характеризуется как крайне дефицитный. Дефицит электроэнергии здесь объясняется тем, что пропускная способность электросетей достигла критической отметки, которую уже нельзя увеличивать. Запитка подстанций «ПС-3» и «ПС-4» (ПС 110/35/6кВ) производится на напряжении 110 кВ от ОРУ 110 кВ «ПС-1». В случае аварии на линиях 110 кВ частично или полностью обесточиваются объекты месторождения, что приводит к серьезным экономическим убыткам. Так, например, за последние годы было несколько случаев отключения потребителей из-за обрыва проводов и/или падения опор ЛЭП.

По данным энергослужбы нефтегазовой компании недопоставка электроэнергии за 2006 г. составила 8,64 млн. кВтч, т.е. примерно 5% от общей годовой потребности в электроэнергии.

Расчетный сценарий предусматривает ограничения на установку источников РГ в размере 100% от мощности нагрузок предприятия. Устанавливались следующие ограничения:

$$tg\varphi \le 0,45;\ \Delta U \le \pm 5\%;\ I_{ij} < I_{\max\ доп} / k_{попр} \cdot \cdot$$

В качестве источников РГ рассматривались газотурбинные установки мощностью 2,5; 5; 6 и 8 МВт. Значения весовых коэффициентов для сценариев были приняты в соответствии с данными табл. 2.

Табл. 2. Значения весовых коэффициентов целевой функции

β_1	β_2	β_3	β_4
0,2	0,2	0,3	0,3

Выбор таких значений весовых коэффициентов можно объяснить тем, что в исследовании основной задачей установки источников РГ является повышение надежности электроснабжения потребителей.
В доходную часть проекта дополнительно включались сэкономленные средства от снижения экологических платежей, связанных с утилизацией попутного нефтяного газа, являющегося основным топливом для источников РГ.

Денежный поток рассчитывался на горизонт 6 лет, с нормой дисконтирования равной 15%. Такой срок принят по причине сложности прогнозирования тарифов на длительную перспективу, и неопределенности влияния на принимаемые сегодня решения. Возможность продажи ЭЭ во внешнюю сеть рассматривается как экономически не эффективная по причине установки энергосбытовой компанией низкой отпускной цены.

4. Результаты численного моделирования

В результате экспериментальных расчетов при использовании генетического алгоритма [7, 8] получены следующие оптимальные точки подключения и генерирующий состав оборудования: подключение по одному источнику 8 МВт к шинам НН подстанций ПС-11 и ПС-16.

Основными результатами оптимизации размещения источников РГ является:

- стабилизация отклонений по напряжению в нормальных режимах (табл. 3);
- снижение потерь мощности (табл. 4);
- устойчивая работа энергорайона при аварийном отключении трансформатора №1 ПС-3, или его питающей линии 110 кВ.
-

Табл. 3. Максимальные отклонения напряжения в нормальных режимах

ΔU, кВ	
Без РГ	С РГ (ПС-11 ПС-16)
2	0,6

Табл. 4. Изменение потерь мощности в электрических сетях предприятия

Потери мощности	ПС-11 ПС-16	Без РГ
Активная, кВт	1,4	3,21
Реактивная, кВАр	14,7	20,5

Таким образом, были рассмотрены и проанализированы базовые сценарии оптимизации размещения РГ. Первый сценарий не ограничивал количество точек подключения источников РГ, тогда как, мощность каждого источника была ограничена составом генерирующего оборудования (не более трёх в каждом узле). Второй сценарий предусматривал ограничения на установку источников РГ только в узлах с загрузкой трансформаторов более 70 %, а состав генерирующего оборудования не ограничивался. Для обоих сценариев устанавливались ограничения по току, уровням напряжения и tgφ. Сравнение результатов численного моделирования показали, что каждый из сценариев обладает достоинствами, но первый имеет больше преимуществ.

III. ВЫВОДЫ

Хотя сама модель не учитывает все множество влияющих факторов, однако многие из этих факторов можно учесть в качестве ограничений, например при ограниченном бюджете, на строительство источника РГ сумму максимально возможных средств инвестиций можно использовать как ограничение. Стоит отметить и скорость работы алгоритма. Результаты расчета сравнивались с результатами полученными методами прямого перебора вариантов и нелинейным методом обобщенного понижающего градиента (ОПГ). Все методы дают одинаковые результаты, и для задач с небольшим числом вариантов показывают примерно одинаковое время расчета. При использовании эволюционных алгоритмах для задач большой размерности, можно отметить существенное сокращение времени расчета.

Приведенная модель может использоваться в различных задачах, например подбор генерирующего оборудования в определенной точке сети, или же выбор наиболее оптимального варианта подключения на параллельную работу источника РГ, так как может возникнуть достаточно большое количество вариантов.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Н. Р. Рахманов. Оптимизация размещения установок распределённой генерации в энергосистеме / Н.Р. Рахманов, О.З. Керимов, А.Д. Зейналов, С.Т. Ахмедова // Электро. – 2010. – № 3. – С. 27–30.

[2]. С. А. Ерошенко, А. А. Карпенко, С. Е. Кокин, А. В. Паздерин. Многокритериальная оценка влияния распределенной генерации на электрическую сеть // Электроэнергетика глазами молодёжи: научные труды международной научно-технической конференции: сборник статей. В 3 т. Самара: СамГТУ, 2011. Т.1. С. 187-192.

[3]. F. H. Guan, D. M. Zhao, X. Zhang, B. T. Shan, Z. Liu. Rresearch on Distributed Generation Technologies and its impacts on Power System // SUPERGEN Conference, Nanjing, China, 2009. SO2P0557.

[4]. Д. А. Чечушков, Т. Ю. Паниковская. Некоторые особенности эксплуатации источников распределенной генерации// Эффективное и качественное снабжение и использование электрической энергии. II Международная научно-практическая конференция в рамках выставки "Энергоснабжение, отопление, вентиляция, водоснабжение в промышленности и ЖКХ" 15 - 17 мая 2012г. Екатеринбург. ЗАО "Уральские выставки" 2012. С. 42-45.

[5]. Савина, Н. В. Теория надежности в электроэнергетике: учебное пособие / Н. В. Савина. – Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. – 213 с.

[6]. Sequential Approximate Multiobjective Optimization Using Computational Intelligence (Vector Optimization). — Springer. — ISBN 978-3-540-88909-0

[7]. В. В. Тарасенко. Генетический алгоритм выбора распределённой генерации // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия «Энергетика». – 2010. – Вып. 13. – №14(190). – С. 15–19.

[8]. Л. А. Гладков. Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с.

Контакты: доцент, к.т.н. Татьяна Паниковская, доцент кафедр ЭПиЭС (ВШЭМ), АЭС (УралЭНИН), УрФУ, а/я 23, ул. Мира, 19, Екатеринбург, Россия

аспирант Дмитрий Чечушков, кафедра ТВН, УрФУ, а/я 23, ул. Мира, 19, Екатеринбург, Россия

e-mail: pti@daes.ustu.ru, chechushkov@gmail.com

Рецензент: доц. д-р инж. Ангел Врангов, ТУ-Варна

КОМПЮТЪРЕН МЕТОД ЗА БЕЗКОНТАКТНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПСИХОЛОГИЧЕН СТРЕС В ГОВОРА

COMPUTATIONAL METHODS FOR CONTACTLESS DETERMINATION OF PSYCHOLOGICAL STRESS SPEECH

Петър Ст. Апостолов

Висше училище „Колеж по телекомуникации и пощи", София, бул."Акад. Ст. Младенов" №1, e-mail: p_apostolov@abv.bg

Резюме: В статията е разгледан проблемът за използване на компютърен метод за определяне на психологичен стрес в говорна информация. Направен е преглед на съществуващите анализатори на стреса, използвани в практиката на правораздавателните органи. Предложена е програма на Matlab за компютърна обработка на звукова информация. На основата на цифрово интегриране са предложени емпирични количествени критерии за оценка на стреса. В допълнение е приложен метод за анализ на звукови сигнали с трансформация на Хилберт-Хуанг. Показани са примери за анализ на информационни сигнали, направени успоредно с полиграфско изследване в Института по психология на МВР.
Ключови думи: полиграф, психологичен стрес, Хилберт-Хуанг трансформация

Abstract: In this paper the problem of using computer-based method for the determination of psychological stress in speech information is discussed. A review of existing stress analyzers used in the practice of law enforcement agencies is made. A Matlab program for computer processing of speech information is proposed. On the basis of the numerical integration empirical quantitative criteria for evaluating the stress are proposed. In addition the method is applicable for the analysis of sound signals by a Hilbert-Huang transformation. There are examples of the analysis of data signals carried along with polygraph examination at the Institute of Psychology of the Ministry of Interior.
Keywords: polygraph, psychological stress, Hilbert Huang tranfomation

I. ВЪВЕДЕНИЕ. ПОЛИГРАФСКИ МЕТОД ЗА ВЕРИФИКАЦИЯ НА ИСТИНАТА

Полиграфските изследвания установяват дали изследваното лице казва истината или лъже. В правоохранителните и правораздавателните институции тази диференциация е от особено важно значение. Идеята за създаване на научен подход при полиграфските изследвания се появява през 20-те и 30 – те години на XX век.

През 1948 г. Клив Бакстър създава и оглавява звеното на ЦРУ за разпити, което използва детекцията на лъжата, като основен метод на работа. Той е основател на подхода на цифрово оценяване или квантитативния подход в полиграфските изследвания. Посредством прикрепени датчици към тялото на изследваното лице се отчитат, а в последствие и оценяват настъпилите физиологичните промени в кожно-галваничното съпротивление, дихателните движения, в кръвното налягане и пулса, когато изследваното лице изрича лъжа на зададените въпроси от конкретния формат тест избран за съответния казус. Тези физиологични процеси не могат съзнателно да бъдат контролирани от изследваното лице, тъй като регулирането се осъществява от автономната нерва система.

Полиграфските изследвания имат висока валидност и надеждност. Във връзка с това твърдение, може да се посочи и обемно изследване на Н.Енсли от 1990 г., където се разглежда валидността на полиграфския тест при реални случаи. Енсли използва данни от проведени полиграфски изследвания в различни страни- САЩ, Канада, Япония, Израел и Полша. На базата на разгледани 2042 случая, за които има реални данни за потвърдена вина или невинност, валидността е 98% [1].

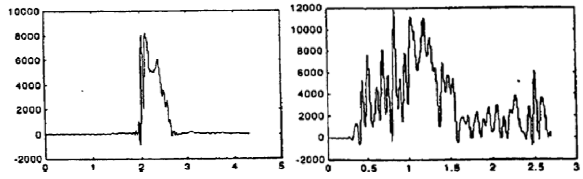
Близка до научната концепция на полиграфа е тази на описаното в настоящата статия технически средство, наречено звуков анализатор на стрес, с което се извършват подобни аналитични действия, но по безконтактен начин. В основата на действие на уреда е звуковият анализ на човешката реч. В литературата е прието, че когато изследваният обект говори неистина, има основание да се счита, че лицето е в психологичен стрес. Следователно отчитането на стреса в говора е един вид безконтактен „детектор на лъжата"

II. ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВАНИЯ. ПРЕГЛЕД НА СЪЩЕСТВУВАЩИТЕ МЕТОДИ И ТЕХНИЧЕСКИ СРЕДСТВА

Успоредно с полиграфските изследвания, в много страни се работи за създаване на безконтактни прибори за установяване на достоверността при разследвания на престъпни деяния от правоохранителните органи. Една част от тях са свързани с изследвания на човешкия говор и по-точно на психологичния стрес в гласа.

Научният фундамент се базира на откриването на гласовия микро-тремор през 50-те години на 20 век. През 1971 г. Олоф Липолд, изследовател в Лондонския университет, публикува резултатите на изследването, което е започнал през 1957 г. в списание Scientific American. В статията на Липолд [2] се дефинира понятието „психологичен тремор”. Авторът използва изследванията на явлението от Мартин Холидей и Джо Редфийм, проведени десетилетие преди това в Националната болница в Лондон. Те открили, че контракцията на волеви мускул е съпроводена с тремор под формата на осцилации. Според Липолд, всички мускули в тялото, включително гласовите струни, вибрират в диапазона от 8 до 12 Hz. Авторът счита, че треморът е функция на сигналите към и от двигателните неврони и че е аналогичен на самонастройваща се серво система със затворен цикъл. Мускулите се свиват и отпускат, като по този начин поддържат постоянно напрежение, подобно на мускулен тонус. В моменти на стрес тялото на индивида се подготвя за отбрана (битка) или бързо отстъпление (бягство), като увеличава готовността на мускулите за действие. Техните вибрации се увеличават от нормалния диапазон 8 до 9 Hz до стресиращия 11 до 12 Hz. Тези трептения се включват в човешката реч, като модулират говора. Тези модулации не могат да бъдат доловени от човешкото ухо, но съществуват електронни прибори, които ги установяват с висока точност.

Статията на О. Липолд третира медицински аспекти и никъде не става дума за използване на психологичния тремор за верификация на истината. Тези научни резултати карат много учени и инженери да конструират редица технически средства за създаване на звуков „детектор на лъжата”. Изобретен е метод за детектиране на психологичния стрес с оценка на психологичните промени в човешкия глас, който е защитен с Патент - US Pat. № 3971034 на името на Бел. Гласовите модели на стрес първо са представени като метод за измерване на психологичния стрес, като се започне от «Устройство за оценка на психологичния стрес» (PSE – Psychological Stress Evaluator), проектирано от Форд, Бел и МакКистън през 1971 г. Уредът PSE записва в графичен вид диаграма върху лента от хартия, подобно на електрокардиограма. Устройството е магнетофон с променлива скорост на възпроизвеждане на звука. След запис, скоростта на лентата се забавя 8 пъти и сигналът се пропуска през филтри с различно затихване и се анализира. Всяка реакция в записания говор произвежда вертикални движения на писеца, които се анализират и определят субективно като стресови или не-стресови модели (шаблони). За критерии служат дължината и формата на шаблона. Общо казано, оценяваните гласови шаблони са във всякакви форми и размери. Те включват разлики за мъже и жени, регионални и международни лингвистични разлики и др. Независимо от това, моделите на човешки глас имат много общи характеристики и подобни отличителни черти, свързани със стреса, а именно, че тенденцията при стрес е да се формира шаблон с приблизително правоъгълна форма. В такъв случай се говори за т. нар. тенденция «блокиране». На Фиг.1а е показан шаблон при произнасянето на думата “fix” при липса на психологичен стрес. Шаблонът има приблизително триъгълна форма.



Фиг. 1. Шаблони на думата “fix” при отсъствие (а) и наличие (б) на психологичен стрес

На Фиг.1б е показан същият шаблон при наличие на психологичен стрес. Формата на наподобява правоъгълник.

В последните години са създадени редица компютъризиран средства. В тях се използват различни способи, заимствани от теорията на цифровата обработка на сигналите. Оценката на стреса се определя от нивото на мощността на сигналите в конкретната честотна лента. Специален интерес представлява създаденият в Националния институт по удостоверяване на истината NITV (National Institute for Truth Verification) компютъризиран анализатор на стрес CVSA (Computer Voice Stress Analyzer). Ръководител на проекта е Чарлз Хъмбъл, д-р. CVSA представлява преносим компютър с

микрофон и вграден софтуер за визуална и количествена оценка на стреса. Методът е защитен с патент № US 2005/0131692 A1 под името *„Method for Quantifying Psychological Stress Levels Using Voice Pattern Samples”*[3]. На основата му е създаден FACT алгоритъм за оценка. Претенциите на създателите на алгоритъма са, че той осигурява 98% точност. Принципът на действие на CVSA е същият както на аналоговия уред, но се използва дискретизация на сигнала. Това позволява да се формира количествена оценка на нивото на стрес. Тя се изразява в определяне на формата на модела, като количествените оценки се базират на апроксимирана форма на шаблоните.

Резултатите на гласовите анализатори на стреса не се приемат еднозначно от научната общност. Претенциите на Института за верификация на истината се оспорват от много автори и изследователи. В [4] авторът извършва изследвания, като имитира психологичен стрес в лабораторни условия. Той модулира звуков сигнал по подобие на гласните струни и установява, че посочените в патента шаблони се получават при честотна модулация, което е в противоречие със съдържанието на патента. В резултат се прави заключението, че уредът е ненадежден. До подобни заключения достигат и други автори. В [5] са разгледани правни аспекти на този вид изследвания. Авторите не са спестили критики към всички методи, приемайки ги за шарлатанство.

III. ИЗСЛЕДВАНИЯ С МЕТОД ЗА ЕМПИРИЧНО РАЗЛАГАНЕ НА СИГНАЛИТЕ (EMD)

От направеното изложение в предходната точка, може да се направят два извода:

- до момента няма техническо средство, което с висока достоверност да установява стреса в човешкия глас. Не е известно масово използване на такива технически средства от правоохранителните органи;
- въпреки противоречивите резултати, продължават усилията за създаване на такива средства с нови методи, свързани с компютърни алгоритми и цифровата обработка на сигналите.

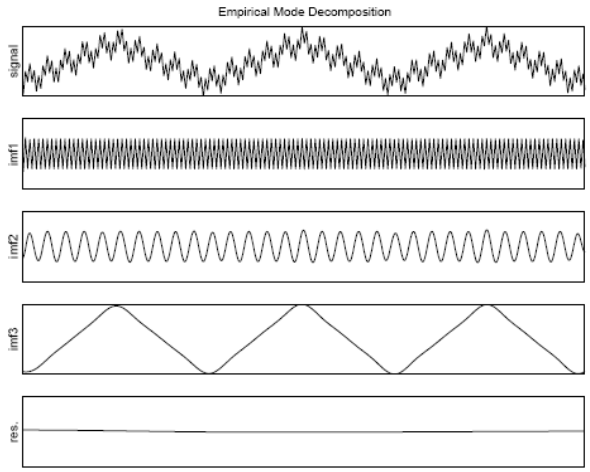
Физиологичният микротремор, както и човешкият глас, е нелинеен, нестационарен процес. Честотата и амплитудата на микротремора варира значително във времето. Ето защо разгледаните методи за анализ на гласовия стрес, които използват цифрова обработка на сигналите като бързото преобразуване на Фурие (FFT), нямат добра времева резолюция. Това значително намалява ефективността на отчитането на стреса. EMD е нов математически метод, който е алгоритъм за разлагане на нелинейни, нестационарни сигнали в линейна комбинация от хармонични сигнали. Това позволява да бъдат своевременно забелязани колебанията в честотата и амплитудата [6].

EMD работи чрез идентифициране на времеви сигнални поредици, които разкриват физическите характеристики на сигнала. Сигналът се разлага на множество стационарни сигнали, които представляват тези физични характеристики. Те са известни като Intrinsic Mode Functions (IMFs) – присъщи функции на модела. Функциите отговарят на следните критерии:

- броят на екстремумите и нулите в даден интервал трябва да бъдат или равни, или да се различават с единица;
- във всяка точка на функцията, средната стойност на обвивката, дефинирана от локалния максимум и обвивката дефинирана от локалния минимум, е равна на нула.

EMD е итеративен процес, чийто резултат е IMFs. Итерациите се прекратяват при достигане на начално зададена точност. Критерият може да бъде стандартно отклонение между два съседни резултата. Процесът се изразява в следното:

- горната и долна обвивки на сигнала се моделират с прилежащия му максимум и минимум, като се използва кубична сплайн-функция;
- извлича се средната стойност от сигнала, за да се получи нов сигнал;
- определя се дали новият сигнал е IMF, като се използват описаните по-горе критерии;



Фиг. 2. Разлагане на сложен сигнал на IMFs

- Ако новият сигнал е IMF, той се изважда от началния за итерацията сигнал. С получената

разлика, процедурата започва от начало до получаване IMF.

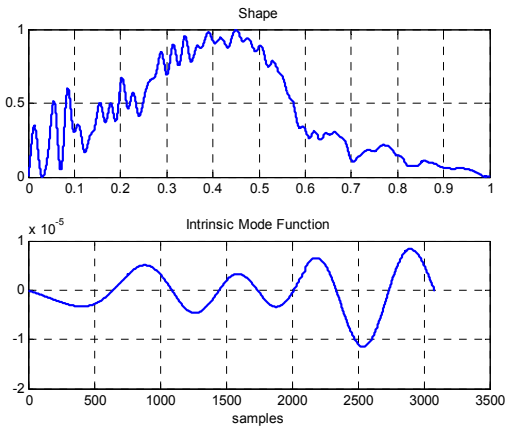
На Фиг.2 е показано приложение на алгоритъма при разлагане на сложен сигнал на IMFs [6].

С получените IMFs от EMD процеса, се извършва трансформация на Hilbert-Huang (HHT). Оригиналният сигнал се представя като линейна комбинация от реалните части на аналитичната функция. Амплитудата може да бъде представена като функция на честотата и времето. Това разпределение е известно като Хилберт-спектър.

IV. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

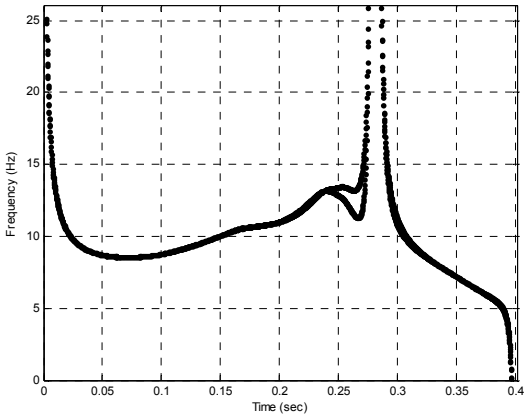
За целите на проучването в Института по психология на МВР бяха проведени 21 стандартни полиграфски теста с 16 лица-доброволци. По време на тестовете бяха направени аудио записи с професионална апаратура. Участникът записва на малък лист хартия число от 1 до 7, което полиграфистът не знае, и го поставя на стола под десния си крак (сяда върху листчето). Полиграфистът инсталира датчиците и обяснява предназначението им и същността на теста. Тестът започва като се съобщава името и възрастта на участника. През определени интервали от време, полиграфистът задава въпрос към участника кое е числото, като последният отговаря винаги с „не”. По този начин той казва неистина в единия от отговорите и това се отчита на полиграфа.

Отговорите „не” се анализират с компютърна програма на Matlab. Определя се шаблонът на думата и с цифрово интегриране се определя площта му. Успоредно с това, сигналът преминава през нискочестотен филтър с гранична честота 14Hz. Филтърът е синтезиран с метод на компресирани косинуси [7] и има параметри близки до идеален филтър.



Фиг. 3. Шаблон и IMF на думата “не”

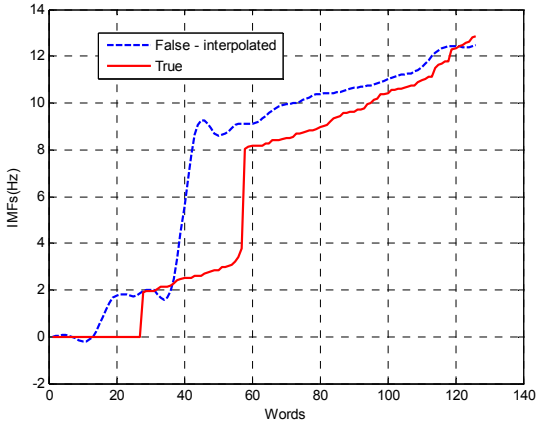
Следва прилагане на алгоритъм за определяне на присъщите функции – IMFs, и се изчислява честотата на функцията от най-висок ред. Площта на шаблона се сравнява с критериите от патентния документ на NITV.



Фиг. 4. Хилберт-Хуанг трансформация на думата “не”

Изходните данни съдържат информация за степента на психологичния стрес, според патентния документ, и честотата на IMF от най-висок ред. На фиг.3 са показани шаблонът при липса на блокиране и присъщата функция IMF с честота 10.3862Hz. На фиг.4 е показана Хилберт-Хуанг трансформацията на същата дума.

На фиг.5 са показани в графичен вид обобщени данни за честотите на IMFs, когато изследваните лица казват истина и неистина (с прекъсната линия). Данните за неистина са интерполирани, тъй като са 6 пъти по-малко на брой.



Фиг. 5. Честоти на присъщите функции IMF на изследваните доброволци

Графиките имат приблизително еднакъв характер. Средите стойности на честотите на IMFs за неистина са

$$\overline{F}_{False} = \sum_{i=1}^{N} \frac{F_i}{N} = \frac{152.784}{21} = 7.275428\,\text{Hz},\ N = 21\ .(1)$$

Средите стойности на честотите на IMFs за истина са

$$\overline{F}_{True} = \sum_{i=1}^{N} \frac{F_i}{N} = \frac{765.688}{126} = 6.07688\ ;\ N = 126\ .(2)$$

С оглед на пълнота на изследванията, с програмите median(.) и std(.) на Matlab са изчислени статистически данни:

медианна стойност:

$F_{m\_False} = 9.1394\text{Hz}$ $F_{m\_True} = 8.2203\text{Hz}$.

стандартно отклонение:

$F_{std\_False} = 4.4047\text{Hz}$; $F_{std\_True} = 4.5216\text{Hz}$.

Визуалният оглед на формите на шаблоните и резултатите по критериите от патентния документ, не потвърждава заявените претенции на Института по верификация на истината. В тази оценка важна роля играе нормирането на шаблона, по-точно определяне на продължителността на ехото в стаята (реверберацията). Необходимо е прецизно измерване с тест-сигнал с определена продължителност, каквото ще бъде направено в следващи изследвания

От научната публикация на Олоф Липолд, се разбира, че при наличие на психологичен стрес, честотата на тремора се увеличава. От изчисленията се вижда, че средната и медианна IMFs честоти, при изговаряне на неистина, имат по-високи стойности с малко над 1Hz. От друга страна, ако честотата на психологичния тремор е над 14Hz, тогава трябва да няма IMFs, т.е. честотата да е нула. Това се наблюдава в 3 от 21 на случаите False (14.29%) и в 27 от 126 при True (21.43%), което не потвърждава тази хипотеза.

V. ИЗВОДИ

В заключение може да се каже, че с предложения софтуер не може да се верифицира достоверно психологичен стрес. Вероятните фактори, които водят до този негативен резултат, са следните:

- Тестовете с изследваните лица са проведени при обстоятелства, които не провокират психо-физиологична реакция на стрес. Ако такъв тест се проведе с лице от криминалния контингент, заплашено от ефективна присъда, резултатите ще са различни.
- Броят на изследваните лица - 16, а на тестовете – 21 е твърде малък за статистически заключения.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. С. Занев, Полиграфът или машината на истината. «Изток- Запад», 2002, с.32, с.33, с.63.

[2]. O. C. J. Lippold, Oscillation in the stretch reflex arc and the origin of the rhythmical, 8-12 c/s component of physiological tremor, J. Physiol. (1970), 206, pp. 359-382.

[3]. Charles Humble, Method for Quantifying Psychological Stress Levels Using Voice Pattern Samples, Patent Application Publication, № US 2005/0131692 A1.

[4]. Victor L. Cestaro, A Test of the Computer Voice Stress Analyzer (CVSA) Theory of Operation, Polygraph, 2002, 31(2), pp.72-86.

[5]. Anders Eriksson and Francisco Lacerda, Charlatanry in forensic speech science: A problem to be taken seriously, The international journal of speech, language and the law, vol. 14.2 2007, pp. 169–193.

[6]. Hai Huang, Jiaqiang Pan. Speech pitch determination based on Hilbert-Huang transform, Elsevier, Signal Processing 86 (2006), pp. 792-803.

[7]. П. С. Апостолов. Математически приближения с компресирани косинуси и техни приложения, Академично издателство «Проф. Марин Дринов», 2012.

За контакти:

Петър Ст. Апостолов, Висше училище „Колеж по телекомуникации и пощи”, София, бул.”Акад. Ст. Младенов” №1, e-mail: p_apostolov@abv.bg

Рецензент: д-р инж. Майк Щреблау, ТУ-Варна

АНАЛИЗ И ИЗМЕРВАНЕ НА ВЕКТОРНИ ВЕЛИЧИНИ В ПРОЦЕСА НА ОБУЧЕНИЕ НА СТУДЕНТИТЕ ОТ ЕЛЕКТРОСПЕЦИАЛНОСТИТЕ В ТУ-ВАРНА ПО ТЕОРЕТИЧНА ЕЛЕКТРОТЕХНИКА

ANALYSIS AND MEASUREMENT OF VECTOR QUANTITIES IN THE PROCESS OF THE EDUCATION OF THE STUDENTS FROM THE ELECTRICAL SPECIALITIES OF TU-VARNA IN CIRCUIT THEORY

Емил И. Панов, Илонка Т. Лилянова, Мирослава Г. Донева, Вяра Й. Василева, Емил С. Барудов, Христо Ж. Караиванов, Златан К. Ганев

Резюме: В статията са представени резултатите от изследването на разработени нови експериментални постановки за лабораторни упражнения за студенти, в които се показва директно съвпадението на резултатите от комплексния анализ на веригите с резултатите от векторните измервания на величините. Изследвани са четириполюсници и трифазни вериги. Наблюдаваните отклонения между измерените и изчислените стойности на величините са удовлетворително малки за целите на учебния процес.
Ключови думи: теория на веригите, комплексен анализ на електрически вериги, моделиране на електрически вериги, векторни измервания, комплексни величини.

Abstract: In this paper the results from the exploration of some new experimental circuits for laboratorial exercises for students are presented. They confirm the direct coincidence between the data from the phasor analysis and these from the vector measurements of the explored quantities. Two groups of two-ports and three-phase circuits are examined. The relative errors between the calculated and the measured quantities are enough small for the aims of the educational process.
Keywords: circuit theory, phasor approach of electric circuits, modeling of electric circuits, vector measurements, complex quantities.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременното обучение по дисциплината „Теоретична електротехника” изисква въвеждането на качествено нови техники за измерване на комплексните величини и параметри, което да е съпроводено с паралелен компютърен анализ на изследваните електрически вериги.

Комплексният метод се използва при анализа на редица типове вериги, които се разглеждат основно в дисциплината „Теоретична електротехника” поради широкото им практическо приложение [1]. Теоретичното разглеждане на проблемите изисква илюстрирането и потвърждаването им експериментално с помощта на най-новите измервателни уреди и технологии.

Класическите методи за измерване на хармонични токове и напрежения се свеждат до регулиране на компенсиращото напрежение чрез полярно-координатни и правоъгълно-координатни компенсатори [2]. Те са трудно приложими и съпроводени с редица допълнителни изчисления.

Развитието на технологиите за цифрова обработка на информацията дава възможност да се разшири областта на използване на традиционните форми за представяне на векторните величини и да се разработят и внедрят нови форми за измерване и сравняване [3, 4, 5, 6, 7].

Новите модели цифрови осцилоскопи имат редица предимства при решаване на тази задача: автоматични средства за измерване параметрите на сигнала, сравнително висока точност на измерванията, широка лента на пропускане, възможност за включване към компютър и други.

Целта на разработката е да се представят създадените нови лабораторни постановки, в които се използва съвременна цифрова техника за измерване, която модернизира процеса на практическо обучение на студентите и дава възможност за практическа изследователска дейност не само на студенти, но и на преподаватели.

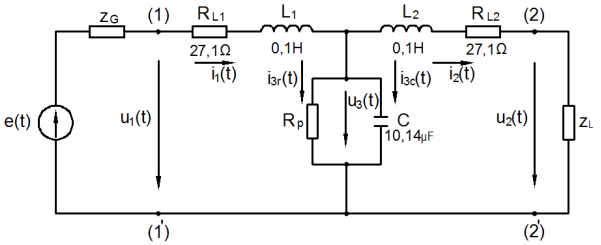
II. АНАЛИЗ

Изследванията на хармоничните режими на подбраните четириполюсници и трифазни вериги са проведени с помощта на цифров осцилоскоп DQ2042CN при честота 50 Hz.

Измервателните сонди, които са използвани при измерванията, са разделителни напреженови и токови сонди. Те работят при ток от 1 mA до 2-3 A и напрежение от 0 до 30V и се характеризират с висока линейност и точност на преобразуване на измерваните величини.

1. Комплексен анализ и директно векторно измерване на величини при изследване на четириполюсници при хармоничен режим.

Четириполюсникът е електротехническо устройство с две двойки изводи. Като система за предаване на енергия, свойствата на същия изцяло се определят от съотношението между напреженията на неговите изводи и протичащите през тях токове. Теорията на четириполюсника (ЧП) решава основна електротехническа задача за оптимизация на енергийните характеристики при предаване на енергия от източник към консуматор (товар - Z_L). Целта на изследването се състои в синтезиране на симетричен Т-образен ЧП като съгласуващо звено между неидеален източник на синусоидално е.д.н. $e(t)$ (с постоянно по ефективна стойност е.д.н. $E = 12V$ и вътрешно съпротивление Z_G) с оглед на директното измерване на комплексните напрежения и токове при използване на запаметяващ двулъчев цифров осцилоскоп и сравняване с изчислените стойности на същите, получени в програмната среда MATLAB (Фиг.1).



Фиг. 1. Схема на изследвания четириполюсник.

Представената на Фиг.1 схема е изследвана при три различни постановки (ЧП1, ЧП2 и ЧП3) въз основа на промяната на стойността на елемента R_p - съпротивление, включено в паралел на кондензатора C и съответното определяне стойностите на: Z_{C1} и Z_{C2} - характеристичните съпротивления, Z_G и Z_L. Тук се използват две възможности: $Z_G = Z_{C1} = Z_{C2} = Z_L$ (комплексно съгласуване) за ЧП1 и ЧП2 и $Z_G = \overset{*}{Z}_{C1} = \overset{*}{Z}_{C1} = Z_L$ (комплексно спрегнато съгласуване) за ЧП3 (Табл. 1).

Табл. 1. Стойности на съпротивленията на ЧП.

ЧП	R_p [Ω]	Z_L [Ω]
ЧП1	430,92	144
ЧП2	131,63	98,702 + j31,402
ЧП3	131,63	98,702 - j31,402

Директно са измерени ефективните стойности и началните фази на комплексните токове и напрежения: $\dot{I}_1$, $\dot{I}_2$, $\dot{I}_3$, $\dot{U}_1$ и $\dot{U}_2$ и са съпоставени с изчислените стойности (Табл.2). На Фиг. 2, Фиг. 3, Фиг. 4, Фиг. 5 и Фиг. 6 са представени осцилограмите на посочените величини за ЧП1. Отчитането на резултатите от експеримента е осъществено на база ефективна стойност на съответната величина (CH2 RMS) и закъснение (CH1-CH2 delay или CH2-CH1 delay) за определяне на началната фаза на изследваната векторна величина. Канал 1 (CH1), т.е. горният лъч, показва напрежението $e(t)$, а канал 2 (CH2) – измерваната величина, т.е. долният лъч.

Табл. 2. Комплексни стойности на измерените и изчислените величини.

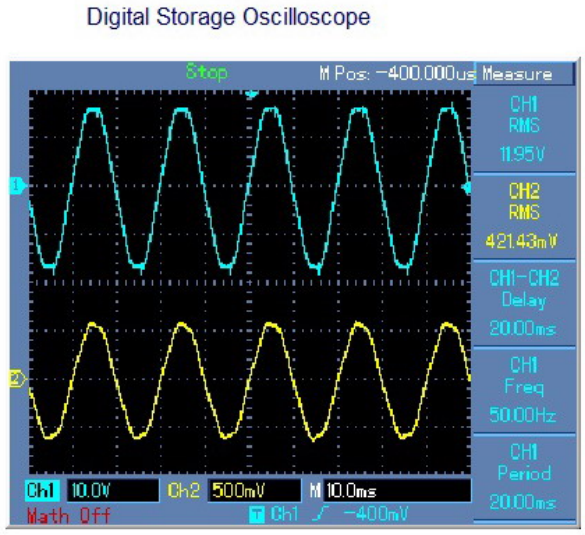
Векторни величини		Измерени стойности	Изчислени стойности
$\dot{I}_1$ [A]	ЧП1	$0{,}0421.e^{j0^\circ}$	$0{,}0417.e^{j0^\circ}$
	ЧП2	$0{,}0579.e^{-j21{,}6^\circ}$	$0{,}0579.e^{-j17{,}7^\circ}$
	ЧП3	$0{,}0599.e^{j0^\circ}$	$0{,}0608.e^{j0^\circ}$
$\dot{I}_2$ [A]	ЧП1	$0{,}0292.e^{-j28{,}8^\circ}$	$0{,}029.e^{-j25{,}5^\circ}$
	ЧП2	$0{,}0286.e^{-j43{,}2^\circ}$	$0{,}0295.e^{-j44{,}2^\circ}$
	ЧП3	$0{,}0294.e^{-j21{,}6^\circ}$	$0{,}031.e^{-j26{,}5^\circ}$
$\dot{I}_3$ [A]	ЧП1	$0{,}0204.e^{j36^\circ}$	$0{,}0199.e^{j38{,}9^\circ}$
	ЧП2	$0{,}0344.e^{j7{,}2^\circ}$	$0{,}0341.e^{j5^\circ}$
	ЧП3	$0{,}036.e^{j21{,}6^\circ}$	$0{,}0359.e^{j22{,}8^\circ}$
$\dot{U}_1$ [V]	ЧП1	$5{,}87.e^{j0^\circ}$	$6.e^{j0^\circ}$
	ЧП2	$5{,}89.e^{j0^\circ}$	$6.e^{j0^\circ}$
	ЧП3	$6{,}03.e^{j21{,}6^\circ}$	$6{,}29.e^{j17{,}6^\circ}$
$\dot{U}_2$ [V]	ЧП1	$4{,}07.e^{-j21{,}6^\circ}$	$4{,}18.e^{-j25{,}5^\circ}$
	ЧП2	$3{,}07.e^{-j21{,}6^\circ}$	$3{,}06.e^{-j26{,}6^\circ}$
	ЧП3	$3{,}17.e^{-j7{,}2^\circ}$	$3{,}21.e^{-j8{,}96^\circ}$

За установяване точността на получените резултати при директно измерване на комплексни величини е изчислена относителната грешка δ [%] за отчетените ефективни стойности при приемане за

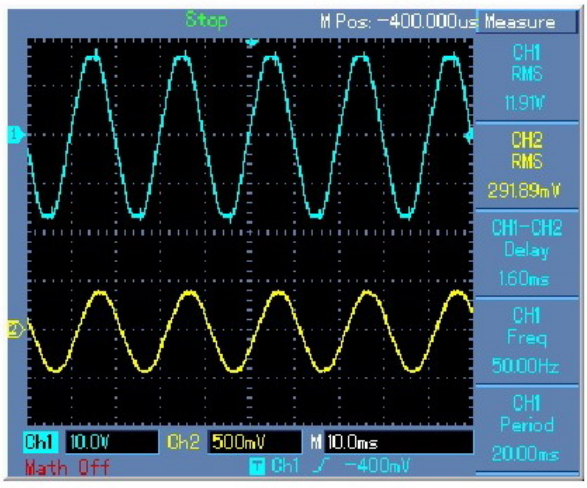
действителна стойност, получената при изчисляване в програмната среда MATLAB (Табл. 3).

Табл. 3. Относителни грешки.

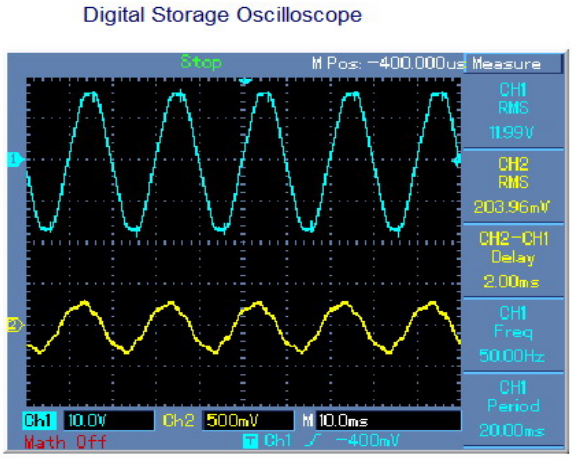
Относителна грешка δ [%]	Четириполюсник		
	ЧП1	ЧП2	ЧП3
δ_{I_1} [%]	0,96	0	1,48
δ_{I_2} [%]	0,69	3,05	5,16
δ_{I_3} [%]	2,51	0,88	0,28
δ_{U_1} [%]	2,17	1,83	4,13
δ_{U_2} [%]	2,63	0,33	1,25



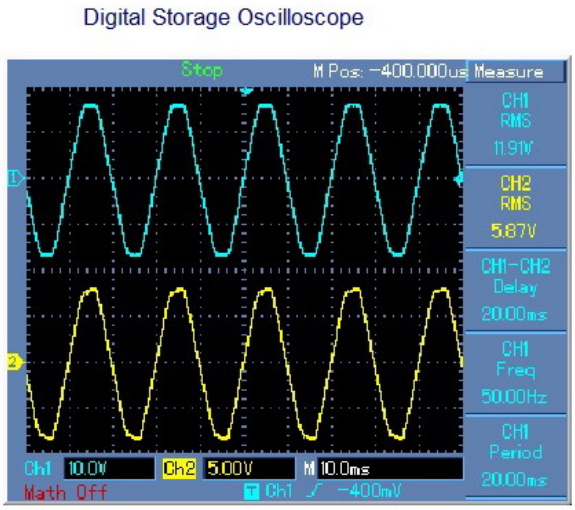
Фиг. 2. Осцилограма на директно измервания комплексен ток $\dot{I}_1$ за ЧП1.



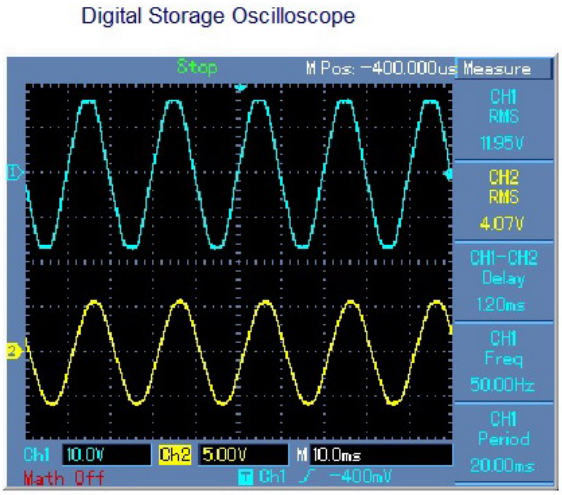
Фиг. 3. Осцилограма на директно измервания комплексен ток $\dot{I}_2$ за ЧП1.



Фиг. 4. Осцилограма на директно измервания комплексен ток $\dot{I}_3$ за ЧП1.



Фиг. 5. Осцилограма на директно измерваното комплексно напрежение $\dot{U}_1$ за ЧП1.



Фиг. 6. Осцилограма на директно измерваното комплексно напрежение $\dot{U}_2$ за ЧП1.

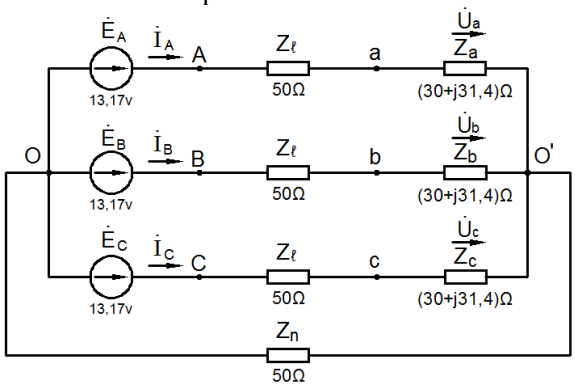
2.Комплексен анализ и директно векторно измерване на величини при изследване на трифазни вериги при хармоничен режим.

Трифазната верига е съвкупност от три електрически вериги, в която действат хармонични електродвижещи напрежения с една и съща честота, дефазирани на 120˚ помежду си, създавани от общ източник на електрическа енергия.

Изработената лабораторна постановка за трифазни вериги дава възможност за изследване на варианти със симетричен или несиметричен източник и със симетричен или несиметричен товар, свързан в звезда или триъгълник, а също трипроводна или четирипроводна верига. Източникът е симетричен със система от фазови напрежения $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$.

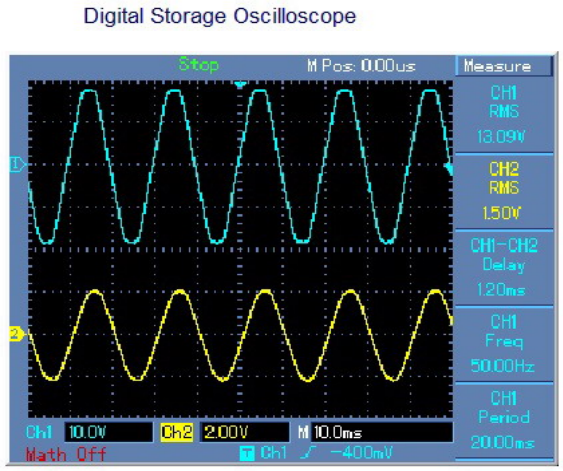
2.1. Анализ на симетрична четирипроводна верига с товар, свързан в звезда (трифазна верига 1 - ТВ1).

Изследваната верига е показана на Фиг.7. Теоретично са изчислени с помощта на MATLAB комплексните линейни токове $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ и комплексните фазови напрежения $\dot{U}_{\phi 1}, \dot{U}_{\phi 2}, \dot{U}_{\phi 3}$ на консуматора за трите фази. На Фиг. 8, Фиг. 9, Фиг. 10, Фиг. 11, Фиг. 12 и Фиг. 13 са представени осилограмите на посочените векторни величини за ТВ1.

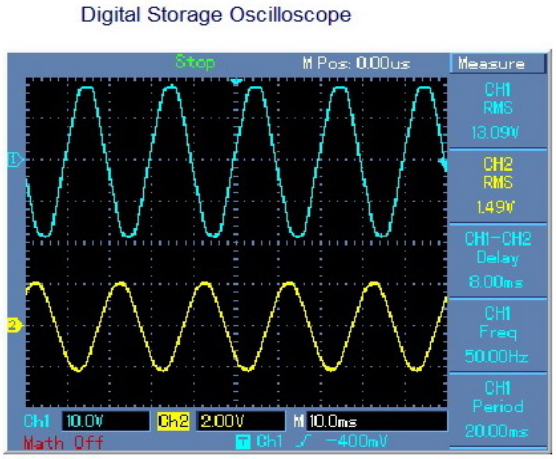


Фиг. 7. Трифазна верига с консуматор звезда.

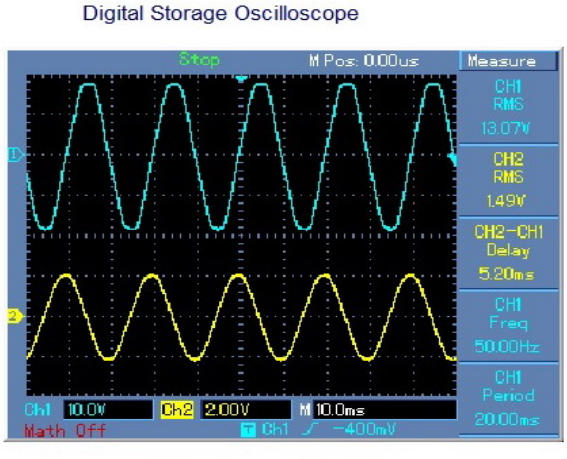
Отчитане на резултатите от експеримента е осъществено на базата на ефективната стойност на съответната величина (CH2 RMS) и закъснението (CH1-CH2 delay или CH2-CH1 delay) за определяне на началната фаза на векторната величина. Горният лъч на осилограмите (CH1) показва фазното напрежение $e_A(t)$, спрямо което се определят фазите на всички останали измервани величини. Резултатите от компютърните симулации и от експерименталните измервания са представени в Табл.4 .



Фиг. 8. Осилограма на директно измервания комплексен ток $\dot{I}_A$.



Фиг. 9. Осилограма на директно измервания комплексен ток $\dot{I}_B$.

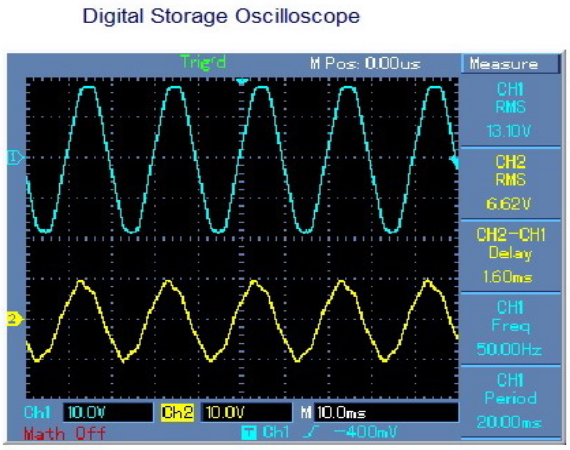


Фиг. 10. Осилограма на директно измервания комплексен ток $\dot{I}_C$.

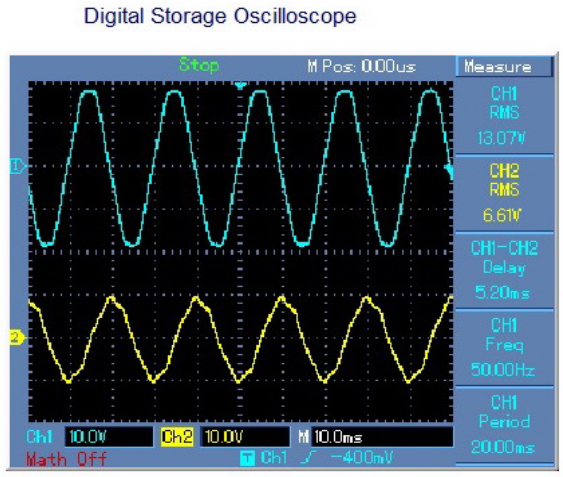
2.2. Анализ на симетрична трипроводна верига с товар, свързан в триъгълник (ТВ2).

Изследваната верига е представена на Фиг.14. С помощта на MATLAB са изчислени комплексните линейни токове $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$, комплексните токове $\dot{I}_{\phi 1}, \dot{I}_{\phi 2}, \dot{I}_{\phi 3}$ и

комплексните напрежения $\dot{U}_{\phi 1}, \dot{U}_{\phi 2}, \dot{U}_{\phi 3}$ на консуматора за трите фази. Тук $\dot{E}_A = 12{,}96V$ и $Z_{ab} = (30 + j*31{,}4)\Omega$. Резултатите от компютърните симулации и от експерименталните измервания са дадени в Табл. 4.



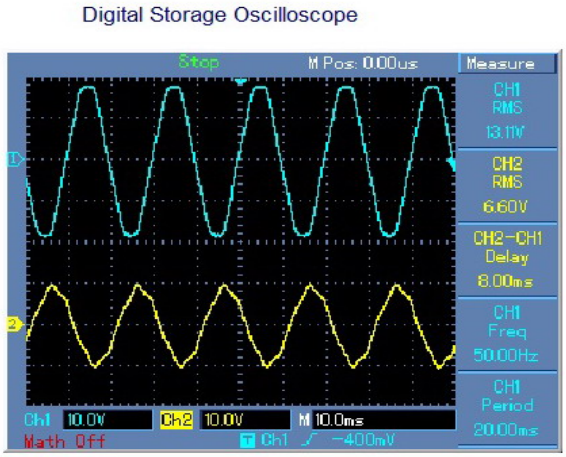
Фиг. 11. Осцилограма на директно измерваното комплексно напрежение $\dot{U}_{\phi 1}$.



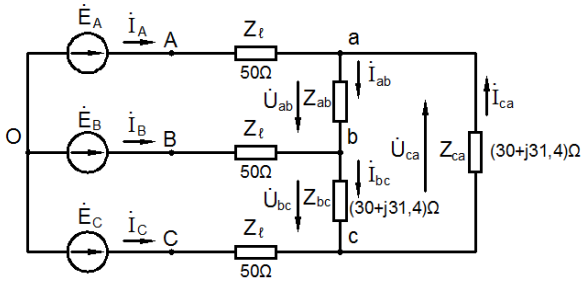
Фиг. 12. Осцилограма на директно измерваното комплексно напрежение $\dot{U}_{\phi 2}$.

2.3. Анализ на несиметрична трипроводна верига с товар, свързан в триъгълник (ТВ3).

Изследваната верига е представена на Фиг.14. Товарът е несиметричен. С помощта на MATLAB са изчислени комплексните линейни токове $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$, комплексните токове $\dot{I}_{\phi 1}, \dot{I}_{\phi 2}, \dot{I}_{\phi 3}$ и напреженията $\dot{U}_{\phi 1}, \dot{U}_{\phi 2}, \dot{U}_{\phi 3}$ на консуматора за трите фази. Тук $\dot{E}_A = 12{,}97V$ и $Z_{ab} = 45\Omega$. Резултатите от компютърните симулации и от експерименталните измервания са дадени в Табл. 4 .



Фиг. 13. Осцилограма на директно измерваното комплексно напрежение $\dot{U}_{\phi 3}$.



Фиг. 14. Трифазна верига с консуматор триъгълник

Табл. 4. Комплексни стойности на измерените и изчислените величини.

Векторни величини		Стойности	
		Измерени	Изчислени
$\dot{I}_A$ [A]	ТВ1	$0{,}150.e^{-j21{,}60^\circ}$	$0{,}1532.e^{-j21{,}44^\circ}$
	ТВ2	$0{,}210.e^{-j14{,}4^\circ}$	$0{,}2126.e^{-j9{,}90^\circ}$
	ТВ3	$0{,}193.e^{-j7{,}2^\circ}$	$0{,}1918.e^{-j7{,}22^\circ}$
$\dot{I}_B$ [A]	ТВ1	$0{,}149.e^{-j144^\circ}$	$0{,}1532.e^{-j141{,}44^\circ}$
	ТВ2	$0{,}210.e^{-j136{,}8^\circ}$	$0{,}2126.e^{-j129{,}90^\circ}$
	ТВ3	$0{,}211.e^{-j129{,}6^\circ}$	$0{,}2113.e^{-j123{,}65^\circ}$
$\dot{I}_C$ [A]	ТВ1	$0{,}149.e^{j93{,}6^\circ}$	$0{,}1532.e^{j98{,}56^\circ}$
	ТВ2	$0{,}210.e^{j108^\circ}$	$0{,}2126.e^{j110{,}10^\circ}$
	ТВ3	$0{,}210.e^{j108^\circ}$	$0{,}2129.e^{j110{,}10^\circ}$
$\dot{U}_{\phi 1}$ [V]	ТВ1	$6{,}62.e^{j28{,}8^\circ}$	$6{,}6563.e^{j24{,}88^\circ}$
	ТВ2	$5{,}38.e^{j57{,}6^\circ}$	$5{,}3324.e^{j66{,}42^\circ}$
	ТВ3	$5{,}36.e^{j36^\circ}$	$5{,}4759.e^{j41{,}71^\circ}$
$\dot{U}_{\phi 2}$ [V]	ТВ1	$6{,}61.e^{-j93{,}6^\circ}$	$6{,}6563.e^{-j95{,}12^\circ}$
	ТВ2	$5{,}31.e^{-j57{,}6^\circ}$	$5{,}3324.e^{-j53{,}58^\circ}$
	ТВ3	$4{,}33.e^{-j64{,}8^\circ}$	$4{,}2778.e^{-j59{,}13^\circ}$
$\dot{U}_{\phi 3}$ [V]	ТВ1	$6{,}60.e^{j144^\circ}$	$6{,}6563.e^{j144{,}88^\circ}$
	ТВ2	$5{,}38.e^{-j180^\circ}$	$5{,}3324.e^{-j186{,}42^\circ}$

	ТВ3	6,20. $e^{j172,8^\circ}$	6,2830. $e^{j179,74^\circ}$
$\dot{I}_{\phi 1}$ [A]	ТВ1	0,150. $e^{-j21,60^\circ}$	0,1532. $e^{-j21,44^\circ}$
	ТВ2	0,121. $e^{j14,4^\circ}$	0,1228. $e^{j20,10^\circ}$
	ТВ3	0,122. e^{j36°	0,1217. $e^{j41,71^\circ}$
$\dot{I}_{\phi 2}$ [A]	ТВ1	0,149. e^{-j144°	0,1532. $e^{-j141,44^\circ}$
	ТВ2	0,121. $e^{-j100,8^\circ}$	0,1228. $e^{-j99,90^\circ}$
	ТВ3	0,098. e^{-j108°	0,0985. $e^{-j105,45^\circ}$
$\dot{I}_{\phi 3}$ [A]	ТВ1	0,149. $e^{j93,6^\circ}$	0,1532. $e^{j98,56^\circ}$
	ТВ2	0,121. $e^{j136,8^\circ}$	0,1228. $e^{j140,10^\circ}$
	ТВ3	0,142. $e^{j129,6^\circ}$	0,1446. $e^{j133,42^\circ}$

От представените изследвания ясно се вижда, че точността на получените резултати при директно измерване на комплексните величини спрямо изчислените стойности е напълно задоволителна за целите на демонстрационните опити.

III. ИЗВОДИ

1. Въвеждането на техниката за директно измерване на комплексните величини при изследваните вериги при хармонични режими с помощта на двулъчев цифров осцилоскоп и прилагане на компютърен анализ на изследваните вериги дава възможност за визуализация на комплексния метод, който се явява един от основните методи в теоретичната електротехника, преподавана на студентите от електроспециалностите в ТУ-Варна.

2. При получените резултати от измерванията се отчита достатъчна точност (Табл. 3), като наблюдаваните амплитудни отклонения са удовлетворително малки – до 5%.

3.Поради приложението на комплексния метод в редица лабораторни упражнения по теоретична електротехника, се създава възможност за директно наблюдаване на изследваните величини и при другите налични лабораторни постановки в катедрата.

4.Създадената допълнителна лабораторна база дава възможност за избор на различни варианти за изчисляване и наблюдаване на изследваните явления и ефекти при възможността за голямо многообразие на конструкциите на изследваните вериги съобразно спецификата на електро-специалността на обучаваните студенти.

Настоящата публикация е финансирана по проект НП1/2013 при ТУ-Варна по ФНИ.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. С. Фархи, С. Папазов, Теоретична електротехника,ч.1, София,1987г.
[2]. Н. Колев, А. Лазаров, Е. Манов, Б. Матраков, В. Туренков, Електрически измервания, София, 1989г.
[3].Technical Manual, Vector Voltmeter, Hewlett-packard Model 8405A,Headquaters,Department of the Army,okt 1978.
[4].Understanding the Fundamental Principles of vector Network Analysis, Agilent Technologies, USA, December, 2012.
[5].Agilent Impedance Measurement Handbook, Agilent Technologies, USA, June,2009.
[6]. Agilent Network Analyzer Basics, Agilent Technologies, USA, August, 2004.
[7].J.Cowels, B.Gilbert, Accurate Gain/Phase Measurement at Radio Freduencies up to 2.5 GHz, Analog Dialogue 35-05, p1-4, 2001.

За контакти:

д-р инж. Емил Панов, доцент в Катедра ”Теретична и измервателна електротехника” на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, 306АЕ
e-mail: eipanov@yahoo.com
д-р инж. Илонка Лилянова, гл. асистент в Катедра ”Теоретична и измервателна електротехника” на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, 306АЕ
e-mail: iltl@mail.bg
инж. Мирослава Донева, гл. асистент в Катедра ”Теоретична и измервателна електротехника” на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, 309АЕ
e-mail: m_grisheva@abv.bg
инж. Вяра Василева, асистент в Катедра ”Теоретична и измервателна електротехника” на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, 309АЕ
e-mail: via_vas@abv.bg
инж. Емил Барудов, гл. асистент в Катедра ”Теоретична и измервателна електротехника” на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, 309АЕ
e-mail: ugl@abv.bg
инж. Христо Караиванов, асистент в Катедра ”Теоретична и измервателна електротехника” на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, 310АЕ
e-mail: hristo_car@abv.bg
инж. Златан Ганев, асистент в Катедра ”Теоретична и измервателна електротехника” на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, 304Е
e-mail: zganev@gmail.com

Рецензент:

доц. д-р инж. Маринела Йорданова - ТУ-Варна

СЕКЦИЯ

- **ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ И АПАРАТИ**

SECTION

- **ELECTRICAL MACHINES AND APPARATUS**

ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ И СИЛОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ-ПЕРСПЕКТИВИ ЗА РАЗВИТИЕ И ПРОИЗВОДСТВО

ELECTRICAL MACHINERY AND POWER TRANSFORMERS- TRENDS FOR THE DEVELOPMENT AND PRODUCTION

Любомир В. Димитров

Резюме: Съвременните тенденции в производството и развитието на електрическите машини, силовите трансформатори и електрическите системи са обусловени от общите световни процеси: нарастване на цените на енергийните носители, намаляване на запасите от течни въглеводороди и непрекъснати проблеми, свързани с глобалното затопляне на климата. Тези тенденции се обуславят от една страна от строгите изисквания към производството на промишленото оборудване, а от друга – стимулират търсенето на технологии за разработване на енергоефективни електрически машини.
Ключови думи: електрически машини,силови трансформатори

Abstract: Modern trends in the development of electrical machines ,power transformers and the electrical systems are determined by the total global processes: such as price increases for energy carriers, depletion of the world`s reserve of liquid hydrocarbons, and limitation caused by global warming. On one hand, these processes raise the energetic requirements applied to industrial equipment, while on the oder hand ,they stimulate the search for energy – efficient technologies and the development of power-saving electrical machines.
Keywords: electrical machines,power transformers

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Производството и експлоатацията на електрическите машини и трансформаторите имат основно значение за всяка икономика, тъй като без тях не е възможно нормалното функциониране на другите важни отрасли-машиностроене, металургия, транспорт и др.

В доклада са разгледани основните насоки за развитие и подобряване на характеристиките на въртящите се електрически машини и бъдещите изисквания на пазара. Във връзка с усъвършенстването на електропреносните системи нарастват и изискванията към характеристиките на силовите трансформатори. Тези трансформатори имат много висок КПД, но при включването им в електроразпределителните мрежи се оказва, че мощността на трансформаторите е по-голяма от тази на генераторите. Общите загуби в трансформаторния парк достигат до 6% от цялата електроенергия, произвеждана от електроцентралите. Електромашиностроенето представлява основна част от енергийния сектор и трябва непрекъснато да се следи неговото състояние и да се посочват тенденциите към по-нататъшно развитие в условията на икономическа криза и динамични промени на пазара.

II. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПАЗАРА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ И ТРАНСФОРМАТОРИ

Анализ на пазара

В световен мащаб електрическото оборудване има пазарна стойност около 202 млрд. щатски долара, като е постигнат растеж 4,5% [5,6] в сравнение с 1,1%-ния годишен ръст за последните 4 години (2007-2011). Производителите отделят специално внимание на генераторите, двигателите, трансформаторите, на комутационната и защитна апаратура, на електрическите табла и измервателните прибори. Ключов елемент в световния пазар играят интелигентните измервателни прибори и устройствата за управление и контрол. Мощното електрическо оборудване (генератори, двигатели, трансформатори) представлява $ 95 млрд. през 2010 г., след като поддържа почти 6% годишен ръст за предходните четири години.

Прогнозирано е до 2015г. производството на електромашиностроенето да достигне 121 млрд.$. [5,6]. Вятърните турбини представляват важен пазарен сегмент, генерирайки $ 40 млрд. $ през 2010 г. Очаква се да се забави годишният темп на малко по-малко от 5% до 2015г. Въвеждат се нови интелигентни мрежи за реализация на т.нар. предплатени услуги чрез

подходящ софтуер, с което се осигурява бързо обслужване и нарастване на приходите на компаниите. В световен мащаб през 2012 г. са инсталирани 23 млн. предплатени електромери. При годишен ръст от над 9% до 2017г. се очаква да се инсталират почти 34 милиона. Предвижда се до 2015г. изграждане на глобалната гъвкава променливотокова мрежа като за целта ще се изразходят 1,7 млрд. $, според изследване от световния анализатори. Компанията IBIS World [9] прогнозира, че търсенето на енергийно-електрически съоръжения ще нараства през следващите години в тандем с търсене на електроенергия. Нарастващите разходи за електроенергия са свързани с процеса на стареене на електрическата инфраструктура също и с търсене на горива. Компании, които инвестират в научно-изследователска дейност и работят за технологични иновации ще бъдат в състояние да предложат най-добрите енергийно ефективни електрически съоръжения, което ще им помогне да запазят положението си сред конкурентите в бранша.

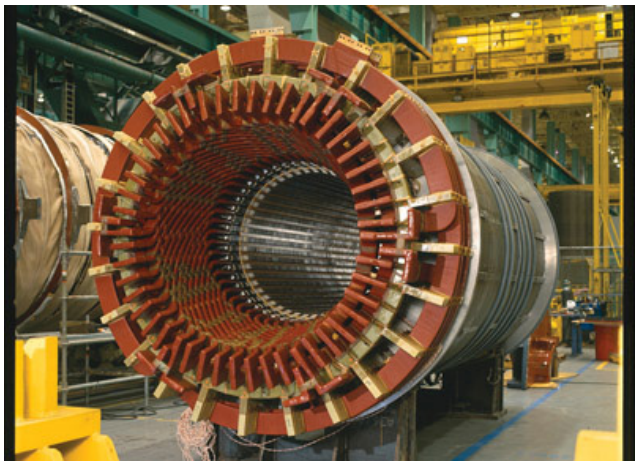
III. ПРОИЗВОДСТВО НА ГЕНЕРАТОРИ

1.Основни положения

Разнообразието на потребителите на електроенергия и изискванията за непрекъснато и качествено електроснабдяване наложиха нов поглед към производството и ролята на електрическите синхронни генератори в общия енергиен микс. Компанията Siemens [12] е технологичен лидер и предлага цялостна продуктова гама на променливотокови генератори с мощности от 25 MVA до 2235 MVA **с** различни напрежения, вариращи от 6,3 кV до 27 кV в зависимост от нивото на мощност. Генераторите са с компактен дизайн, с уникално пряко водно охлаждане на статора и с роторни намотки, охлаждани с водород .(фиг.1). В зависимост от изискванията на клиентите мощните генератори се произвеждат закрити с водно - въздушно охлаждане (TEWAC) или с открито въздушно охлаждане (OAC) системи. Тези генератори могат да бъдат приложени в обикновен или с комбиниран цикъл (CCPP) за комбинирано производство на електроенергия в парни електроцентрали с номинална мощност до 350 MVA. На фиг.2. е показан статор на генератор с въздушно охлаждане, производство на Siemens монтиран в Северна Каролина, САЩ.

По-голяма част от електроенергията във Великобритания се получава от мощни турбогенератори 100-660MW с КПД около 98%. Компанията ABB [4] произвежда синхронни генератори за ниско напрежение 400-600 V с изходяща мощност 14-5000 кVA и генератори за високо напрежение 2-15кV с мощност до 70 MVA. Генераторите за парни и газови турбини са съобразени с изискванията за модулен дизайн за задоволяване на различни потребности на потребителите. ABB произвежда генератори в нормално, тропическо и морско изпълнение.

Фиг.1. Турбогенератор SGen-4000W с мощност 1500-1700 MVA,производство Siemens "Konvoi" .[12]



Фиг. 2. Статор за генератор ,с въздушно охлаждане SGen5-1000A генератор на Charlotte CCPP в Северна Каролина, САЩ.

Използват се различни системи за възбуждане, но преимуществено разпространение имат безчетковите синхронни генератори. С настъпването на икономическата криза, все по-трудно се намират достатъчно материални ресурси за въвеждане в експлоатация на множество нови електроцентрали с голяма мощност. В голяма част от оборудването, вече се открива ресурс в дизайна и модернизация на конструкциите с оглед подобряване на тяхното техническо обслужване. Японската компания Toshiba Corporation създаде свое дъщерно предприятие

(THCP), в Китай като е сключен договор за доставка на два броя хидрогенератори, всеки по 667 MVA монтират във ВЕЦ Guanyinyang гара в провинция Юнан. Централата ще влезе в търговска експлоатация през 2015г.

Фиг. 3. Ротор за хидрогенератор ,подобен по тип и параметри на проектирания от Toshiba

2.Тенденции за бъдещото развитие

2.1. Степента на използването на активни материали се проявява при създаването на турбо- и хидрогенератори със средна мощност. През последните 10-15 години са разработени и произведени генератори от ново поколение до 3000 kW и повече, предназначени за работа в самостоятелни системи за захранване за различни цели и с увеличено електромагнитно натоварване. Така се постига значително намаляване на теглото и размерите на генераторите но се увеличават индуктивните съпротивления и се намалява инерционния момент, а оттам - се намалява стабилността на параметрите и се влошава качеството на доставяната електроенергия.

2.2. Дизайнът на конструкциите се усъвършенства, внедряват се нови материали с по-добри характеристики и най-вече с по-малки загуби. Новите електротехнически стомани и постоянни магнити с редкоземни компоненти осигуряват беззагубно преминаване на магнитния поток. Използват се нови по-качествени изолационни материали с по-високо пробивно напрежение, по-висок топлинен клас, за да могат да изпълняват изискванията за по-добри характеристики на електрическите машини.

2.3. Автоматизацията на проектирането и използването на подходящи програмни продукти позволяват да се повиши качеството на проектиране и да се осигури оптимизация на конструктивните решения както на целия агрегат, така и на системите за възбуждане. Качеството на проектиране зависи от пълнотата на математичните модели на системите на електроснабдяване и преди всичко от синхронните генератори. Отчитането на насищането на магнитопровода обуславя изменение на параметрите, които са предмет на регулиране в условията на автономна експлоатация и при паралелна работа към общата електроенергийна система.

2.4. Развитието на силовата електроника позволи въвеждане на безчеткови системи за възбуждане на генераторите и цифрови системи за фазово компаундиране. Разработват се математически модели за пресмятане на нормални и преходни режими ,анализ на устойчивостта на работа на генератора при промени на натоварването. Усъвършенстването на системите за автоматично регулиране на възбуждането позволи да се компенсира влошаването на параметрите и характеристиките на използваните синхронни генератори и да се осигури качествено протичане на динамичните процеси. Внедряват се контролери към системите за възбуждане, и към системите за автоматично разпределение на натоварването.

2.5. Използват се средства за мониторинг и диагностика на синхронните генератори като прилагат се нови методи за експертна оценка; размита логика, изкуствен интелект. Успехите в прилагането на оптични влакна, нови керамични материали и в нанотехнологиите ще помогнат при разработката на нови по-ефективни електрически преобразуватели на енергия.

2.6. Все по-голямо разпространение имат ветрогенераторите, които най-често са индукциони машини с двойно захранване. Интересно бъдеще е очертава пред генераторите с постоянни магнити. Прилагането на системи с директно задвижване позволява да се увеличи КПД на генератора, а загубите в скоростната кутия да се елиминират, но се появяват загуби в електронните преобразуватели. Възможно е да се повишат разходите на системата поради голямата маса и ниската скорост на генератора.

2.7. Свръхпроводящите електрически машини са изследвани повече от 30 години, но с появата на високотемпературните свръхпроводници в близко бъдеще е възможно тяхното реално внедряване както като генератори, така и като системи за задвижване на кораби.

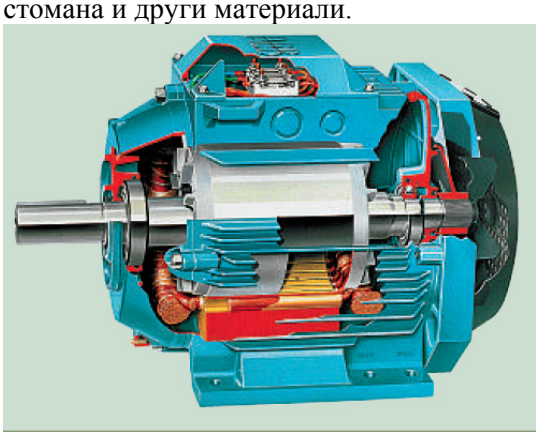
IV. ПРОИЗВОДСТВО НА ДВИГАТЕЛИ

1. Основни сведения

Според статистически данни на Европейската Комисия [8] се оказва, че енергията, използвана в задвижванията с електрически двигатели, представлява 65-70% от цялата произвеждана електроенергия като за Велокобритания това са 66%,а за САЩ- 67%. Повечето видове механизми и електрически превозни средства използват двигатели, които са изобретени през XIX век и от средата на XX век. Това са традиционните постояннотокови, асинхронни и синхронни двигатели. Напредъкът в силовата електроника доведе до създаването в края на XX век, надеждни електрически статични преобразуватели, с възможности за непрекъснато регулиране на електрическата мощност координиране и настройка на желания режим на натоварването. Това промени радикално възможностите на традиционните масово използвани асинхронни двигатели с кафезен ротор, позволи да се извършва оптимизация на режимите на работа и да се постигне икономия на енергия. Особено място заемат реактивните двигатели - превключващи реактивни двигатели Switched Reluctance Motor (SRM) и - Switched Reluctance Drive (SRD). Централното внимание на специалистите е насочено към мощните асинхронни двигатели, но не по-малко значимо е приложението на двигателите с малка мощност, безчетковите двигатели с постоянни магнити, синхронните реактивни двигатели; стъпковите двигатели; серводвигателите и др

От дълги години проектантите и производителите на електрически двигатели се стремят да подобрят КПД на машините, използвайки най-различни методи и средства. От 1997г. Агенцията по охрана на околната среда EPA (Environmental Protection Agency) САЩ въведе закон за енергийната ефективност на асинхронните двигатели. От 2000г. в резултат на споразумение между Европейската Комисия и CEMEP (European Committee of Manufacturers for Electrical Machines and Power Electronics) е направена класификация на асинхронните двигатели само с мощност от 1,1 до 90 kW и са определени три класа на енергийна ефективност. Дотогава 80% от всички произвеждани двигатели в ЕС са били с най-ниския клас 3 (eff 3). Стандартът IEC 60034-30 [10] определя класове на електрическата ефективност за асинхронни, едноскоростни, трифазни електродвигатели, 50Hz (и 60Hz). Стандартите за ефективност са както следва: **IE1** – Стандартна ефективност; **IE2**-Висока ефективност; **IE3**–Премиум ефективност; **IE4**–Суперпремиум.

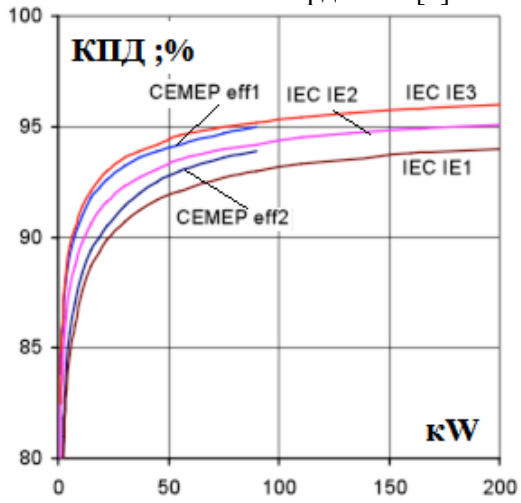
Проектирането и производството на енергийно ефективни електродвигатели изисква специални познания, опит и изпитателни лаборатории с прецизни уреди. Целта е да се повиши ефективността, чрез намаляване и балансиране на загубите в статорните намотки, статорните ламели (магнитопровод) и загубите от хлъзгането на ротора. В сравнение със стандартните електродвигатели IE1, производството на “енергоспестяващи” електродвигатели клас IE2 изисква повече мед, стомана и други материали.



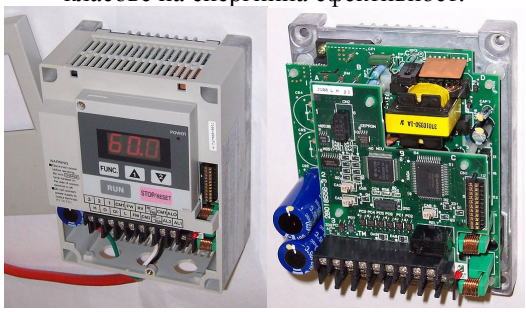
Фиг.4. Конструктивно изпълнение на енерго ефективен асинхронен електрически двигател

Характерните технически параметри на двигателите клас IE2 са: по-голямо сечение на използваните проводници; по-високи статорни канали; по-тънки ламели на статора и с по-добри качества; по-малка въздушна междина ; подобрено охлаждане; сигурни лагери и „накъсо” съединени медни ротори. Според Директива 2005/32/ЕС [3], всички електродвигатели, монтирани в нови производства, трябва да бъдат с клас на енергийна ефективност не по-ниска от **IE2**, считано от 16.06.2011г. Класификацията се отнася за електродвигатели с: 2,4 или 6 полюса; номинална мощност между 0,75 и 375 kW; номинално напрежение до 1000 V; режим на работа S1 (постоянно натоварване) или S3.На фиг.5 е показано изменението на коефициента на полезно действие в зависимост от мощността на двигатели с различен клас на енергийна ефективност. В края на 70-те години се въведе управление на скоростта на асинхронните двигатели или т.нар. честотно управление което се превърна във фактор от световно значение за увеличаване на енергийната ефективност. Почти 25% от новопроизвежданите електрически двигатели са снабдени с честотни регулатори.(фиг.6)

За голяма част от промишлените механизми замяната на фиксираната скорост на двигателите с променлива (регулируема) скорост позволява от 15 до 30% икономия на енергия. Във Великобритания се спестяват около 15 млрд. kWh годишно в зависимост от натоварването, а в комбинация в използването на енергийно ефективни двигатели се очаква годишна икономия от 24 млрд. kWh.[5]



Фиг.5. Графики на КПД за ел.двигатели с различни класове на енергийна ефективност.



Фиг.6. Общ външен вид и конструкция на честотен регулатор.

Комбинацията от електрически двигатели, преобразуватели на честота, устройства за плавно пускане и устройства за управление позволява да се изградят високотехнологични и икономични електромеханични системи.

2. Главни направления на приложение на съвременните честотно-регулируеми електромеханични системи

- Задвижване на изпълнителни механизми с т. нар. вентилаторна характеристика на натоварването като центробежни помпи, вентилатори и въздуходувки;

- Осъществяване на технологични процеси, които изискват дълбоко изменение на честотата на въртене на изпълнителните механизми, поддържане на стабилност на зададените режими и параметри: многодвигателни комплекси; стругове с цифрово - програмно управление и др.

- Задвижване на подемо-транспортни машини, лифтове и транспортьори. Използването на честотен пуск на механизмите от този тип позволява да се намалят ударите на тока и спадовете на напрежение в мрежата и да се опрости конструкцията на двигателя. При честотния пуск няма опасност от прегряване; деформационни разрушения на намотките на статора или деформации на роторната клетка при директно пускане на двигателя.

- Съществува възможност за замяна на крановите двигатели с фазов ротор с мощности от 100-220kW и честота на въртене 600 min^{-1} да бъдат заменени със система „асинхронен двигател с накъсосъединен ротор + преобразувател на честота”. Така отпада необходимостта от използване на четков възел и комплект омически съпротивления. Препоръчително е да не се практикува директно пускане дори на механизми с облекчен пусков режим и незначително статично натоварване – бутални компресори; системи със зъбни и ремъчни предавки и др. като също се използва плавно (Soft Start) пускане;

- Създаване на електромеханични системи, работещи в условията на повишени механични въздействия на околната среда – въвеждане на комплекти за тягово електрообзавеждане - електромеханични трансмисии на транспортните средства (градски и маршрутни автобуси), където доскоро са се използвали електромеханични системи за постоянен ток, изискващи по-специално обслужване в условията на удари и вибрации;

- Електрическо задвижване на военни кораби, фериботи и круизни плавателни средства разпространение. Все „по-електрически” стават и летателните апарати, където хидравличните и механични системи се заменят с електрически. Хибридните електрически превозни средства са в състояние да осъществят значителни икономии на гориво в сравнение с конвенционалните влакове. Ефективността на задвижване може да бъде допълнително увеличена с използване на постоянни магнити, с помощта на които ще се намалят загубите вследствие на намаленото съпротивление и ще се увеличи скоростта.

- При приложението на двигателите за високо напрежение съществуват проблеми, които се определят от една страна от високата цена на високоволтовите преобразуватели на честота, а от друга от появата на импулсни пренапрежения в захранващата система на

двигателя и необходимост от усилване на изолацията. В схемите вече се включват и трансформатори, които ще позволят използването на по-евтин нисковолтов преобразувател.

- Използването на честотни преобразуватели позволява освен подобряване на регулировъчните свойства на асинхронните двигатели да се открият нови функционални възможности за изпълнителни механизми с повишена честота на въртене над 3000 min^{-1} за бързооборотни машини с малки размери и маса. Проблемите, възникващи в лагерните възли на високоскоростните машини могат да се считат за успешно разрешени. Работи се върху създаване на свръхскоростни електромеханични системи с голяма мощност за компресорни уредби. В случая освен технологично важното регулиране на честотата на въртене и радикалното намаляване на размерите, както и стойността на двигателя, отпада необходимостта от използване на скъп и ненадежден елемент-механичен мултипликатор. В разработваните свръхскоростни двигатели се използват опори с магнитно окачване.

- Добри резултати се получават при нискооборотните механизми – вентилатори; ролганги, кранови лебедки. Тук многополюсните двигатели с ниски енергийни характеристики се заменят с енергоефективни двигатели, захранвани с напрежение с ниска честота, с малък брой полюси.

3.Синхронни двигатели

Независимо, че синхронните машини се използват преди всичко като генератори за напрежение до 33 kV и мощности до 1000 MW, напоследък все по-често се използват като двигатели, което стана възможно след разработването на мощни ключови транзистори от типа IGBT, MOSFET и тиристори GTO, IGCT, SGCT, имащи възможност и за изключване по управляващия електрод. Синхронните двигатели (СД) са незаменими при използването им за свръх мощности. В момента най-големият СД е с мощност 220 MW и се използва за задвижване на вентилатор за аеродинамична тръба. Подобно на синхронните генератори СД са снабдени с полупроводникови схеми на възбуждане. Прилагането на цифрови методи за управление, допълнени с използването на микропроцесорна техника, позволява да се постигнат по-съвършени методи на експлоатация на синхронните машини. Комплексът от функции, осъществявани от системата на възбуждане, влияе благоприятно върху електроразпределителната мрежа - отстраняват се спадове, пикове и колебания на напрежението; подобрява се производителността на оборудването с индуктивно натоварване. При експлоатация на големи паркове със синхронни двигатели използването на цифрови системи за възбуждане вместо аналогови позволява най-ефективно да се компенсира реактивната мощност и напълно да отпаднат кондензаторните батерии. Разширяват се възможностите за мониторинг, осигурява се допълнителна защита, повишава се надеждността и може да се очаква икономия на електроенергия до 10%.

Благодарение на високите си експлоатационни качества, синхронните двигатели с постоянни магнити (СДПМ) са най-перспективните двигатели за малки и средни мощности. Те са особено ценени в областта на автоматиката, електрозадвижванията в стругови машини, прецизните следящи системи на регулиране, а така също и много други приложения. Използват се в роботи и манипулатори, координатни устройства, прецизни съоръжения в сферата на авиацията, медицинската техника. Твърдата им характеристика и по-малкият пад на въртящия момент при понижение на напрежението на статора ги прави незаменими в електрическите локомотиви, електровелосипедите, в CD устройствата, управлението на летателни апарати и подводни лодки и много други.

Характерното за последните години непрекъснато поевтиняване на постоянните магнити, в частност на сплавите от редки материали, както и усъвършенстването на апаратното обезпечаване направиха възможно използването точно на СДПМ в области, традиционно запазени за постояннотоковите (ПТД) или асинхронните електродвигатели (АД). Приложението на СДПМ като алтернатива на ПТД в регулируемите електрозадвижвания стана възможно с появата на съответните преобразуватели и цифрово-изчислителна техника. Преди всичко, с внедряването в преобразувателите на транзистори с изолиран гейт (IGBT).

От съвременните конструкции с непосредствено задвижване, поради постигнатия голям момент, интерес представлява опитен образец скоростен локомотив E993 Advanced Commuter Train (ACT) на японската фирма JR East. Непосредственото задвижване със СДПМ е

осигурило икономия на енергия от тяговите двигатели. Възбуждането с постоянни магнити е на ротора на двигателя на колесната двойка. В този локомотив са използвани 500 kW двигатели с 56 постоянни магнита, осигуряващи скорост 330 km/h и тяга 18,7 кN/m и охлаждана с масло статорна намотка.

Новите направления в развитието на принципите на регулиране се обуславят от развоя на съвременните средства за измерване на параметрите и качествата на използвания двигател, както и от изчислителната мощност на контролера. Реализацията на управление на СДПМ, отчитаща тези изисквания, позволява да се даде оценка за ефективността на използваните алгоритми.

В литературата често се среща понятието вентилен двигател (ВД) или двигател с възбуждане от постоянни магнити. Този вид двигатели като конструкция не се различават от класическия СДПМ. Единствената разлика е в използвания принцип на захранване. СДПМ се захранва от източник на променливо напрежение, а безколекторният - с постоянен ток. Като правило се използва честотен инвертор (ЧИ) с широчинно-импулсна модулация (ШИМ), а за вентилния двигател (ВД) - трапецовидно напрежение, захранващи съответните фази на двигателя и превключвани при въртене на ротора. На ротора задължително се монтират датчици на Хол, отчитащи положението ротор-статор и скоростта на въртене. Отсъствието на плъзгащи електрически контакти съществено разширява диапазона на достижимите скорости на въртене и надеждността им в сравнение с постояннотоковите или асинхронните двигатели. Възможно е намотката на котвата на СДПМ да бъде захранена и с по-високо напрежение. Сред предимствата на вентилните електрозадвижвания са:

* Безконтактност и отсъствие на възли, изискващи обслужване

* Висока претоварваща способност по момент

* Високо бързодействие в преходните процеси;

* Абсолютно твърда характеристика и практически неограничен диапазон на регулиране (1:10 000 и повече). Възможност за регулиране на оборотите, над и под номиналните, с постоянно продължително допустим максимален момент, както и многократно претоварване по мощност.

* Оптимални енергийни показатели

КПД на вентилните електродвигатели превишава 90% и незначително се отклонява от номиналния при вариации в товара. За сравнение серийно произвежданите асинхронни двигатели с мощност до 10 kW имат максимален КПД от около 87%, който съществено зависи от момента. Например, при пренатоварване до 50% коефициентът им на полезно действие е 60-70%;

* Минимален ток на празен ход

* Минимални габаритни показатели при равни други условия.

* Няма загуби от възбуждане в ротора.

Съвременните постоянни магнити *неодим-желязо-бор* ($Nd_2Fe_{14}B$) имат способността да осигурят максимална магнитна индукция във въздушната междина. Възможно е в СДПМ да бъде повишен линейният товар при запазване на загубите на постоянно ниво. Това обяснява високата електромеханична ефективност на СДПМ с честотни инвертори в сравнение с други типове променливотокови безконтактни ЕД.

Функционалните характеристики на постоянните магнити $Nd_2Fe_{14}B$ се съхранява дори и при 170 ^{o}C и петкратно кратковременно претоварване по момент и ток на статора. По този начин се понижават разходите за скъпоструващи материали и подобряване на масогабаритните показатели на двигателите.

4. Насоки за развитие и усъвършенстване на производството на двигателите

- Използване на нови магнитно меки материали с малки загуби в желязото и приемливи цени; на постоянни магнитни материали като Neomax ND-Fe-B и редкоземни съединения (cobalts);

- Използване на нови „високотемпературни" изолационни материали;

- Прилагане на нови конструктивни решения, включително сегментирани статори; медни роторни пръчки; лагерни системи за свръхоборотни машини;

- Внедряване на силови електронни елементи (тиристори за 5кV и максимален ток на 5кА; симистори; MOS-транзистори ;$IBGT_S$ и др.)

- Разработване на евтини микропроцесорни системи за управление и контрол; развитие на интелигентните системи за машинно проектиране, експлоатация и управление.

V. ПРОИЗВОДСТВО НА ТРАНСФОРМАТОРИ

1. Състояние на пазара на силовите трансформатори

Изграждането на съвременните електроразпределителни и електропреносни мрежи е свързано с непрекъснато повишаване на напрежението и мощността на използваните електрически машини и трансформатори. Според прогнозите на специалистите от TechNavio за периода 2012-2016г. се предвижда годишен ръст на инвестициите CAGR (*Compound annual growth rate)*в трансформаторостроенето 7%.[13]. Един от основните фактори, допринасящи за този пазарен растеж, е увеличаване на търсенето в развиващите се страни.

Фиг.7. Общ външен вид и конструкция на силови трансформатори в открита разпределителна уредба

Другият фактор е разрастването на световния пазар на силови трансформатори вследствие увеличението на мощността на произвежданата електроенергия. Колебанията на цените на суровините обаче възпрепятстват темповете на този растеж. Докладът [13] обхваща световния пазар на силови трансформатори в САЩ, Китай, Индия, както и останалата част на света и производители като компаниите. ABB Ltd., Alstom SA, and Siemens AG;Crompton Greaves Ltd., GE Co., Henan Pinggao Electric Co. Ltd., Hyosung Power and Industrial Systems Performance Group, Hyundai Heavy Industries Co. Ltd., Mitsubishi Electric Corp., NARI Technology Development Ltd. Co., Tebian Electric Apparatus Stock Co., Toshiba Corp., и др.Понастоящем в света са усвоени напрежения до 500kV и вече в редица страни (Китай, Швеция, Япония, Русия и др.) се достига до напрежения 750-800 kV. Съществуват опитни разработки за по-високи напрежения 1000-1200 kV.

2.Конструктивни особености и технически показатели на трансформаторите

Конструкцията на силовите трансформатори както сухи, така и маслени вече повече от столетие остава практически неизменна: магнитопровод, намотки, казан (за маслени трансформатори).

Фиг.8. Трансформатор за свръхвисоко напрежение 1785 кV, инсталиран в изпитателна стенд USAEP-ASEA (USA)

Фиг.9. Трансформатор-преобразувател за напрежение 800кV

След дълъг период на устойчиво развитие на трансформаторостроенето сега с нарастване на мощностите акцентът е изместен главно към използването на нови материали за магнитни вериги, проводници и електрическа изолация . С въвеждането на легирани стомани, шихтовани магнитопроводи и алуминиеви намотки масата на изделията бе значително намалена. Повишаването на КПД стана възможно вследствие на внедряването на студеновалцована електротехническа стомана с малки специфични загуби и намагнитваща мощност в сравнение с горещовалцованата. За

по-добро използване на стоманата се наложи премахване на отворите в пластините на магнитопровода и преминаване към безшпилково запресоване, скосяване на ламелите и др. С повишаване на напреженията и мощностите нарастват и изискванията към надеждна работа на трансформаторите, която до голяма степен се определя от качеството на изолационните материали и конструкцията на самата изолация.

Еволюционните промени в конструкциите на съвременните трансформатори се определят главно от два фактора:

1.Тенденции на пазара към поевтиняване на трансформаторите като самостоятелни изделия

2.Необходимост от прилагане на модерни технологии за производство с цел осигуряване на по-привлекателни потребителски качества на трансформаторите и подобряване на тяхната енергийна ефективност. Силовите трансформатори имат висок КПД (98—99%),но общата мощност на инсталираните в електроразпределителните мрежи трансформатори е 7-8 пъти по-голяма от мощността на генераторите и затова загубите в целия трансформаторен парк достигат до 6% от общата електроенергия, произвеждана от електростанцията. Общото количество на произвежданата електроенергия годишно е 13 934 TWh (1TWh = 10^9 kWh); от тях 8,8% или 1215 TWh са загуби за електропренасяне и 30% от тях (364 TWh) са загуби само в трансформаторите. Намотките и изолацията са най-трудно контролируемите възли в конструкцията на трансформаторите. Въпросът за качеството на електротехническия картон е особено важен, тъй като той е един от основните изолационни материали в изделията. Използваният картон притежава склонност към деформации (свиване по дебелина 6-8%), което изисква допълнителни операции по предварителна стабилизация на размерите на картона. За крупните трансформатори е перспективно приложението на многоходови намотки ниско напрежение (НН) с брой на паралелните проводници до 200; контурни намотки за високо напрежение (ВН) с използване на транспониран проводник и отделни регулировъчни многоходови слоести намотки ВН в зависимост от броя на степените за регулиране. Прилагат се нови конструктивни решения разглобяеми казани и разширители за маслото; охладители с прави тръби; пръстени, пресовани от електротехническа стомана и пропити с епоксидна смола. За да се постигне икономична работа на електрическите мрежи и да се поддържат неизменни параметри на захранващото напрежение се произвеждат все повече и повече трансформатори с регулатори на напрежението под товар. Целта е 50% от произвежданите трансформатори да са снабдени с такива регулатори, включително и разпределителни трансформатори с мощности до 6300kVA с напрежения 10 и 35kV . При разработването на такива трансформатори трябва да се предпочитат превключващи устройства с токоограничаващи резистори, които имат по-малки габаритни размери в сравнение с реакторните устройства. Разработват се паралелни серии на силови трансформатори с медни и с алуминиеви намотки. Икономисаната мед може да бъде използвана за трансформатори с по-голяма мощност с цел намаляване на загубите при късо съединение, което не може да бъде постигнато при алуминиевите намотки. Силовите трансформатори до 6300kVA могат да бъдат изпълнени с алуминиеви намотки вместо с медни и може да се постигне почти еднаквост на характеристиките на празен ход и на късо съединение. Цените на трансформаторите са приблизително еднакви и затова такава замяна може да се счита равностойна в техническо и икономическо отношение . Широкото внедряване на автотрансформатори за напрежения до 500kV позволява икономия на активни, изолационни и конструктивни материали, прилагане на нови системи за форсирано охлаждане с насочена принудителна циркулация на маслото и нови типове охладители.

3.Общи тенденции

Анализирайки бъдещите тенденции за разработката на трансформатори от масовите серии в света, за основна задача се счита намаляването на разходите за производство и обслужване чрез внедряване на нови методи за мониторинг и диагностика както и подобряване на ремонтопригодността на трансформаторите. Прогресът в тези области в значителна степен се определя от създаването на нови и по-съвършени магнитни и изолационни материали

Новите насоки в развитието на трансформаторостроенето са:

- ***Внедряване на аморфни сплави*** със значително по-добри характеристики (63-80 ед.твърдост по Роквел, достатъчна еластичност и гъвкавост) и по-малки загуби на празен ход в сравнение с обикновената стомана. Първите аморфни ленти за вити магнитопроводи са на фирма Allied Signal (САЩ)., която през 70-те г.

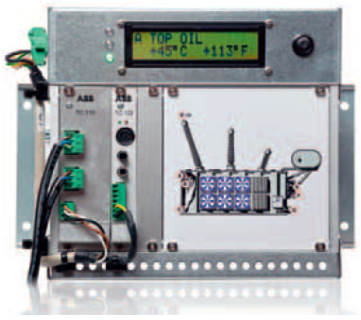
е произвела ленти с дебелина 30-50μm и ширина около 100mm;

Фиг.10. Система за on-line мониторинг на трансформатор на ABB[4]

- ***Създаване на пожаро- и взривобезопасни трансформатори***, които не създават екологични проблеми

Модерните трансформатори, произвеждани в Япония и САЩ, са с нетоксични течни диелектрици отговарят на строгите изисквания да са самозагасящи се нетоксични, биоразлагащи се, с нисък коефициент на обемно разширение при нагряване и др. На тези изисквания отговарят също и т.нар. *силициево-органични течности* като полидиметилсилоксани, които притежават достатъчно малък вискозитет самозагасяване и добри охлаждащи свойства. Тези охлаждащи течности са с голяма високомолекулярна маса и не могат да се акумулират в живите организми. Те са устойчиви на действието на микроорганизмите и при попадане върху повърхността на почвата се превръщат във вид на тънка лента и под действието на слънчевата светлина се разлагат бързо и се превръщат във вещества, безопасни за околната среда.
Прилагане на „умни" трансформатори - ***трансформатори с компютърен чип***

Непрекъснато променящите се изисквания към енергетиката и тенденциите за създаване на „умна" енергетика налагат разработка на „умни" трансформатори (фиг.11) В много развити държави се появиха трансформатори с вградени компютърни чипове, които могат бързо и качествено да регулират напрежението на електроенергия във всеки дом. Така техните функции се съчетават добре с и „умните" електрически инсталации. В зависимост от потребностите в жилището може да се променят стойностите на напрежението; да се преминава от променливо към постоянно напрежение, да се включва автономен източник - ветрогенератор, слънчева батерия или дизел-генератор.



Фиг.11. Устройство за електронен контрол ТЕС за"smart" трансформатор ABB [4]

Може също да се предотврати претоварване на мрежата или да се произвежда енергия в определени периоди на денонощието, когато консумацията е по-малка, а електроенергията-по-евтина.

- ***Разработване на свръхпроводящи трансформатори***

Идеята за използването на ефекта „свръхпроводимост" при разработката на трансформаторите възниква още през 60-те години на миналия век когато се откриват нискотемпературните свръхпроводници **Low Temperature Superconductivity LTS** (нискотемпературни свръхпроводници-НТСП) и те започват да се използват за изготвяне на трансформаторни намотки. Много производители в света, сред които европейските концерни ABB и Alstom, а също K. E. P. C. (Япония) и Westinghouse (САЩ) започват работа по създаване на нискотемпературни трансформатори. Сериозна бариера за приложението на им обаче представлявали огромните по размери криогенни системи за получаване на течен хелий, което прави използването на такива трансформатори нецелесъобразно. Откриването на високотемпературните свръхпроводници (ВТСП) през 1986г позволи да се премахнат огромните охлаждащи устройства. Основните разработки по създаване на свръхпроводими трансформатори от ново поколение се извършват в това направление. Актуалността на проблема, свързан с производството на ВТСП ***high temperature superconducting material (HTS),*** трансформатори е обусловена от необходимостта от намаляване на загубите на електроенергия при нейното пренасяне и преобразуване. Друг фактор за прилагане на свръхпроводящи материали са нарастващите изисквания към намаляване на размерите на електрооборудването и съответно намаляване на заеманите от него площи, което е особено важно за големите градове.

Главните предимства на ВТСП трансформатори се свеждат до следното:
- Намаляване на загубите при натоварване до 90%, което значително увеличава КПД на трансформатора;
- Намаляване на масата и габаритите на трансформаторите с до 40%.
- Тези преимущества позволяват във вече съществуващите подстанции да се монтират ВТСП трансформатори без конструктивни изменения при значително увеличаване на мощността;
- Облегчава се и транспортирането на трансформаторите;
- Възможност за ограничаване на токовете на късо съединение и защита на електрическите мрежи в аварийни режими;
- Значително намаляване на реактивното съпротивление, което позволява да се осигури стабилизация на напрежението, без да се прилага допълнително регулиране;
- Голяма претоварваща способност без повреждане на изолацията и отсъствие на топлинно стареене;
- Намаляване на нивото на шума;
- ВТСП-трансформаторът е пожаробезопасен и екологичен, защото вместо трансформаторно масло се използва екологично чист и евтин течен азот.

Още през 1997г. в Европа,САЩ и Япония са създадени първите опитни образци на високотемпературни свръхпроводящи трансформатори. Според данни на Министерството на енергетиката в САЩ с евентуалното приложение на **ВТСП – трансформатори** с мощност до 30 MW ще се постигне 50% намаляване на загубите по обслужване на традиционни трансформатори за целия срок на експлоатация. Въпреки това обаче съществуват и някои **недостатъци**: Необходимост от защита на трансформатора при „излизането" му от свръхпроводящо състояние при претоварване къси съединения, прегрявания и др. когато токът и температурата могат да достигнат критични стойности. При такива случаи съществува опасност от разрушаване на трансформатора.

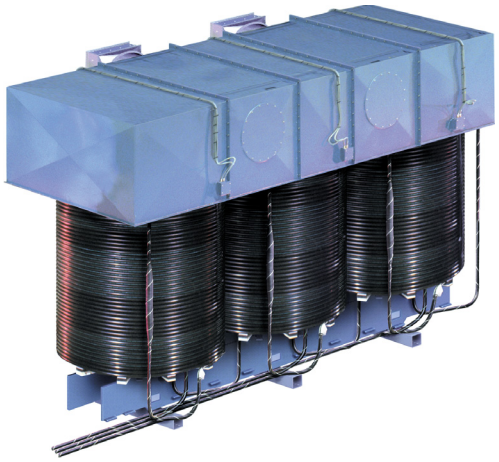
- Разработване на трансформатори с елегазова изолация.

Фирмата "KEPCO" (Южна Корея) е разработила трансформатор а мощност 20MVA и напрежение 154кV с изолация елегаз SF6 при налягане 1,2-1,4 kg/cm^2. Диелектричната якост на елегаза зависи от разпределението на електрическото поле и затова се поставят специални изисквания към конструкцията и избора на материала на твърдата изолация, особено в клинообразните междини между навивките и отделните секции, където напрегнатостта на електрическото поле е най-голяма. Този проблем е решен чрез използване на специален композитен материал с различна диелектрична якост. Даже при сравнително ниско налягане на елегаза е постигнато добро охлаждане на намотките и магнитопровода.

- Разработване на кабелни трансформатори

Като пробив в областта на трансформаторните технологии се счита новият тип трансформатор Dryformer, разработен от компанията ABB. Намотките на трансформатора представляват кабел, във вътрешността на който има сноп многожилни проводници медни или алуминиеви), затворени в тънък слой полупроводящ материал за да се предотврати неравномерността на полето. Дебелината на материала се определя от електрическата якост, съответстваща на ниво на напрежението 220 kV. Външната обвивка - екран е изпълнена също от полупроводников материал, който е заземен на всяка навивка по дължината на намотката т.е. електрическото поле е напълно затворено във вътрешността на твърдия диелектрик. Трансформаторът има въздушно охлаждане. Отсъствието на масло, намалява повече от два пъти дела на горимите материали в сравнение с обикновения трансформатор и така се отстранява рискът от пожар, взрив , замърсявания на вода и почва при повреда на трансформатора.

Такива съоръжения могат да се използват в гъстонаселени райони; подземни уредби, екологично охраняеми региони. Повишава се безопасността на експлоатация на персонала. За такъв трансформатор не са нужни изводи за високо напрежение, просто кабелът се присъединява към разпределителното устройство на каквато и да е дължина. Претоварващата способност на обикновения трансформатор е ограничена от термоустойчивоста на маслено-хартиената изолация и срокът на служба на маслото. За трансформатори Dryformer претоварването е ограничено не от стареене на изолацията, а от намаляване на механическата якост на намотката, изолирана с полиетилен при повишение на температурата.



Фиг.12. Общ вид на кабелен трансформатор, Dryformer, разработен от ABB[4]

Недостатък на този трансформатор е високата му цена – 2 пъти по-скъп от традиционния). Първият в света силов трансформатор без масло с кабелен тип намотка ,разработен за монтиране в помещение е с мощност 20MVA и напрежение 140kV/6 kV

- Създаване на трансформатори с хибридна изолация

Появата на нови високотемпературни изолационни материали създава възможност за повишаване на претоварващата способност на трансформатора. При т.нар.”хибридна” изолация най-силно нагретите части на намотките целулозната изолация се заменя с високотемпературна арамидна изолация. За два елемента, работещи при еднаква температура, хартиената изолация се състарява 2 пъти по-бързо в сравнение с високотемпературната. Прилагането на хибридна изолация позволява не само да се намалят масата и габаритите на трансформатора ,но и да се намалят разходите по неговото обслужване. Съществено преимущество е също незначителната свиваемост на арамидните материали-практически несвиваеми до температури до 150°C. Пример за успешно приложение на новата технология с използване на хибридна изолация е трансформатор с мощност 300 MVA; 230кV, проектиран в Бразилия.

VI. ИЗВОДИ

1. Тенденциите на развитие на електрическите машини и силовите трансформатори са обусловени от глобалните световни процеси: нарастването на цените на енергоносителите, намаляването на световните запаси от невъзобновяеми енергийни източници и ограниченията, наложени от проблемите на затоплянето на климата. Тези процеси обуславят от една страна повишаване на изискванията към промишленото електроснабдяване и обзавеждане ,а от друга – търсене на нови икономични технологии и разработване на енергоефективни електрически машини и електромеханични системи.

2. Въпреки привидно класическите конструкции на електричеките машини и трансформаторите, в световен мащаб се развива интензивна дейност за въвеждане на нови технологии, които да подобрят техните основни характеристики, надеждността и ефективността на приложение. Това определя необходимостта от непрекъснато обновяване на информацията и запознаване със световните насоки за развитие на електромашиностроенето и потребностите на пазара както за всички специалисти, работещи в тази област, така и за студентите, които в бъдеще ще прилагат своите знания.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Белкин Г.С.;Дробышевский А.А.;Ивакин В.Н. “Перспективные виды электротехнического оборудования “43 Исслед.Ком. А2”Трансформатор” 2010г.
[2]. Гловацкий А.В., Кубарев Л.П., Макаров Л.Н. „Основные направления развития электрических машин и электромеханических систем " Электротехника 4/2008.
[3]. Директива 2005/32/ЕС на Европейския Парламент и на Съвета 6.07.2005.
[4].ABB Review Special Report,2012.
[5[.Global Electrical Equipment-World Market Electrical Equipment MarketLine Juli 2012
[6]..Global Power Transformer Market 2012-2016: Industry Analysis
[7].EM WEG Group Electric Machinery Company,Review Built in the USA; 2012
[8].European Commision Eurostat -Manufacture of electrical equipment statistics NACE Rev.2 _ April 2012
[9].IBIS*World*-Industry Report,2013.
[10] .IEC 60034-30 standard on efficiency classes forlow voltage AC motors,2008
[11] Kothari D.P. ; Nagrath I.J RECENT TRENDS IN R&D IN ELECTRICAL MACHINES Tata McGraw Hill, New Delhi 2008
[12]Siemens Electric Machines, 2011
[13] TechNavio - Global Finite Element Analysis Market 2012-2016 ;June 21,2013

За контакти:
доц.д-р инж. Любомир В.Димитров, доцент в Катедра ”Електротехника и електротехнологии” на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, lubo.dimitrov@mail.bg

Рецензент: д-р инж. Майк Щреблау, ТУ-Варна

РАЗРАБОТВАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОНЕН ТЕРМОРЕГУЛАТОР С LCD ДИСПЛЕЙ

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN ELECTRONIC THERMOSTAT WITH LCD DISPLAY

Илвер И. Сеидов, Снежинка Л. Захариева, Аврам С. Леви

Резюме: Разработен е и е изследван електронен терморегулатор с LCD дисплей, чието основно приложение е да контролира подаването на топла вода към отоплителните радиатори намиращи се в дадено помещение. Проведените експериментални изследвания показват, че основната грешка на разработения терморегулатор е 0,2°C, което определя и неговата точност.
Ключови думи: температура, терморегулатор, контрол, измерване, груби грешки, систематична грешка, случайна грешка, основна грешка.

Abstract: Developed and researched an electronic thermostat with LCD display, which main application is to control the supply of hot water heating to radiators which are located in a room. Conducted experimental studies show that the main error of the developed thermostat is 0,2°C, which determines its accuracy.
Keywords: temperature, electronic thermostat, control, temperature measurement, random errors. systematic errors, intrinsic errors

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Регулирането и измерването на температурата е важна задача, която не винаги се решава успешно, особено в реални условия. Това налага необходимостта от разработване на терморегулатор, който да позволява директното отчитане на температурата от LCD дисплей. По този начин се премахват обективните и субективни фактори, оказващи влияние върху процеса на измерване и контрол [2].

През зимата за отопление се изразходват огромни финансови ресурси, поради това вниманието е насочено към оптимизация на тези разходи [3].

Основното приложение на разработения терморегулатор с LCD дисплей е да контролира подаването на топла вода към отоплителните радиатори намиращи се в дадено помещение. По този начин топлата вода от котела се насочва към помещенията, в които е необходимо повишаване на стайната температура.

II. РАЗРАБОТВАНЕ НА ЕЛЕКТРОНЕН ТЕРМОРЕГУЛАТОР С LCD ДИСПЛЕЙ

1.Алгоритъм за работа на електронния терморегулатор с LCD дисплей

Разработеният алгоритъм за работа на електронния терморегулатор с LCD дисплей е показан на фиг.1.

Началото на работа на алгоритъма започва след подаване на захранващо напрежение от мрежата.

Блокът 1 „Инициализация”, определя кои портове и пинове на PIC - микроконтролера ще работят като входове и кои като изходи.

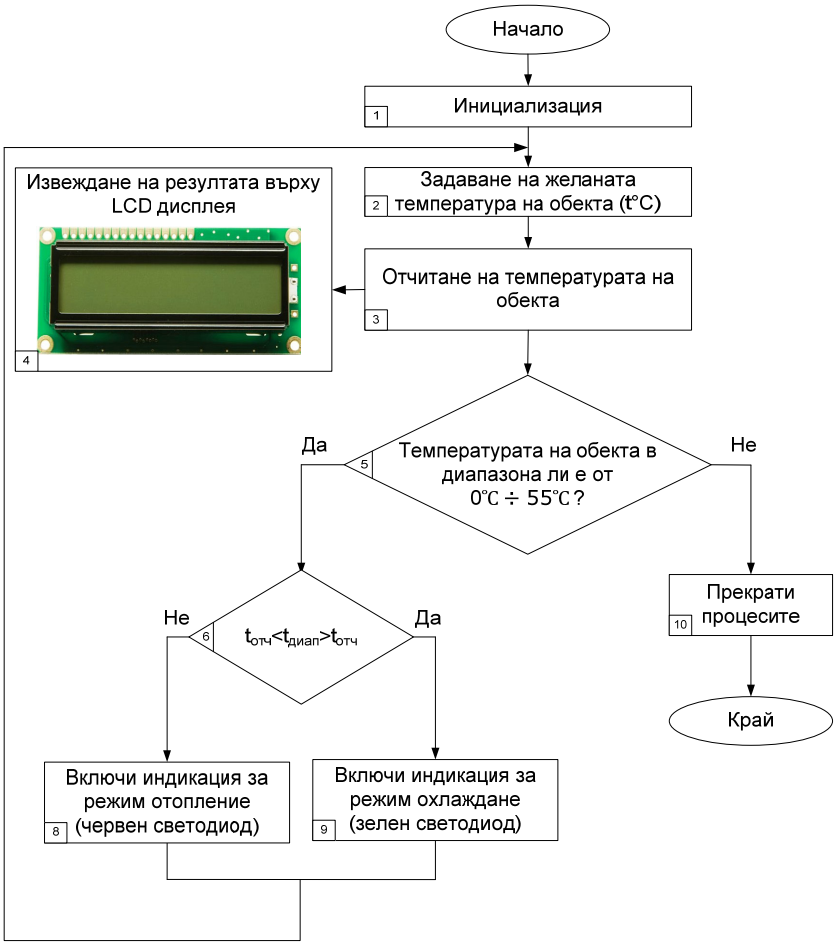
Блокът 2 “Задаване на t°C ” се активира, чрез два бутона “Up” и “Down”.

Посредством блок 3 „Отчитане на температурата на обекта”, чрез промяна на съпротивлението на термосензора, се визуализират моментната и зададена температура на обекта върху LCD дисплей – блок 4.

В блок 5 „Температурата на обекта в диапазона ли е от 0˚C ÷ 55˚C?” се извършва регулиране на температурата на обекта.

Ако тя е в зададения диапазон (ДА), се активира блок 6 „$t_{отч} < t_{зададена} > t_{отч}$”, ако не е в зададения диапазон (НЕ) се активира блок 7 „Прекрати процесите” и работата на алгоритъма пристъпва към „Край”.

В блок 6 „$t_{отч} < t_{зададена} > t_{отч}$”, ако $t_{отч} < t_{зададена}$ се включва блок 8 „Включи индикация за режим отопление”, ако не е (НЕ), т.е $t_{отч} > t_{зададена}$ се включва блок 9 „Включи индикация за режим охлаждане”.



Фиг. 1 Алгоритъм за работа на електронен терморегулатор с LCD дисплей

2. Блокова схема на електронния терморегулатор с LCD дисплей

На фиг.2 е показана блоковата схема на разработения терморегулатор.

Блок 1 – Захранване – за осигуряване на необходимите стабилизирани напрежение;

Блок 2 – Микроконтролер – за управление на входната информация и извеждане на текущите резултати от проведените измервания;

Блок 3 – Регулиране – за задаване граница на температурния обхват;

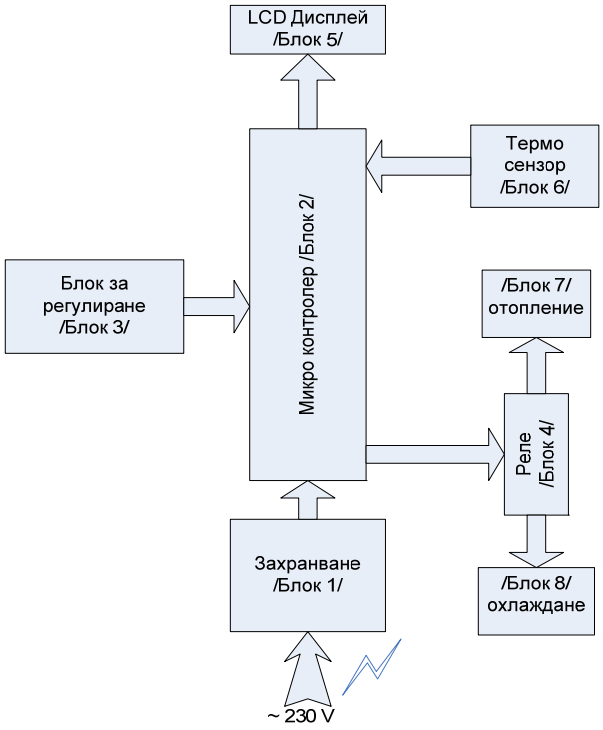
Блок 4 – Реле – за превключване на режимите на работа на терморегулатора;

Блок 5 – LCD Дисплей – На дисплея се извеждат моментната температура и температурата за превключване;

Блок 6 – Термо резистор – за преобразуване на неелектричната величина в електрична.

Блок 7 – Отопление – за индицирането на процеса се използва червен светодиод;

Блок 8 – Охлаждане – за индицирането на процеса се използва зелен светодиод.



Фиг. 2 Блокова схема на електронен терморегулатор с LCD дисплей

III. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОНЕН ТЕРМОРЕГУЛАТОР С LCD ДИСПЛЕЙ

1. Симулационно изследване на електронния терморегулатор с LCD дисплей в програмна среда PROTEUS

В програмна среда PROTEUS е симулиран процеса на работа на електронния терморегулатор с LCD дисплей, чиято схема е показана на фиг. 3.

След подаване на захранващо напрежение в микроконтролера PIC16F877A се стартира специално разработен софтуер [5].

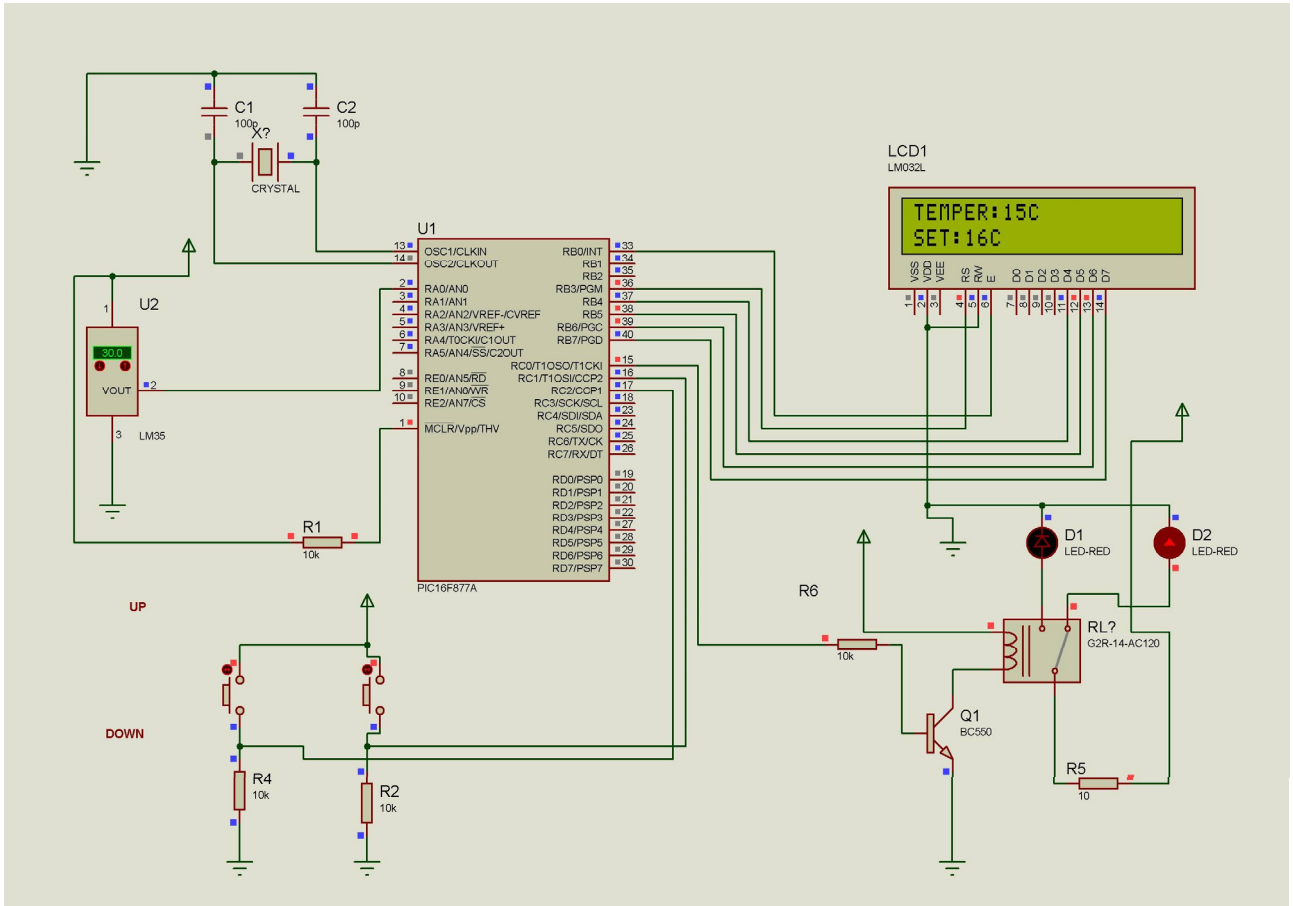
На LCD дисплей се извеждат циклично моментните стойности на температурата на обекта в градуси и желаната стойност на температурата на обекта (“SET”).

Моментната температура е реално измерената температура на контролирания обект, която е отчетена посредством термосензора.

Температурата на превключване се задава от потребителя посредством двата бутона заложени в схемата (“UP” и “DOWN”).

Превключването се осъществява, след като моментната температура надвиши зададената температура. Когато е налице условието моментната температура да бъде по-голяма от температурата на превключване, микроконтролерът променя състоянието от логическа „0” на логическа „1” и отпушва транзистора BC550, който своевременно подава напрежение на двупозиционното реле с нормално отворени и нормално затворени контакти. По този начин се осъществява превключването на двата режима на работа на терморегулатора, при което се включва съответната индикация – червен или зелен светодиод.

При понижаване на температурата на контролирания обект под зададената температура, микроконтролерът променя състоянието си от логическа „1” на логическа „0” и запушва транзистора BC550, който спира подаването на напрежение към двупозиционното реле и процесът на работа на терморегулатора се връща в изходно положение.



Фиг.3 Симулационно изследване на електронния терморегулатор с LCD дисплей в програмна среда PROTEUS

2. Експериментално изследване на електронния терморегулатор с LCD дисплей

Проведени са експериментални изследвания с разработения електронен терморегулатор с LCD дисплей, чийто резултатите са показани в таблица 1.

- ***Оценка на груби грешки***

Грубите грешки са оценени по критерия на Романовски, за който е известно, че е целесъобразно да бъде използван при брой измервания $n_i \le 20$ [3].

За целта са определени средната аритметична стойност на получените резултати от проведените експериментални измервания с електронния терморегулатор.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} x_i}{n_i} = 26{,}05\,, \qquad (1)$$

където: x_i - измерена стойност, n_i - брой измервания

Определянето на средноквадратичното отклонение се дава с израза:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_i} (x_i - \bar{x})^2}{n_i - 1}} = 0{,}39\,, \qquad (2)$$

Проверка на резултата с най-голяма стойност: $x_i = 27^o C$.

За оценката на резултата с най-голяма стойност, дали е груба грешка по критерия на Романовски се изчислява отношението:

$$\beta = \left| \frac{\bar{x} - x_i}{S} \right|, \qquad (3)$$

Получените резултати от зав. 3 се сравняват с теоретичната $\beta_{\alpha;n}$ [3].

Обикновено се избира ниво на значимост $\alpha = 0{,}01$ или $\alpha = 0{,}05$ и ако $\beta > \beta_{\alpha;n}$, то x_i се отстранява като груба грешка [3].

Определяне на β:

$$\beta = \left| \frac{\bar{x} - x_i}{S} \right| = \left| \frac{26{,}05 - 27}{0{,}39} \right| = 2{,}41 \qquad (4)$$

Определяне на $\beta_{\alpha;n}$: $\beta_{0{,}05} = 2{,}78$

$\beta_{2{,}41} < \beta_{0{,}05} \Rightarrow x_i = 27^o C$ ***не е груба грешка***.

При проверката на останалите резултати получени от проведените експериментални изследвания с разработения електронен терморегулатор с LCD дисплей е установено, че груби грешки не се изолират, т.е. n_i=20.

Табл. 1 Стойности на получените резултати от проведените експериментални изследвания с разработения електронен терморегулатор

n_i	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
t°C	26	26	26	26	26	26	25	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26

- ***Оценка на случайната грешка***

Оценката на случайната грешка от проведените експериментални изследвания с разработения електронен терморегулатор с LCD дисплей е минимизирана, при което нейната точкова оценка се приема средноаритметичната стойност $\bar{x}$ [1]:

$$S(\bar{x}) = \frac{S(x_i)}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}39}{4{,}47} = 0{,}09^o C \qquad (5)$$

- ***Оценка на систематичната грешка***

Оценката на систематичната грешка от проведените експериментални изследвания с разработения електронен терморегулатор е извършена по критерия на Абе [1], при което се получава експерименталната дисперсия на резултатите:

$$D_{1(x)} = S_1^2(x) = \frac{1}{n-1} = \sum_{i-1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 = 0{,}15^o C \qquad (6)$$

$$D_{2(x)} = S_2^2(x) = \frac{1}{2(n-1)} = \sum_{i-1}^{n} (x_{i+1} - x_i)^2 = 0{,}026^o C \quad (7)$$

където: $D_{1(x)} > D_{2(x)}$

Систематичното изместване на центъра на групиране на резултатите се дава с израза:

$$V = \frac{D_{2(x)}}{D_{1(x)}} = \frac{0{,}026}{0{,}15} = 0{,}173^o C \quad (8)$$

От [1] при n_i=20, V_β приема различни стойности в зависимост от нивото на значимост. Избрано е ниво на значимост $\beta = 0{,}05$: $V_{\beta 0{,}05} = 0{,}652^o C$

Получените резултати показват, че систематични грешки не са изолирани, тъй като:

$$V < V_\beta \Rightarrow 0{,}173 < 0{,}652 \quad (9)$$

- ***Оценка на основната грешка***

Оценката на основната грешка на разработения електронен терморегулатор с LCD дисплей се дава с израза:

$$\Delta_{осн} = \sqrt{S(\bar{x})^2 + V^2} \approx 0{,}2^o C \quad (10)$$

Резултатът показва, че разработения двуточков електронен терморегулатор с LCD дисплей измерва температурата на контролирания обект с точност 0,2˚C.

IV. ИЗВОДИ

Разработеният електронен терморегулатор с LCD дисплей осигурява непрекъснат контрол на температурата на топлата вода, подавана към отоплителните радиатори, намиращи се в дадено помещение.

Той има универсален характер и може да се използва и за други цели, където регулираната величина е температурата.

Електронният терморегулатор е изграден основно от логически елементи и работи главно посредством софтуер, поради което има ниска консумация на енергия, което го прави енергийно ефективно и конкурентоспособно устройство на пазара.

Проведените експериментални изследвания показват, че основната грешка на разработения терморегулатор е 0,2°C.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Radev Hr. "Metrology and Measurement Equipment. Book - Guide Vol.2 ", Sofia Technology, 2010.

[2] Seidov I. S. Zaharieva, V Mutkov. “Temperature regulator with remote report”. International congress, science, education and technology "40 YEARS OF BULGARIA - SPACE STATES" Golden sands, Varna, Bulgarian Academy of Sciences, 2012

[3] Tasev D. and others. "Application of statistical methods in the management of quality", Shumen, Chimera, 2007.

[4] Yakov V. - 'Electronic Controllers' – Workshops, RU "Angel Kanchev", Rousse, 2011.

[5] http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41203b.pdf – 20.06.2012г.

За контакти:

маг. инж. Илвер Сеидов, Мехатроник в „Монтюпе” ЕООД, гр. Русе

д-р инж. Снежинка Захариева, Катедра ”Електроника” при Факултет: „Електротехника, електроника и автоматика” на Русенски университет „Ангел Кънчев”.

e-mail: szaharieva@uni-ruse.bg

доц. д-р инж. Аврам Леви, Катедра ”Електроника” при Факултет: „Електротехника, електроника и автоматика” на Русенски университет „Ангел Кънчев”.

e-mail: alevi@ecs.uni-ruse.bg

Рецензент:

доц. д-р инж. Борислав Димитров - ТУ-Варна

ИЗСЛЕДВАНЕ КОНФИГУРАЦИЯТА НА МАГНИТНОТО ПОЛЕ В СЕПАРАТОРИ С ПОСТОЯННИ МАГНИТИ ЗА ОЧИСТВАНЕ НА СЛЪНЧОГЛЕДОВИ СЕМЕНА

EXPLORATION OF THE MAGNETIC FIELD CONFIGURATION IN PERMANENT MAGNET SEPARATORS FOR PURIFICATION OF SUNFLOWER SEEDS

Татяна Димова, Бохос Апрахамян, Майк Щреблау

Резюме: Според Регламент (ЕС) № 742/2010 при преработка на зърнени култури, феромагнитните включвания в крайния продукт не бива да надвишават 1,5% от общия обем. В противен случай това би довело до нарушаване технологичния процес на преработка на тези продукти. За отделянето на феромагнитните примеси от изходната суровина е приложим методът на сепариране с магнитно поле. Проведено е експериментално и теоретично изследване върху разпределението на магнитното поле в сепаратор за очистване на слънчогледови семена.
Ключови думи: магнитно поле, постоянни магнити, сепаратор

Abstract: According to Regulation (EC) № 742/2010 on the processing of cereals the ferromagnetic inclusions in the final product shall not exceed 1.5% of the total. Otherwise, it would upset the technological process of processing these products. For separation of ferromagnetic impurities from the feedstock is applied the method of separation with a magnetic field. The paper presents the results of an experimental and theoretical exploration of the distribution of the magnetic field in the separator for purification of sunflower seeds.
Keywords: magnetic field, permanent magnets, separator.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Според Регламент на (ЕС) № 742/2010 при преработка на зърнени култури, твърдите примеси не бива да надвишават 1,5% от общия обем на културата, а феромагнитните включвания трябва да отсъстват в крайния продукт. В противен случай това би довело до нарушаване технологичния процес на преработка на тези продукти.

За отделянето на феромагнитните примеси от изходната суровина е приложим метода на сепариране с магнитно поле [3, 5, 6].

Предимствата на този тип технологии за сепариране се свеждат до следното[6, 10, 12]:

- надеждност;
- икономичност;
- ефективност;
- мобилност.

Заедно с посочените по-горе предимства този метод притежава и някои недостатъци, които са свързани с относителното отслабване на полето във времето и оптималното му разпределение. Първият недостатък се преодолява чрез стабилизиране на постоянните магнити, докато при втория се налага по-задълбочено изследване, тъй като той оказва основно влияние върху технологичните характеристики на процеса на сепарация.

Ефективността на сепариращите устройства [1, 10, 11] се определя от два взаимносвързани фактора – големина и равномерна разпределеност на магнитната сила FM в работната междина, с която се привличат феромагнитните (Fe) частици и степента на очистване (извличане) на Fe частици. Първият фактор се предопределя от типа и конфигурацията на магнитната система. Проблем произтича при определянето на вторит фактор - степен на очистване, т.к. той пряко зависи от концентрацията на Fe частици в продукта, който е обект на сепариране. Концентрацията на Fe частици при лабораторни изследвания е фиксирана и предварително определена, но в реални условия тя винаги е случайна величина. Това условие налага оценката да се извършва по експериментален път.

В тази връзка целта на настоящата разработка е проследяване влиянието на разположението на постоянните магнити, които съставят магнитния филтър на сепариращото устройство и разпределението на генерираното от тях поле.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

За реализиране на поставената цел са изпълнени три основни задачи, които се свеждат до планиране на експеримент, реализиране на експеримент и изграждане на модел на сепариращото устройство.

Изследването е проведено в следната последователност:

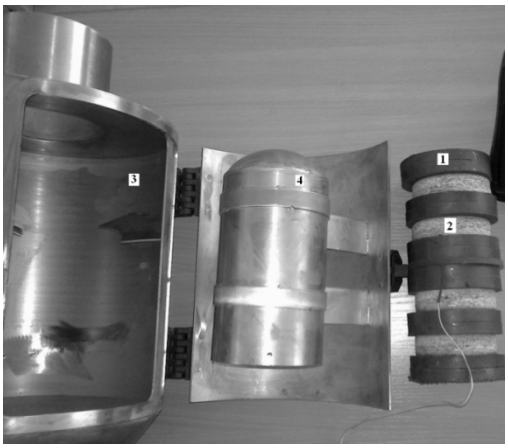
- предварителна оценка на сепарираната смес и определяне на основните конструктивни параметри на сепариращото устройство;
- експериментално определяне на магнитната индукция в работното пространство на сепаратора;
- теоретично моделиране на разпределението на магнитното поле с помощта на програмен продукт, базиран на метода на крайните елементи.

1. Предварителна оценка на сепариращо устройство и смес.

Всяко устройство за сепариране се различава по конструкция в зависимост от конкретното предназначение, вида и количеството на материала за сепариране, както и от много други параметри [1, 2, 7, 10].

За опитите е използван сепаратор тип MCR-5 с постоянни магнити - фиг.1. Неговата конструкция е максимално опростена и намира приложение в практиката при производството и пакетаж на зърнени култури (пшеница, слънчоглед и др) [13].

Сепараторът е с относително малки габарити, но осигуряващ висока степен на очистване в сравнение с други сепаратори от същия клас [9, 11] и е произведен във фирма за нестандартно оборудване „Елика елеватор" ООД гр. Силистра [9]. Сепараторът успешно отделя феромагнитни частици с тегло в следните граници: $(10 \div 500.10^7)\mu g$.



Фиг. 1 Сепаратор с постоянни магнити тип MCR-5
1 – постоянен магнит; 2 – дистанционна шайба; 3 – корпус; 4 – кожух на магнитния филтър.

Магнитният филтър се състои от 14 на брой пръстеновидни постоянни магнита от феритен материал SmCo .

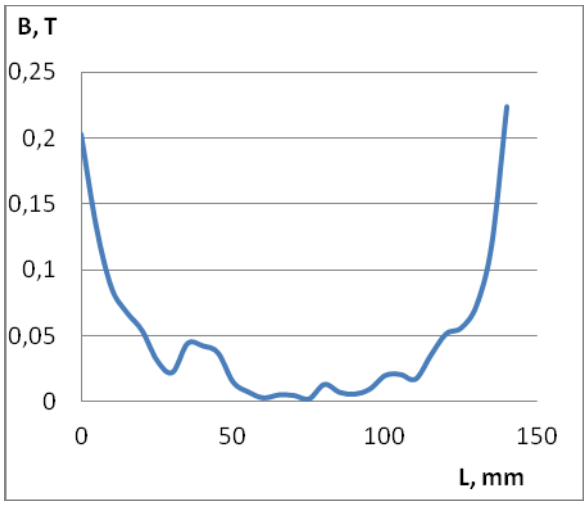
2. Експериментално и теоретично определяне на разпределението на магнитната индукция

Измерена е магнитната индукция на пълната магнитна система, изградена от 14 броя постоянни магнити, последователно подредени с редуване на полюсите им N-S. По този начин те формират един монолитен постоянен магнит с магнитна сила, равна на сбора от всички сили на 14-те броя.

Големината на магнитната индукция B [T] е измерена с помощта на DC Gaussmeter Model GM-1-ST, като стойностите са снети аксиално по дължината на магнитите.

Фиг. 2 Уред за измерване на магнитна индукция тип AlphaLab Inc. GM-1-ST

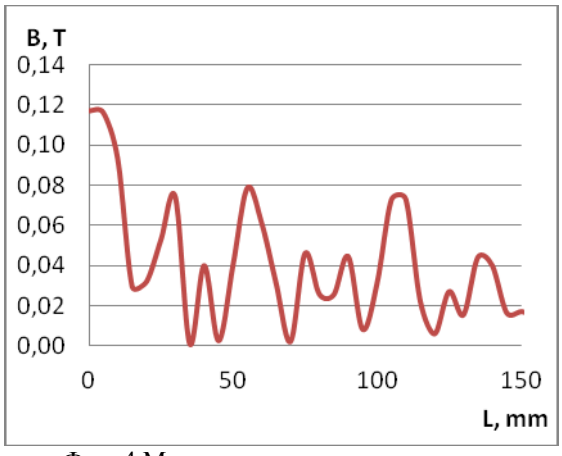
Разпределението на магнитното поле надлъжно по оста на магнитния филтър е представена на фиг. 3 със средна стойност на магнитната индукция по дължина е 0,0489T.



Фиг. 3 Магнитна индукция по повърхността на магнитния филтър.

Следва експеримент върху магнитната система реализирана с 12 броя магнити и дистанционни шайби от немагнитен материал. Целта на дистанционните пръстени е да се намалят краевите ефекти в краищата на магнитния филтър. Така се повишава стойността на магнитната индукция, респективно магнитна сила, в средната му част.

Разпределението на магнитното поле надлъжно по оста на магнитния филтър е представена на фиг. 4 със средна стойност на магнитната индукция по дължина е 0,0419T.

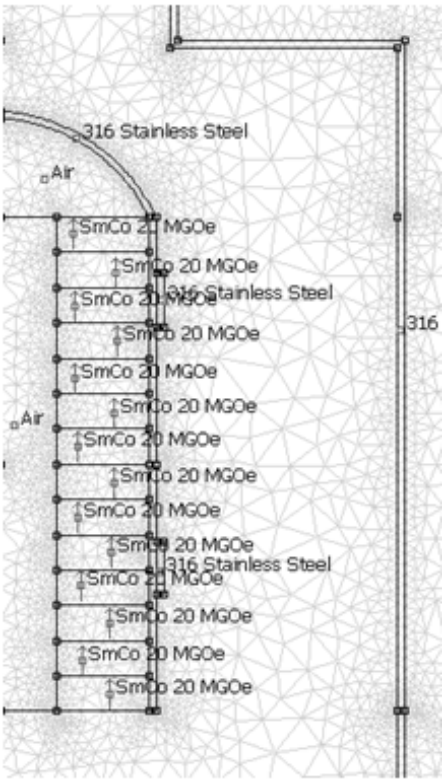


Фиг. 4 Магнитна индукция по височината на магнитната система с дистанционни пръстени

Чрез модел реализиран с помощта на софтуерен продукт FEMM [4, 8], базиран на метода на крайните елементи, е визуализирана картината на магнитното поле и за двата разгледани случая.

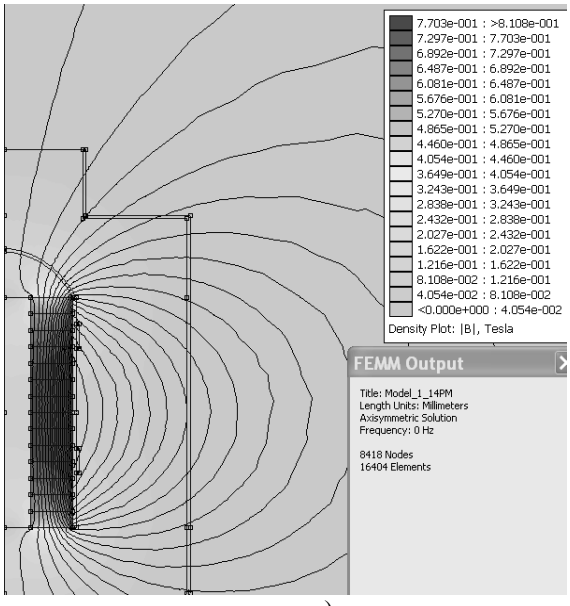
Конфигурацията на геометричния модел на представеното устройство за сепариране и мрежата от крайни елементи са посочени на фиг. 5.

От резултатите посочени на фиг. 3 и 4 ясно личат краевите ефекти, които се получават надлъжно по магнитната система, определящи неравномерност в разпределението на магнитното поле.

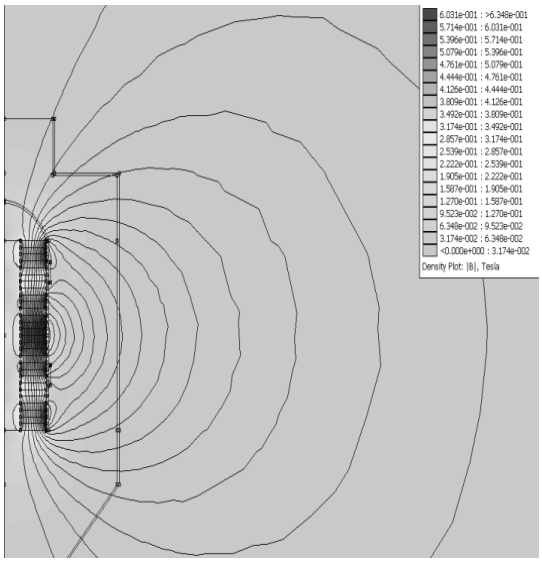


Фиг. 5 Геометричен модел на сепаратор тип MCR-5 и мрежа от крайни елементи

Разпределението на магнитното поле е представено на фиг 6.

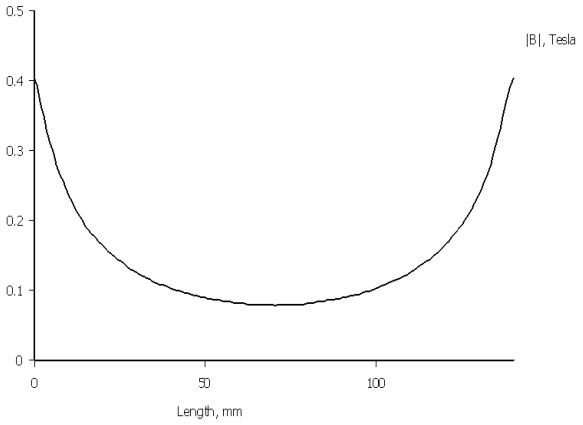


а)

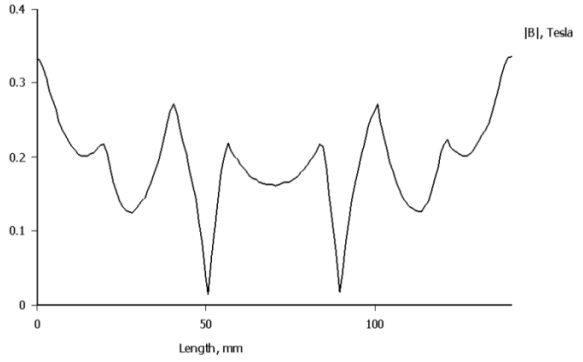


б)

Фиг. 6 Картина на магнитното поле
а) магнитна система с 14 броя постоянни магнита;
б) картина на магнитното поле с 12 броя постоянни магнити и изолационни дискове;



а)



б)

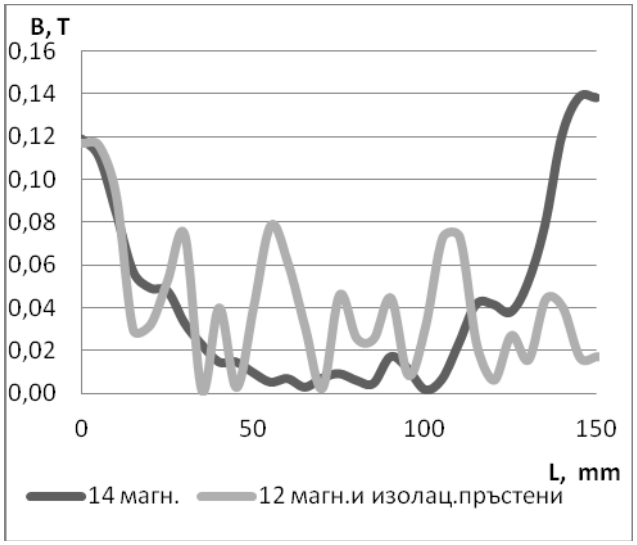
Фиг. 7 Разпределение на магнитната индукция
а) магнитна система с 14 броя постоянни магнита;
б) картина на магнитното поле с 12 броя постоянни магнити и изолационни дискове;

В участъците с ясно изразени максимални стойности на магнитната индукция върху феромагнитните частици ще действа по-голяма магнитна сила. Това е предпоставка за натрупване на големи количества феромагнитен материал, което ще намали ефективността на процеса на сепариране. Това се демонстрира на фиг.8.

Фиг. 8 Визуализация на полето с феромагнитен прах

Описаното по-горе разпределение на полето се доказва и чрез представените картини на магнитното поле на фиг. 6 а) и б).

При сравнение на двата варианта за изпълнение на магнитния филтър ясно личи повишената стойност на магнитната индукция, при раздалечаване на магнитите. Това би определило и по-висока стойност на магнитната сила. Забелязва се и известно подобрение в разпределението на магнитното поле. (фиг. 9).



Фиг. 9 Сравнение на получените резултати

III. ИЗВОДИ

От проведеното изследване са направени следните изводи.

Равномерността на разпределението на магнитната индукция може да се постигне чрез повишаване на въздушната междина между отделните магнити. Това би определило:

- намаляване броя на магнитите участващи в магнитния филтър;
- намаляване на теглото на сепариращото устройство;
- намаляване себестойността на изделието;
- повишаване степента на очистване.

От проведените изследвания се констатира, че една част от магнитния поток се разсейва извън сепаратора. Това може да се избегне, ако корпусът на устройството се изработи от парамагнитен материал.

За постигане на оптимално решение, относно разпределението на полето, е препоръчително да се направят допълнителни изследвания. Това може да се постигне чрез използването на числен анализ базиран на метода на крайните.

БЛАГОДАРНОСТИ:

Разработката е по проект МУ03163 към Фонд Научни изследвания на тема "Повишаване на енергийната ефективност и оптимизация на електротехнологични процеси и устройства”.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Dimova T., Aprahamian Bohos.,Determining the impact of some technological parameters on the process of separation of ferromagnetic particles through a separator with permanent magnets – SIELA 2012, 28-30 мау 2012г.

[2]. Baik S.K., Ha D.W., Ko R.K., Kwon J.M., Magnetic field analysis of high gradient magnetic separator via finite element analysis, Physica C 2012, pp 111 ÷ 117

[3]. Mariani G., Fabbri M., Negrini F., Ribani P.L., High-gradient magnetic separation of pollutant from wastewaters using permanent magnets, Separation and Purification Technology 72 (2010), 147-155

[4]. Meeker D., Finite Element Method Magnetics, User’s Manual,, Version 4.2, 2009

[5]. Manz B., Benecke M., Volke F., A simple, small and low cost permanent magnet design to produce homogeneous magnetic fields, Jornal of Magnetic Resonance 192, 2008, pp 131-138

[6]. Mishima F., Takeda S., Fukushima M., Nishijima S., A superconducting magnetic separation system of ferromagnetic fine particles from a viscous fluid, Physica C 463-465 (2007), 1302-1305

[7]. Александров А., Електрически апарати. София, 2004

[8]. Барадински К., Ячева И., CAD системи в електромагнетизма, Сиела, София, 2002

[9]. Елика Елеватор ООД - http://www.elica-elevator.com/download/406

[10]. Сумцов В.,Ф., Электромагнитные железоотделители. Машиностроене, Москва, 1998

[11]. Campbell P., Permanent Magnet Materials and Their Application, Cambridge Univwrsity Press, 1999

[12]. Fritz H.,Noboru M., High Magnetic Fields: Science and Technology, Том 1, 1989

[13]. Svoboda J., Fujita T., Recent developments in magnetic methods of mineral separation, Minerals Engineering 16 (2003), pp 785-792.

За контакти:

Татяна Димова, катедра „ЕТЕТ”, ТУ – Варна, ул. „Студентска” №1, гр.Варна 9000, тел. 052/383319; email: t.dimova@abv.bg;

Бохос Апрахамян, катедра ЕТЕТ, ТУ-Варна, 9010 Варна, ул.”Студентска” №1 e-mail: bohos@abv.bg;

Майк Щреблау, катедра ЕТЕТ, ТУ-Варна, 9010 Варна, ул.”Студентска”, №1 e-mail: streblau@yahoo.com

Рецензент:

доц. д-р инж. Борислав Димитров, ТУ-Варна

ДИАГНОСТИКА И ПРОГНОЗИРАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ МАШИНИ ПРИ ПРОДЪЛЖИТЕЛНА ЕКСПЛОАТАЦИЯ

DIAGNOSIS AND PREDICTION OF RELIABILITY OF ELECTRICAL MACHINES FOR CONTINUOUS OPERATION

Тодор В. Пенев

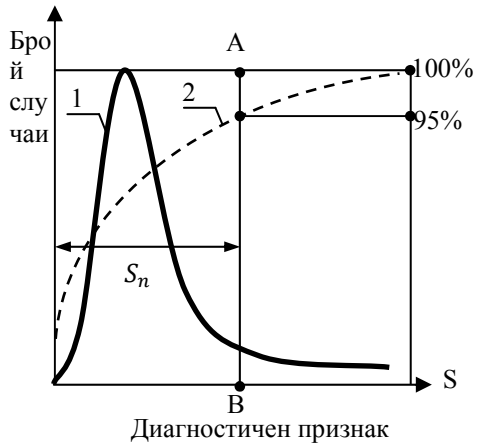
Резюме: Техническата диагностика и контрол на машините и съоръженията и по-точно към електрическите машини и апарати нараства, осъзнаването на нейното голямо финансово значение е особено важно във времена на трудно икономическо развитие. Както е известно електрическите машини (двигатели, генератори, трансформатори и специални машини) са едни от най масово използваните машини както в промишлеността, така и в бита, те имат такова масово разнообразно приложение, че живота без тях е немислим. Това води до по-големи изисквания към тях по отношение на технико икономически показатели, качество, надеждност и др. Това се отнася особено към големите електрически машини, чието експлоатационно техническо състояние е особено важно, особено за машините на преклонна възраст. Поради това е необходимо поддържане на високи нива на надеждност към намаляване на разходите за ремонт и обслужване.
Ключови думи: електрически машини, експлоатация, диагностика, надеждност

Abstract: Technical diagnosis and control of plant and equipment and more precisely to the electrical machinery increased awareness of its great financial importance especially in times of difficult economic development. As is known the electric machines (motors, generators, transformers and special machines) are one of the most widely used machines such as in industry and in bits, they have such mass varied application that life without them is inconceivable. This leads to greater requirements in terms of technical economic indicators, quality, reliability, etc. This applies especially to the big electrical machines whose operating condition is particularly important, especially for the machines of old age. It is therefore necessary to maintain the high levels of reliability to reduce the costs for repair and maintenance.
Keywords: electrical machinery, diagnosis, operation, reliability

I. СТРУКТУРНИ И ДИАГНОСТИЧНИ ПРИЗНАЦИ

Под термина техническа диагностика се разбира определяне (установяване) техническото състояние на електрическа машина, устройство или техническа система без нейното разглобяване [1, 2, 3]. Диагностирането на електрическите машини става по различни електрически, механични и случайни параметри като ток, напрежение, мощност, шум и вибрации, електромагнитен момент, температура, налягане, влажност и др. Задачата на диагностиката (мониторинга) е нетолкова да определи повредата, колкото да я предвиди, предпазвайки по този начин машината. Откриването на зараждащите се неблагоприятни процеси и по-следващото им отстраняване посредством своевременна профилактика. По този начин диагностиката позволява да се намалят разходите и по-важното, да се повиши вероятността за безотказна работа и да се намали вероятността от преждевременни или аварийни ремонти. Задачата на диагностиката е насочена за поддържане високи нива на надеждност към намаляване на разходите за ремонт и обслужване.

Диагностичните признаци са случайни величини които имат своите номинални $S_{н_1}, S_{н_2}, \dots\dots, S_{н_n}$ или пределни значения $S_{n_1}, S_{n_2}, \dots\dots, S_{n_n}$. [3] Началните величини на диагностични признаци се взимат средните стойности, получени в резултат на измервания на признаците при изправни електрически двигатели или трансформатори. Пределните стойности на диагностичните признаци, може да бъде определен посредством закона на разпределението, получен при изследване на група машини през целия период на експлоатацията им. Тъй като през целия период интензивността на отказите на устройствата е почти постоянна, плътността на разпределение на диагностичния признак f(s) е в границите на все още изправните машини.



Фиг. 1. Определяне на диагностичен признак S_n
1-теоретична крива на разпределение;
2-интегрална крива

За по-голяма сигурност, е желателно да се избере такава стойност на диагностичния признак $S_н$, която съответства на 95% от функцията на разпределение на признака, така че $S_н = AB$ от фиг.1, но тази стойност може да се избере и по оптимална стойност за по-голям икономически ефект. С влошаването на техническото състояние, някои диагностични признаци нарастват (консумация на ток, вибрации), а други намаляват (електрическа якост на изолацията, механична мощност и др.). Като се знае връзката между структурните параметри и диагностичните признаци $S = S(x)$, може да се реши обратната задача, т.е. $\hat{X} = \hat{X}(S)$, да оценим изправността и работоспособността на електрическата машина без да е необходимо разглобяване. За да се постигне достоверност е необходимо диагностичните признаци да отговарят на изискванията за еднозначност, т.е. в целия диапазон да няма екстремум $X_н > X > X_n$ или $X_н < X < X_n$.

Чувствителността на диагностичния признак се оценява по големина и скорост на неговото нарастване по отношение на структурен параметър $\Delta S/\Delta X$. Самото диагностицирането се състои от приемане на сигналите на диагностичните признаци $(S_1, S_2, \dots, S_n)$, филтриране на получените сигнали от външни въздействия и режими на работа, след което се разпознава моментното състояние определено от $(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Като цяло процесът на диагностициране се състои от две части – измерване и разпознаване. Първата част се развива непрекъснато с напредъка на развитие на електрониката, като непрекъснато се внедряват нови измервателни устройства (датчици), а във втората част се използват диагностични модели, който са математически (теоретични) и / или физически (функционални). От своя страна математическите модели биват [4, 2]: - аналитични, функционални, логически, топологични, вероятностни и регресионни. При пренебрегване на едната от двете части, това ще доведе до нулеви или отрицателни резултати.

За решаването на поставената задача е необходимо намирането на модели на съответствието, между състоянието, режима на работа и външните условия от една страна и изходните диагностични признаци от друга. Тези модели се получават при така нареченото обучение на системата.

II. МЕТОДИ ЗА ДИАГНОСТИКА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ МАШИНИ

Методите за диагностика на електрическите машини се класифицират по оценявания структурен параметър и методите за неговото пряко или косвено измерване фиг.2.

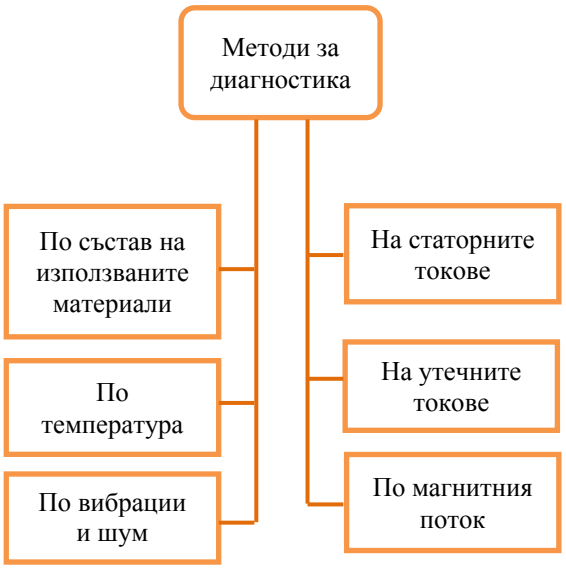
1. Контрол върху вложените компоненти

Методът по контрол на използваните материали има за цел да гарантира, че количествата и размерите на елементите отговарят на стойностите посочени в оперативните стандарти, при наличие на подвижни контакти. Термичното разграждане и елктромагнитните въздействия, във времето водят до деградация на изолационните материали които отделят редица замърсяващи продукти и имат вредно въздействие както за самата електрическа машина така и за околната среда. Диагностицирането става чрез измерване на налягането, скоростта и дебита, както и на химичния състав така и наличието на твърди частици в охлаждащия флуид.

2. Термична диагностика

Методът на топлинна диагностика се използва за оценка на състоянието на машината но не дава информация за зараждащи се аварии, което означава, че този критерии може да се разглежда само в комплект с другите. Причината за това е, че има три подхода за температурно наблюдение: наблюдение на температурата в местни точки; термография и чрез измерване на температурата на охлаждащия флуид. Посредством първия метод е възможно да се

пропусне измерването на температурата в дадена проблемна точка. Вторият дава ясна представа за горещите точки, но не дава точна диагноза за причината и третият метод може да бъде използван за определяне нивото на зародената повреда, но не дава достатъчна информация за предстояща авария.



Фиг. 2. Методи за диагностика на електрическите машини

3. Виброакустична диагностика

Виброакустичната диагностика е метод за разпознаване на зараждащи се дефекти. Повредите както и всяко отклонение от нормалната работа, предизвиква промяна в спектъра на вибрациите и шума на машината, което се установява посредством честотен анализ по три признака – честота, амплитуда и фаза [2]. Чрез виброакустичната диагностика могат да се диагностицират много дефекти с голяма точност в лагерите (хлабина, стегнатост, грапавост, недостатъчно смазване и др.), но не може да локализира проблема, а само да покаже следните дефекти: влошена комутация, влиянието на магнитното поле; несиметрии в намотките; прекъсване на намотка; дисбаланс ексцентрицитет на ротора; нередности между четки и пръстени (колектор). Като недостатък е, че неговата чувствителност е ниска особено в ранен етап на повреда.

Мониторинг на шума се извършва чрез измерване и анализ на акустичен спектър на шума. Акустичния шум от асинхронните двигатели може да се използва за откриване на ексцентричност. Измерва се нивото на звуковата мощност излъчвана от машината, тъй като тя не зависи от околните предмети и разстояния [5]. Въпреки това, прилагането на измерванията на шума в завод, не е практично, защото може да се измери звуковата мощност и от други машини, работещи в близост, тези паразитни шумове намаляват точността на откриване на дефекти с помощта на този метод. Въпреки това методът може да се използва за откриване на ексцентричност във въртящи се електрическите машини посредством акустична камера [6].

4. Мониторинг на въртящия момент

Посредством този мониторинг могат да се открият всички неизправности в роторите. Въпреки, че не може да се измери електромагнитния момент във въздушната среда, системата сравнява двата момента. Изходящият въртящ момент се измерва, а електромагнитният се изчислява на база входните параметри (ток, напрежение, активна мощност) и се сравняват двата, при наличие на недопустимата разлика значи има повреда в ротора, на практика мониторинг на хлъзгането [7].

5. Диагностиката на статорния ток

Диагностиката на статорния ток е лесно приложим тъй като се използват различни средства за защита на машините като защити от къси съединения, от токове на претоварване, дефектно токови защити следящи за токовете на утечка, диференциални защити и др. Поради тази причина не е необходимо използването на допълнителни устройства за измерване на токовете. На база векторен, честотен, хармоничния анализ и анализ на частичните разряди се диагностират различни повреди като скъсана роторна пръчка в кафезен ротор, микроразряди в изолацията, между виткови къси съединения, несиметрия в намотките, прекъсване на намотка, диелектрични загуби на изолацията и др.

6. Утечни токове

Диагностика на утечните токове дава информация за състоянието на изолацията. Посредством непрекъснатото следене на утечните токове може да се засекат настъпващите промени, преди да се стигне до фатални последствия за машината и обслужващия персонал. Методът регистрира започването на нежелан процес, но не показва точно мястото на зараждащата се повреда.

7. Мониторинг на електрически величини

При текущо следене на токовете с права, обратна и нулева последователност, амплитуди, дефазиране и съответните анализи като хармоничен анализ на токовете, всички те попадат по наименованието електрически мониторинг Тези методи анализират статорния ток за откриване на различни видове повреди в електрическите машини. Използват се различни средства за защита на машините като защити от къси съединения, от токове на претоварване, дефектно токови защити следящи за токовете на утечка, диференциални защити и др. За това не е необходимо използването на допълнителни устройства за измерване на токовете, което прави тези методи за диагностика лесно приложими.

7.1. Векторен анализ на токове

Този метод се основава на факта, че трифазните асинхронни двигатели са симетрични товари и намотките се свързват в схема звезда без свързване на неутралата към звездния център. Представянето на симетрична система трифазни токове в двумерна координатна система посредством векторите, се получава окръжност. Посредством този метод, лесно се вижда отклонение на някои от токовете, т.е. да се открие повреда [8].

7.2. Честотен анализ на статорните токове (ЧАСТ)

Той се основава на хармоничен анализ на тока и дава много добри резултати за диагностициране на зараждащи се повреди в лагери, статор, ротор и ексцентричност в електрическите машините [9]. ЧАСТ се основава на промяна на хармониците в статорния ток на база настъпващи повреди в машината. При хармоничния анализа може да се използват преобразувания на Фурие, адаптирани за малки участъци на сигнала във времето, тази техника е известна като за кратко време бързо преобразуване на Фурие.

ЧАСТ не зависи от големината на тока както, от натоварването на машината и от захранващото напрежение. Посредством селективен честотен филтър се наблюдават характерни честоти от честотния спектър при нормална експлоатация на машината. След което в зависимост от конструкцията на машината и по-точно броя полюси се генерират характерни честоти които се записват. На база записаните и измерените честоти се прави анализ, посредством невронни мрежи по определен алгоритъм. Системата изисква да направи записи когато машината е в „добро“ техническо състояние,т. е. да се калибрира за съответната машина.

Като недостатък може да се изтъкне, че при променящо се натоварване трептенията от въртящия момент предизвикват същите хармоници както при ексцентричност.

8. Магнитен поток

Посредством магнитния поток се получава информация за настъпила неизправност както в електромагнитната верига така и несиметрия във въздушната среда, дължащи се на повреди в лагерите, в намотките, магнитопровода.

Освен посочените методи, съществуват различни оригинални схеми и прибори, специализирани за пряко или косвено измерване на някои важни параметри или признаци, които тук не са описани.

Математическите методи, за косвена оценка на структурните параметри и разпознаване на състоянието, могат да бъдат възможно най-прости (сравнение на текущата стойност с пределна), и по-сложни (основаващи се на логически процедури) или съвсем сложни методи (статистическо разпознаване и приемане на оптимални статистически решения).

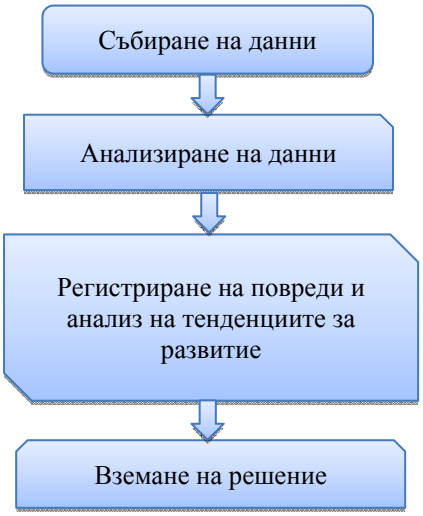
III. НЕИЗПРАВНОСТИ ПРИ АСИНХРОННИТЕ МАШИНИ (АМ)

Неизправностите могат да бъдат такива, че електрическите машини да продължат да функционират. Допълнително поради големия брои дефекти и признаци и сложните им връзки между тях, единствения и надежден начин за решаване на задачата за диагностика е използване то на статистически алгоритми за разпознаване. Етапите на диагностирането са представени на фиг.3.

На фиг.4 е показана последователността от задачи, които трябва да се предприемат и решат, за да се избегне грешно диагностиране [3].

Задачите посочени в блокове 2,3,4,5,6 и 7 се решават от така наречения процес на обучение, където се провеждат предварителни изследвания, съставят се структурно следствени схеми, дефинират се областите на изменението на структурните параметри и диагностичните признаци, разработват се и се проверяват конкретни процедури за разпознаване и прогнозиране. Дейностите

посочени в блок 8, представляват същността на процеса на диагностиката. Освен оценка на текущото състояние, тук се вземат решения за условията на бъдещата експлоатация.



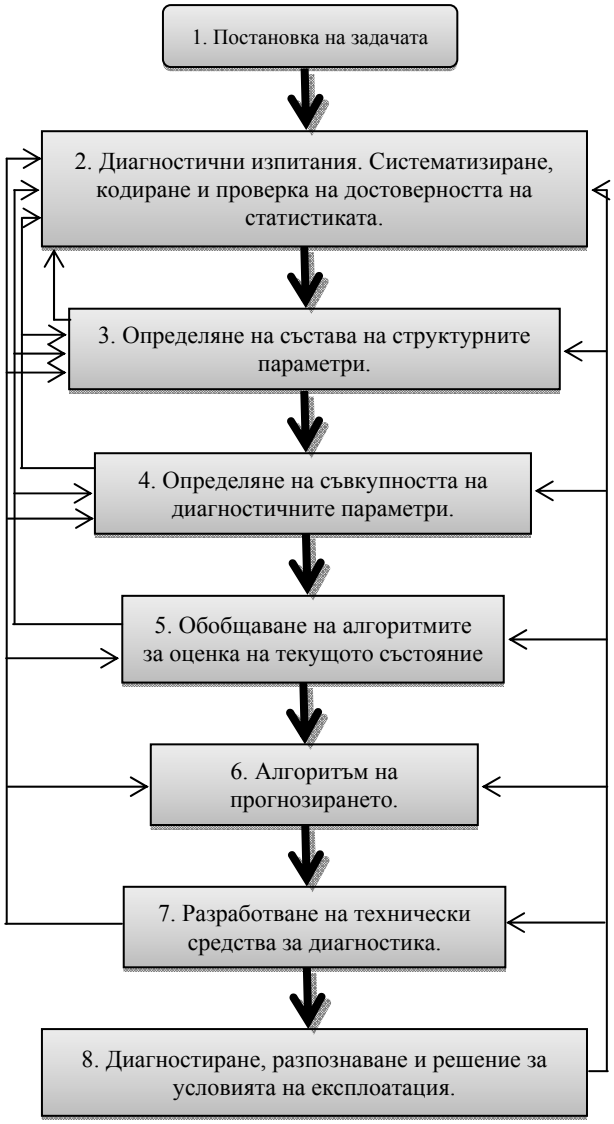
Фиг. 3. Етапи на диагностиране

IV. ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРАНЕ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТЕ МАШИНИ

Ясно е, че прилагането на един структурен параметър – един диагностичен признак е невъзможно, всяка от неизправностите влияят върху целия комплекс от диагностични признаци и практически неможе да бъде разпознат чрез прости логически или линейни схеми. Това от своя страна, предполага използването на сложни статистически алгоритми за разпознаване и приемане на решения, при които всяка неизправност може да се представи като област в n-мерното пространство на признаците.

1. Характерни задачи

В практиката на експлоатацията на един електрически мотор, се срещат много рядко задачи, които се решават посредством теоремите за събиране и изваждане на вероятности т.е. прости събития. Дори понякога при наличие на редица варианти за сбъдване на едно сложно събитие, се търси влиянието на всеки от вариантите [3]. Ако разглеждаме събитието А (внезапен отказ на лагер), то може да се сбъдне при съвместно изпълнението на събитието В (претоварен режим на работа) и С (висока околна температура).



Фиг. 4. Последователност на задачите при диагностицирането

$$P(A) = P(B \cdot C) = P(B) \cdot P(C) \qquad (1)$$

Понякога се налага определянето на вероятността за поява на някакво събитие А, което може да се реализира с едно от събитията $H_1, H_2, \ldots, H_n$, образуващи пълна група от независими събития. $H_1, H_2, \ldots, H_n$ се наричат хипотези, а вероятността А се определя от формулата на пълна вероятност:

$$P(A) = P(A \cdot H_1) + P(A \cdot H_2) + \cdots + P(A \cdot H_n) = \sum_{i=1}^{n} P(H_i) + \sum_{i=1}^{n} P(A/H_i) \qquad (2)$$

В практиката много често се взима решение при наличие на много варианти е да се преизчисли всяка от хипотезите H_i, след като вече е било наблюдавано събитието А.

подобна постановка може да се реши чрез теорема за проверка на хипотезите (формула на Бейс):

$$P(A \cdot H_i) = P(A) \cdot P\left(\frac{H_i}{A}\right) = \\ = P(H_i) \cdot P(A/H_i) \quad (3)$$

$$P\left(\frac{H_i}{A}\right) = \frac{P(H_i) \cdot P(A/H_i)}{P(A)} = \\ = \frac{P(H_i) \cdot P(A/H_i)}{\sum_{i=1}^{n} P(H_i) \cdot P(A/H_i)} \quad (4)$$

По формулата на Бейс могат да се пресметнат условни вероятности на всяка от хипотезите, след което да се вземе най-вярната за бъдещи действия.

Например: оценява се състоянието на лагерите в една електрическа машина (ЕМ). Възможни са два случая:

-H_1-състоянието към моментната оценка е добро;

-H_2-състоянието не е добро и може да се сметне като отказ.

Състоянието на лагерите се оценява по два диагностични метода, изменящи два диагностични показателя:

-S_1- повишена температура на лагерите;

-S_2- ниво на вибрации на лагерите.

И нека е известно, че към момента на оценка на вероятността ЕМ е в добро състояние (H_1) и $P(H_1) = 0{,}6$, а в не-добро - (H_2) и $P(H_1) = 0{,}4$. Двата диагностични метода се базират на косвени измервания и нямат абсолютна достоверност. От предварителни експерименти е установено, че достоверността на първия метод е $P_1 = 0{,}6$ $(q_1 = 0{,}4)$, а на втория е $P_2 = 0{,}7$ $(q_2 = 0{,}3)$

Възможни са следните случаи:

Първи случай: Получава се съобщение (събитие А). Данните от двата датчика са, че състоянието на обекта е добро. По формула (4) условните вероятности на хипотезите $P(H_1)$ и $P(H_2)$ след появата на събитието А са:

$P(H_1) = 0{,}6$; $P(A/H_1) = P_1 \cdot P_2 = 0{,}6 \cdot 0{,}7 = 0{,}42$ – и двата датчика подават информация за вярна хипотеза H_1, тогава:

$$P(H_1/A) = \frac{P(H_1) \cdot P(A/H_1)}{P(H_1)P(A/H_1) + P(H_2)P(A/H_2)} \\ = \frac{0{,}6 \cdot 0{,}42}{0{,}6 \cdot 0{,}42 + 0{,}4 \cdot 0{,}12} = 0{,}84$$

Също така имаме:

$P(H_2) = 0{,}4$; $P(A/H_2) = q_1 \cdot q_2 = 0{,}4 \cdot 0{,}3 = 0{,}12$ – за да се получи хипотеза H_2, трябва и двата датчика да подават невярна информация. Тогава за $P(H_2/A)$ се получава:

$$P(H_2/A) = \frac{P(H_2) \cdot P(A/H_1)}{P(H_1)P(A/H_1) + P(H_2)P(A/H_2)} \\ = \frac{0{,}6 \cdot 0{,}12}{0{,}6 \cdot 0{,}42 + 0{,}4 \cdot 0{,}12} = 0{,}16$$

От тук за събитието А се приема по-голямата вероятност т.е. 0,84>0,16 хипотезата за добро състояние.

Втори случай: Получава се съобщение (събитие А). По данните от датчиците се съди, че състоянието на обекта е недобро т.е. настъпил е отказ. По началните условия ще имаме:

$P(H_1) = 0{,}6$; $P(A/H_1) = q_1 \cdot q_2 = 0{,}4 \cdot 0{,}3 = 0{,}12$ – и двата датчика подават грешна информация за H_1, тогава:

$$P(H_1/A) = \frac{P(H_1) \cdot P(A/H_1)}{P(H_1)P(A/H_1) + P(H_2)P(A/H_2)} \\ = \frac{0{,}6 \cdot 0{,}12}{0{,}6 \cdot 0{,}12 + 0{,}4 \cdot 0{,}42} = 0{,}3$$

защото:

$P(H_2) = 0{,}4$; а $P(A/H_2) = P_1 \cdot P_2 = 0{,}6 \cdot 0{,}7 = 0{,}42$ – т.е. обекта е неизправен, а двата датчика подават вярна информация. Тогава за $P(H_2/A)$ се получава:

$$P(H_2/A) = \frac{P(H_2) \cdot P(A/H_1)}{P(H_1)P(A/H_1) + P(H_2)P(A/H_2)} \\ = \frac{0{,}4 \cdot 0{,}42}{0{,}6 \cdot 0{,}12 + 0{,}4 \cdot 0{,}42} = 0{,}7$$

В този случаи, при получаване на съобщението А, с условна вероятност по-голяма от изходната, т.е. 0,7>0,4, приемаме хипотезата за отказ в лагерите.

Трети вариант: методът с температурно измерване носи информация за добро състояние, а вибрационния показва недобро състояние. Според приетите начални условия ще имаме:

$P(H_1) = 0{,}6$; $P(A/H_1) = P_1 \cdot q_2 = 0{,}6 \cdot 0{,}3 = 0{,}18$ – което означава, че при вярна хипотеза H_1 първи метод дава вярна, а втория невярна информация.

Тогава: $P(H_1/A) = 0{,}49$ защото: $P(H_2) = 0{,}4$; а $P(A/H_2) = q_1 \cdot P_2 = 0{,}4 \cdot 0{,}7 = 0{,}28$ т.е. обекта е изправен, първия метод показва невярно ,а втория вярно. За $P(H_2/A) \approx 0{,}51$, от където имаме основание да приемем

хипотезата за отказ. За да се даде по-категорично заключение е необходимо да се направят още няколко измервания. Ако в резултат на това $P(H_2/A)$ се увеличи още повече, се потвърждава хипотезата за наличие на отказ.

Четвърти възможен случаи:получава се съобщение, според което температурния метод носи информация за отказ, а вибрационния добро състояние. Отново спазваме позната процедура при вярна хипотеза $H_1 = 0{,}28$, първи метод греши, а втори дава верен резултат то : $P(H_1/A) = 0{,}7$.

Защото : $P(H_2) = 0{,}4$, $P(A/H_1) = 0{,}18$; а $P(H_2/A) = 0{,}3$ от където имаме основание да приемем хипотеза H_1за добро състояние, но отново за да кажем категорично е необходимо още няколко измервания.

2. Прогнозиране на основа вероятността за безотказна работа

Вероятността за безотказна работа $P(t)$ показва, че за даден период от време от 0 до t, при коректно зададени експлоатационни условия, няма да възникне нито един отказ. Вероятността за безотказна работа може да бъде използвана за прогнозиране на ресурса, при зададена вероятност за безотказна работа или вероятността за откази, при зададено време $(t + \Delta t)$ на експлоатация. За да се прогнозира този интервал се използват показателите интензивност на отказите и интервална вероятност на безотказна работа.

Интензивността на отказите $\lambda(t)$е броят на отказите на един елемент за единица време на работа. Интензивността на отказите и вероятността за безотказна работа са показатели на безотказността. Връзката между тях се установява посредством математични преобразувания. При $\Delta t \to 0$ се получава:

$$\int_0^t \lambda(t)dt = \ln P(t) \qquad (5)$$

След интегрирането се получава:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \qquad (6)$$

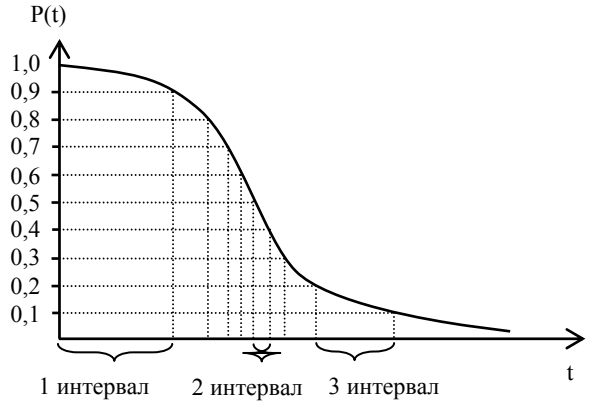
3. Интервална вероятност за безотказна работа

Вероятността $P(t; t + \Delta t)$ където няма да настъпи нито един отказ за разглеждания интервал от време. За един елемент тази вероятност се определя от уравнението:

$$P(t; t + \Delta t) = \frac{P(t+\Delta t)}{P(t)} \qquad (7)$$

Ако изберем три различни периода от време (1,2 и 3), при които разликата

$P_t(t; t + \Delta t) - P_t(t) = \Delta P(t)$ е една и съща $\Delta P(t) = -0{,}1$ табл.1, при известна зависимост на безотказна работа $P(t)$ – фиг.5.



Фиг. 5. Вероятностни падове по интервали

Разбира се трябва да се отчете и факта, по какъв начин се управлява машината тъй като има известни изследвания които представят, че честотните управления намаляват живота на ЕМ. Това се дължи на факта, че съвременните управления се изпълняват с IGBT транзистори който имат голямо бързодействие [10] и от друга страна малките активни съпротивления на намотките се получават големи пренапрежения които водят до по-бързо стареене на изолацията.

Табл. 1. Примерно определяне на интервална вероятност

№ на интервала	$P_t(t)$	$P_t(t + \Delta t)$	$P_t(t + \Delta t) - P_t(t) = \Delta P(t)$	$P_t(t; t + \Delta t)$
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	1,0	0,9	-0,1	0,9
2	0,5	0,4	-0,1	0,8
3	0,2	0,1	-0,1	0,5

V. ИЗВОДИ

Интервалната вероятност на безотказна работа позволява определянето на частта от елементите, които ще работят безотказно за времето на работа, ако техни общ брой за целия период на работа е единица. Тя може да се разглежда също така като вероятност на

безотказна работа, на един елемент в избрания интервал Δt.

Интервалната вероятност може да се използва за планиране на времената за профилактика, диагностика, подмяна на детайлите и др. По резултатите от нейното пресмятане може да бъде прието едно от следните решения:

- Да се извърши диагностична процедура;
- Да се замени конкретен детайл;
- Да се предвиди бъдеща замяна на резервни части в интервала Δt.

Предложената статия е написана и се издава с помощта на средства по проект ОП 'РЧР', BG051PO001-3.3.06-0005, N D01.89/ 19.03.2012 г., „Развитие потенциала на докторанти, постдокторанти, млади учени и специализанти от инженерните науки в ТУ Варна и техния принос за развитие на икономика, базирана на знанието”

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Е. Соколов, Изследване и изпитване на електрически машини, София: Техника, 1977.

[2] Г. Божилов, Записки по техническа диагностика на електрически машини, София: ВМЕИ "Ленин" - София, 1990.

[3] В. Д. Д. К. Г. Г. Асен Недев, Надежност и диагностика на топлоенергетичните и транспортни машини, Варна: "МАЛЕО - 63" - Варна, 2005.

[4] К. Т. А. Недев, Техническа диагностика и разпознаване на образи, Варна: Касел-Рединг, 1994.

[5] Е. Соколов, Изследване и Изпитване на Електрически Машини, софия, 1977.

[6] S. Y. AJ Ellison, „Effects of rotor eccentricity on acoustic noise from induction machines,“ *Proceedings of IEE,,* Том. %1 от %2118, (1), pp. pp. 174-184, 1971.

[7] J. S. Hsu, „Monitoring of defects in induction motors through air-gap torque observation,“ *IEEE Transactions on Industry Applications,,* Том. %1 от %2 Vol. 31, No. 5, pp. pp.1016- 1021 , 1995.

[8] E. S. M. S. M. A. R. AJM Cardoso, „Online detection of airgap eccentricity in 3-phase induction motors, using Park's vector approach.,“ *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting,* pp. pp.94-98, 1991.

[9] T. H. L. H. Nandi S., „Condition Monitoring anf Fault Diagnosis of Electrical Motors - A Review,“ *IEEE Transaction on energy conversion,* том vol. 20 No 4, pp. pp. 719-728, December 2005.

[10] М. Христова, „Анализ на влиянието на честотни преобразуватели върху работата на асинхронните двигатели,“ *Научни трудове на Русенския Университет,* pp. 20-24, том 51, серия 3.1 2012.

[11] Е. И. ООД, „ЕЛИН Инжинеринг ООД-ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ,“ VALIADIS, 2013. [Онлайн]. Available: www.valiads.bg/component/content/article/123. [Отваряно на 10 07 2013].

За контакти:
Тодор В. Пенев, катедра ЕТЕТ ТУ-Варна
ул. Студентска 1, 9010 Варна, България
Тел.: +359 52 383 414
e-mail: tpenev@tu-varna.bg,

Рецензент:
доц. д-р инж. Ангел Врангов, ТУ-Варна

ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ВАКУУМНИ КОНТАКТОРИ ЗА СРЕДНО И НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF VACUUM CONTACTORS FOR MEDIUM AND LOW VOLTAGE

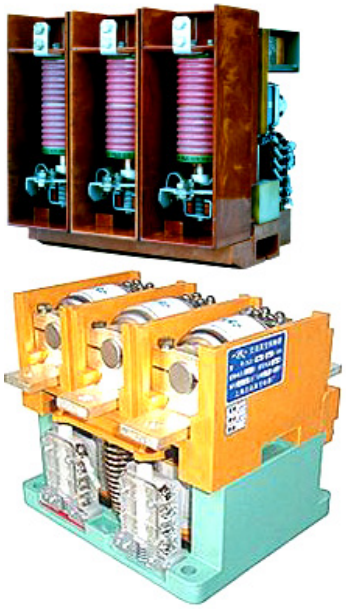
Борислав Димитров, Димитър Димитров, Ангел Маринов, Георги Николов

Резюме: Изследването е насочено към разглеждане на възможност за понижаване на собствените загуби, респективно повишаване на енергийната ефективност, на вакуумни контактори за ниско и средно напрежение. Разглежданият проблем в случая са загубите, получени в резисторите, служещи за понижаване на захранващото напрежение на задвижващата система. За неговото решаване е предложено използване на електронен преобразувател, работещ с многократно по-малки загуби. Представени са резултати от експериментални изследвания на режимите на работа на изследваните контактори, чрез които се поставят изисквания към преобразувателя. Последният се базира на утвърдени схемни решения, предлагащи устойчива и надеждна работа на апарата.
Ключови думи: вакуумен контактор, ефективност, TOPSwitch

Abstract: The paper presents a specialized design that aims at reducing power losses in vacuum contactors for low and medium voltage and respectively improving their overall efficiency. The design includes improvement of the circuitry that powers the electro-mechanics of the contactor and more specifically the power resistors that limit the current in the control winding. A circuit that replaces the resistors and eliminates the losses in them is suggested. The replacement circuit includes a power electronics converter that works at greater efficiency. Experimental results that study the operation of the converter and the contactor are presented. Based on those results specific design parameters for the converter are determined. The converter is based on conventional circuit solutions that offer robust and reliable operation.
Keywords: vacuum contactor, efficiency, TOPSwitch

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Обект на изследване е електрическото захранване на задвижваща постояннотокова електромагнитна система, управлявана от собствена оперативна схема. Такъв е например случаят на вакуумни контактори [1,4] за средно и ниско напрежение, примерни конструкции на които са показани на фиг.1. В електрическото захранване задвижващата система на същите се използват резистори за понижаване на напрежението на управляващата бобина. Отделените загуби в тях често превишават 100W, което прави използването на това схемно решение енергийно неефективно. Още по-голям е проблемът при употреба на няколко апарата в разпределителна уредба, където в зависимост от броя им собствените загуби могат да достигнат киловати.



Фиг.1. Вакуумни контактори за средно и ниско напрежение.

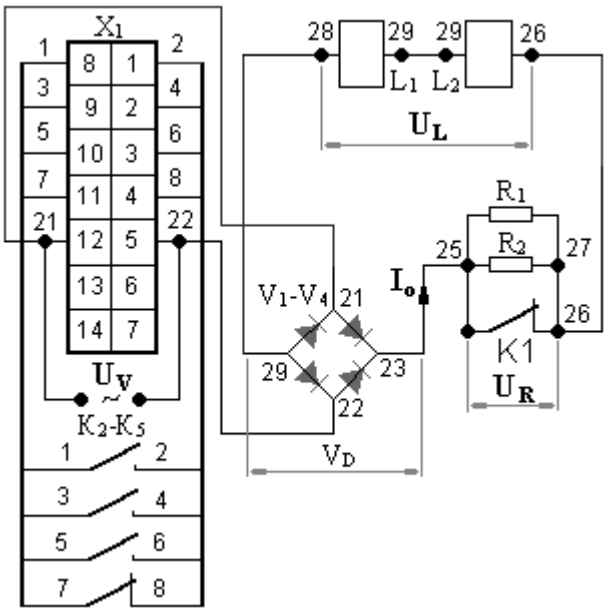
Работата с подобни загуби е недопустима спрямо съвременните изисквания за енергийна ефективност. Въпреки това редица производители [5,6,7,8], продължават да предлагат оборудване, работещо по описания начин, които са достъпни и широко използвани в България.

Целта на изследването е да се дефинират факторите, влияещи върху енергийната ефективност, както и да се предложи схемно решение с приложението на което се намаляват загубите в електрическото захранване на оперативната схема.

В разработката се предлага замяната на резисторите с електронен преобразувател [2,3]. Същият представлява импулсен захранващ източник с коефициент на полезно действие 90-95%. При това загубите в захранването на оперативната верига на контактора се понижават значително.

II. АНАЛИЗ

Оперативната схема за управление на задвижващата система на вакуумен контактор от тип КВ-10-400 е показана на фиг.2.



Фиг.2. Оперативна схема за управление на вакуумни контактори

Захранващото напрежение на бобините L_1 и L_2 е постоянно, получено от Грец схема (V_1-V_4). Процесът на включване се осъществява при затворен оперативен контакт K_1. Същият се отваря със сработване на електромагнитната система, при което последователно на бобините се включват резистори R_1 и R_2. На схемата са приети означения: U_V – захранващо напрежение на оперативната верига (220V AC); U_D – изправено, нефилтрирано напрежение; U_L – напрежение върху бобините L_1, L_2; U_R – напрежение върху резистори R_1, R_2 при сработил контакт K_1; I_0 – ток през веригата.

Експерименталните изследвания са насочени към установяване динамичните характеристики на задвижващия електромагнит и неговите загуби. Направени с посочените апарати, като в конкретния случай се използват в захранващата система на електротермични съоръжения – комутация на трансформатори, захранващи високотемпературни електросъпротивителни камерни пещи.

Характеристиките на контакторите, според каталожните данни на производителите, са посочени в табл. 1 – контактор КВ-10-400, имащ номинални напрежение 10kV и ток 400A.

Табл.1. Основни характеристики на вакуумен контактор КВ-10-400

Номинално напрежение [kV]	10
Максимално работно напрежение [kV]	12
Номинален ток на изключване [kA]	4
Номинален ток [A]	400
Номинален ток на оперативните контакти [A]	10
Номинално (променливо) напрежение на оперативната верига [V]	220
Ток на оперативната верига в момент на сработване [A]	5
Ток на оперативната верига при включено положение [A]	1
Собствено макс. време на сработване [ms]	150
Собствено макс. време на изключване [ms]	60

Чрез експерименталните изследвания, направени с вакуумен контактор КВ-10-400, се цели да се получат времевите и електрическите характеристики на апарата, както и начина на комутация и управление от оперативната схема. Същите са дадени в графичен вид, чрез предложените осцилограми на фиг. 3÷7, както следва:

Фиг.3 – преходен процес на включване: графика 1 – управляващо напрежение на оперативната верига, подадено в момент t1; графика 2 – напрежение на главната контактна система, получено след затварянето и в момент t2; времеви интервал ts – собствено време на сработване, възлизащо в случая на 90 ms. Получената стойност отговаря на характеристиките, посочени в табл.1.

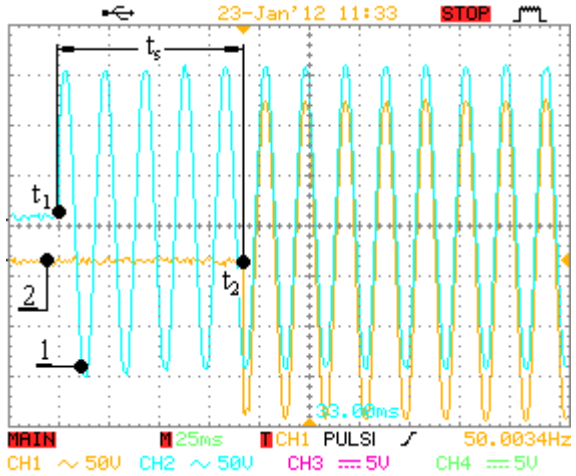
Фиг.4 – процес на изключване: графика 1 – напрежение на оперативната верига, изключено в момента t1; графика 2 – напрежение на главната контактна система, изключено в момента t2; времеви интервал ti. – собствено време на изключване на контактора,

възлизащ в случая на 120 ms. Според резултатите, полученото ti е два пъти по-голямо от посоченото в каталожните данни (табл. 1). Предложеното изследване е насочено към времевите характеристики на апарата, чрез главната контактна система се комутира маломощен товар (10W), работещ на ниско напрежение (UV). Ето защо процесът на дъгогасене, характерен за този клас апарати, на фиг.4 не се наблюдава. Същият не е изследван чрез комутация на описаното по-горе електротермично оборудване, тъй като в случая товара няма отношение към управляващата оперативна верига.

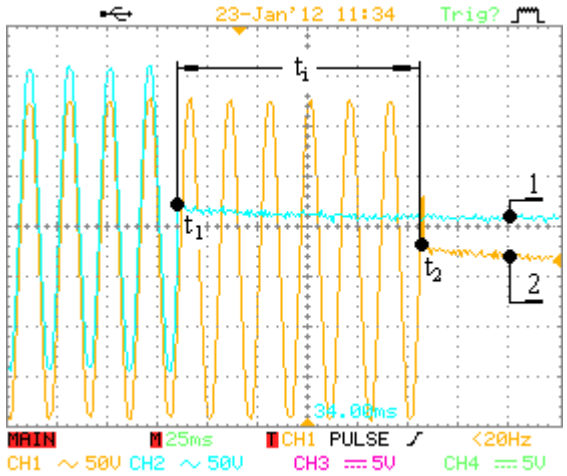
Фиг. 5 – захранващи ток (графика 1) и напрежение (графика 2) на управляващата бобина. Същите имат пулсиращ характер поради отсъствие на филтриращ кондензатор. Измерени са следните стойности, според приетите означения на фиг.1: Io=1,1A; UL=50,8V; UR=142V. Токът при сработване на електромагнитната система не надвишава 5A. Загубите в паралелно свързаните резистори при установено включено състояние възлизат на 156,2W.

Фиг.6 – време за сработване на нормално затворен оперативен контакт K1: графика 1 – ток през бобината, протичащ от момента t1 при затворен K1; графика 2 – постоянно оперативно напрежение върху бобината; t2 – момент на отваряне на оперативния контакт, определящ диапазона ts≈150ms.

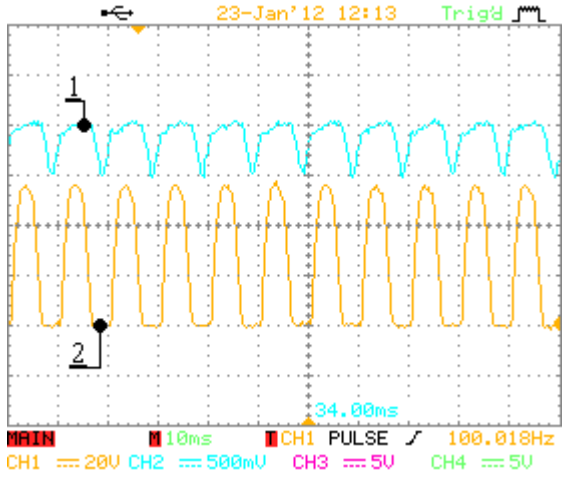
Фиг.7 – ток (графика 1) и напрежение (графика 2) върху управляващата бобина в момент на изключване на контактора. На същата е показано полученото пренапрежение в оперативната верига, което трябва да се има предвид при конструирането на електронната захранваща схема.



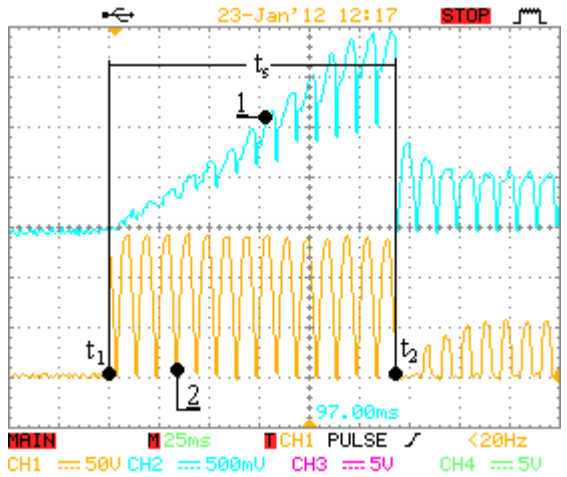
Фиг.3. Преходен процес на включване на вакуумен контактор



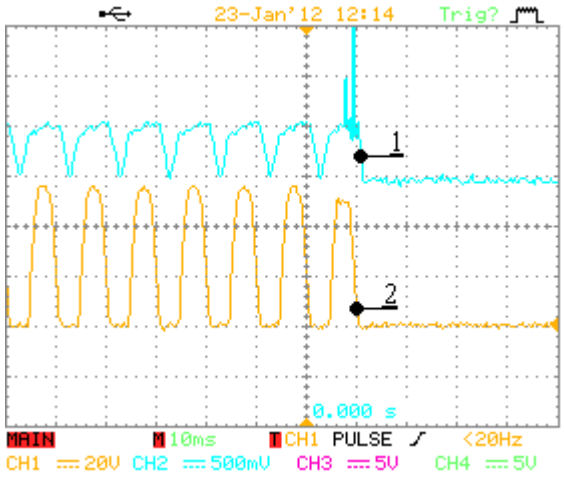
Фиг.4. Преходен процес на изключване на вакуумен контактор



Фиг.5. Времедиаграми на захранващи ток (1) и напрежение (2), получени от изправителя

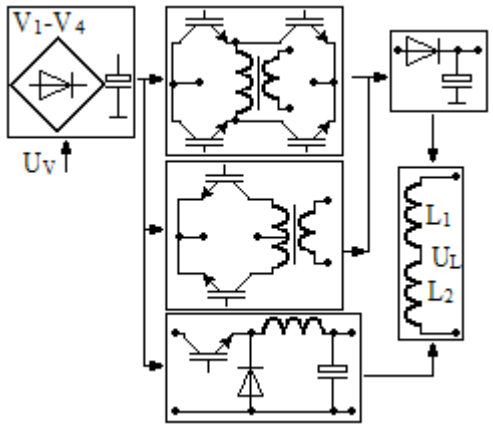


Фиг.6. Времедиаграми на ток (1) и напрежение (2) на сработване на оперативен контакт K1



Фиг.7. Времедиаграми на ток (1) и напрежение (2) на управляващата бобина в момент на изключване на контактора

Блоковата схема на експериментално изследвания AC-DC преобразувател е показана на фиг.8. Разглежданата задача е реализирана с няколко типа схеми: мостова, полумостова, схема с обща точка, еднотранзистрна със и без трансформатор, управляем изправител и др. Всяка от тях е приложима за управление на контактора. Изборът им следва да се съобрази по допълнителни показатели: икономически; технологични, свързани с изработката и монтажа при реконструкция; електротехнически, определени в зависимост типа на апарата; масо-габаритни и др.

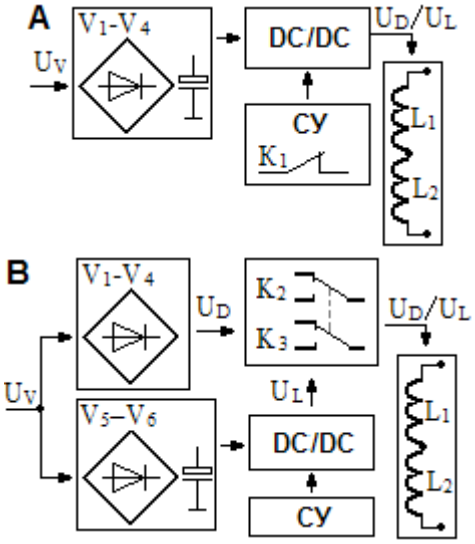


Фиг.8. Блокова схема на използваните архитектури на импулсни преобразуватели за захранване бобините на контактора

Интерес представляват начините на управление на оперативната верига и превключването между напреженията, приети по-горе: UD – в момента на включване на апарата и UL – върху бобините в установено включено състояние. На фиг.9 са показани два подхода за това превключване:

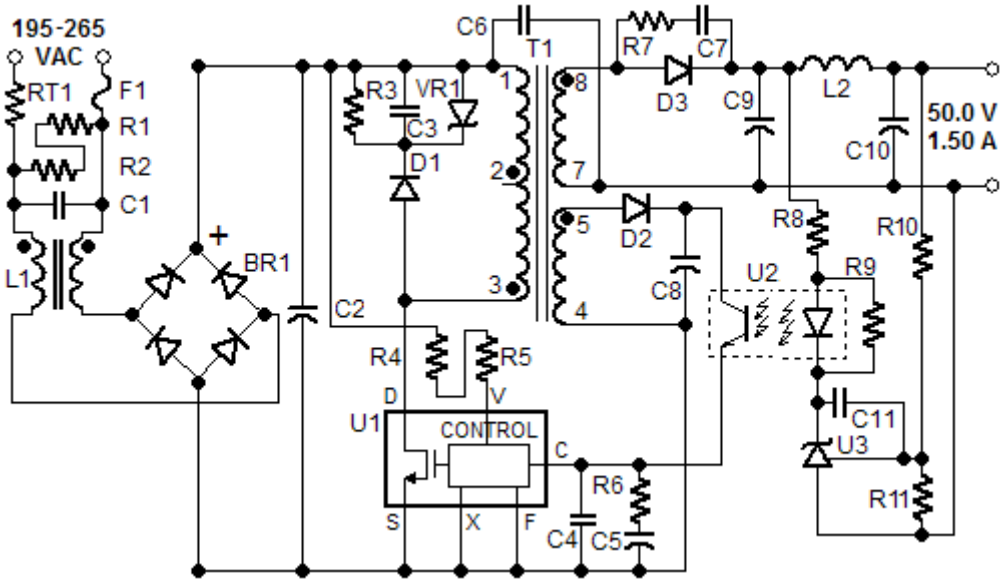
Фиг.9.А – двете напрежения се получават от преобразувателя. Оперативният контакт К1 (или друг от клеморед Х1 – фиг.2), въздейства върху системата за управление (СУ). В този случай двете напрежения се получават от DC-DC преобразувателя.

Фиг.9.В – DC-DC преобразувателя работи на константно изходно напрежение UL. Превключването между UD и UL се прави от оперативната контактна система, като се използват два превключващи контакта К2 и К3 – фиг.2. Тук схемата е показана в общ принципен вид, като следва да се съобрази, че е необходимо да се предотврати самопуска на апарата.



Фиг.9. Блокова схема за управление на вакуумния контактор. А – превключване между напрежения UD и UL чрез схемата за управление (СУ); В – превключване между напрежения UD и UL чрез комутация от превключващи оперативни контакти К2 и К3 – фиг.2.

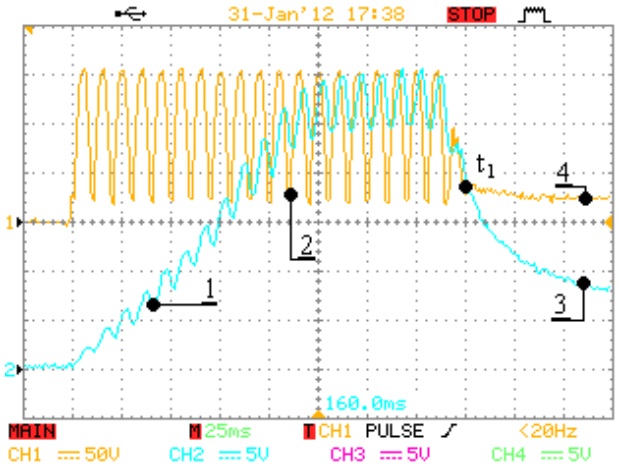
На фиг.10 е предложена принципна схема, базирана на продуктите на Power Integration [9]. Същата е оразмерена чрез използване на специализиран софтуер PI Expert, като елементите са дадени в табл.2. Входните данни при оразмеряването са: захранващо променливо напрежение, изходни постоянни ток и напрежение и тип на комутиращия елемент, съответстващ на консумираната мощност. Изследванията са проведени чрез използване на превключването между двата източника, показано блоково на фиг.9.В. Окончателно, процесът на включване на вакуумния контактор е показан на фиг.11 графики 1,2 – ток и напрежение (U_V) и 3, 4 – ток и напрежение от преобразувателя. След точка t_1 контакторът е във включено положение и се захранва от схемата на фиг.10.



Фиг.10. Принципна схема на захранващ източник, базиран на TOPSwitch

Табл. 2. Стойности на елементите от схемата на фиг.10

Означение	**Стойности**
BR1	DF06M; 600V; 1A
C1	330nF; 275VAC
C2	68µF; 400V
C3	3,3nF; 1kV
C4	0,1µF; 50V
C5	47µF; 10V
C6	2,2nF; 250VAC
C7	20pF; 1kV
C8	10µF; 50V
C9	330µF; 160V
C10	100µF; 63V
C11	33nF; 50V
D1	FR106; 800V; 1A; 250ns
D2	MUR110; 100V; 1A; 30ns
D3	UF5404; 400V; 3A; 75ns
F1	265VAC; 1A
L1	6mH; 1,6 A
L2	3,3µH; 2,66A
R1, R2	1,1MΩ; 5%; 0,25W
R3	24kΩ; 5%; 2W
R4, R5	4,7MΩ; 5%; 0,25W
R6	6,8Ω; 5%; 0,125W
R7	510Ω; 5%; 0,25W
R8	1580Ω; 1%; 0,125W
R9	1kΩ; 5%; 0,125W
R10	115kΩ; 1%; 0,125W
R11	6,04kΩ; 1%; 0,125W
RT1	NTC Термистор; 10Ω; 1,7A
T1	EER28L
U1	TOPSwitch-HX; TOP255EN
U2	LTV817A; 35V; CTR80-160%;
U3	TL431 2,495V, TO-92
VR1	P6KE200A 200V; 5W; DO-204AC



Фиг.11. Времедиаграма на величините при включване на вакуумния контактор, чрез превключване между мостовия изправител (ток – 1, напрежение – 2) и преобразувателя (ток – 3, напрежение – 4)

III. ИЗВОДИ

Реализираните схемни решения показват, че преработката на оперативната схема (фиг.2) на вакуумния контактор чрез замяна на резисторите с преобразувател, води до значително понижаване на собствените загуби на апарата. С това се повишава енергийната ефективност на контактора, както и на цялата комплексна разпределителна уредба, отделно захранвано съоръжение и т.н.

Проведените експериментални изследвания налагат заключението, че за разглежданата задача е допустимо да се използват преобразуватели с различна архитектура: мостов или полумостов тип, схема с обща точка и др. В случая особени изисквания към типа на преобразувателя не се поставят, тъй като изискваните електрически показатели на

захранващата схема са твърде скромни за съвременната елементна база. Всяка от изследваните типове схеми (фиг.8) е приложима за захранване на контактора, като изискванията към избора им могат да се поставят предимно по икономически показатели или изисквания, свързани с конкретната реализация. Въпреки това в разработката е предложено използване на продуктовата гама на Power Integration, базирана на TOPSwitch. Коефициентът на полезно действие на преобразуватели от изследвания тип е в граници 85÷95 %, с което загубите в оперативната верига съществено намаляват.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Драгомиров Т. И, Ячев. Електрически апарати високо напрежение. София 1994.
[2] Юдов. Д, В. Вълчев. Преобразувателна техника. ТУ-Варна 2005.
[3] Юдов. Д, В. Вълчев. Токозахранващи устройства. ТУ-Варна 2008.
[4] http://abb.com/
[5] http://forca.ru/
[6] http://www.rpromresurs.ru/,
[7] http://promportal.su/
[8] http://www.elec.ru/
[9] http://www.powerint.com/

За контакти:
доц. д-р инж. Борислав Димитров – ТУ-Варна, катедра "Електротехника и електротехнологии". Работи в областите електрически апарати, електортехнологии и енергийна ефективност.
проф. д.т.н. инж. Димитър Димитров – работи в областите електрически апарати, електротехнологии и енергийна ефективност.
ас. д-р инж. Ангел Маринов – ТУ-Варна, катедра "Електронна и микропроцесорна техника", работи в областите силовата електроника, микропроцесорна техника и енергийна ефективност.
ас. д-р инж. Георги Николов - ТУ-Варна, катедра "Електронна и микропроцесорна техника", работи в областите силовата електроника, микропроцесорна техника и енергийна ефективност.

Благодарности:
Настоящата публикация е разработена по проект към Фонд Научни Изследвания "Повишаване на енергийната ефективност и оптимизация на електротехнологични процеси и устройства", номер МУ03 163

Рецензент:
доц. д-р инж. Бохос Апрахамян - ТУ-Варна

ИНТЕЛИГЕНТНА СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА НА СИЛОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ

INTELLIGENT SYSTEM FOR MONITORING AND DIAGNOSIS OF POWER TRANSFORMERS

Стефка Г. Кантурска, Любомир В. Димитров

Резюме: Настоящият доклад представя експертна интелигентна система, с която изкуствено могат да се диагностицират множество повреди в силовите трансформатори чрез информационен модел на размити множества.
Ключови думи: анализ; разтворени газове; размити множества; силови трансформатори

Abstract: This paper present an expert system using Artifical Inteligence Techniques wich can diagnose multiple faults in transformer theoretical and practical with fuzzy-logic information model.
Keywords: dissolver gas analysis; fuzzy logic, power transformers

I. ВЪВЕДЕНИЕ

В процеса на експлоатацията в резултат на въздействието на различни фактори, режими и условия на работа състоянието на електрообзавеждането и най-вече на мощните силови трансформатори се влошава и нараства вероятността за възникване на повреди. От друга страна непрекъснато се наблюдава тенденция към амортизиране и „остаряване" на тези съоръжения, а сроковете на експлоатация им достигат краен предел. Като най-нови се считат методите за интелектуализация на процеса на обработка на диагностичната информация с използване на експертни системи, чрез които се осигурява подобряване на качеството на разпознаване и прогнозиране на техническото състояние и ресурса на обекта.

II. ЕКСПЛОАТАЦИОНЕН РЕСУРС НА СИЛОВИТЕ ТРАНСФОРМАТОРИ

Графиката на повредите или „кривата на живота" на всеки конкретен трансформатор е силно растяща след изтичане на нормирания срок от производителя. В Табл.1 е показано съотношението на трансформаторите с продължителен срок на експлоатация за някои промишлено развити страни.

Табл. 1. Срок на експлоатация на трансформаторите

Страна	Относителен дял	Срок на експлоатация на трансформаторите
Япония	30%	Повече от 30 години
САЩ	65%	Повече от 25 години
Русия	75%	Повече от 20 години

Удължаване на сроковете на експлоатация до 30-40 години е възможно при грамотно обслужване, стриктно следене на състоянието на трансформаторите и своевременно откриване и отстраняване а развиващите се дефекти. Срок на служба 50 години вече се приема за критичен [1], а по-нататъшната експлоатация на високоволтовите трансформатори представлява неоправдан риск. Ежегодните повреди на такива трансформатори варират от 1 до 8%, като броят на повредите нараства с „остаряването" на трансформаторите.

В Табл. 2 са показани причините за възникване на повреди в трансформаторите. Хроматографският анализ на газовете, разтворени в маслото, позволява тези повреди да се открият още в ранен етап от развитието им и да се определи степента на съществуващата повреда. По такъв начин се откриват процеси на йонизационно стареене [1], (частични разряди, искрови и дъгови разряди), процеси на термична деструкция на изолацията, предизвикани от прегряване и др.

Съдържанието на фуранови производни в маслото позволява да се оцени степента на полимеризация на целулозата, което предизвиква намаление на механическата якост на хартиената изолация. Основните газове, които характеризират някои видове повреди в трансформатора са: метан, (CH_4), етан (C_2H_6); етилен (C_2H_4); ацетилен, (C_2H_2), водород, (H_2); въглероден оксид (CO) и въглероден диокис (CO_2). Приведените системи за оценка на състоянието на трансформаторното масло не са

свързани с продължителността на експлоатация и са практически едни и същи за целия

Табл.2. Относителен дял на причините за повреди

Причини	Проценти
Технологически нарушения от старене на материалите	22
Дефекти в конструкцията	19,4
Недостатъци по време на експлоатацията	34,8
Странични въздействия	10,3
Непредвидени режими в мрежата	5,8
Дефекти на ремонта	4,2
Климатични и външни въздействия	3,5

експлоатационен период. Граничните значения на показателите не само че не са постоянни по време на експлоатация, но те не са свързани с режимите на работа на трансформатора. Така съществуващата система за диагностика не позволява да се открият трансформатори с анормално стареене на маслото в ранен стадий на експлоатация, т.е. дотогава когато тези показатели твърде рано са достигнали своите пределни стойности. Това е съществен недостатък. Съществуват различни методи за интерпретация на резултатите от анализа: метод на ключовите газове, методики на IEC; IEEE; на Rogers, Doernenburg; Duval и др.

Методът на „ключовите" газове позволява чрез анализ да се открият 4 типични повреди: прегряване на целулозата; прегряване на маслото, искрене и корона. При метода на IEC599 се използват отношенията на газовете: CH_4/H_2, C_2H_4/C_2H_6 и C_2H_2/C_2H_4. Интерпретацията на резултатите се извършва само ако концентрацията на газовете над определеното ниво и с достатъчно чувствителна апаратура. Понастоящем е въведена нова редакция на IEC 60599, използваща по-малък брой повреди (5 вместо 9 от стария вариант). Като спомагателен критерий се използва отношението на газовете CO_2/CO показваща наличие на стареене на хартията.

Методиката на IEEE (Стандарт ANSI/IEEE Std C57.104-1991) използва съотношенията между газовете ,посочени в стандарта на IEC 60599, отчитайки концентрациите на газовете и особено на горящите газове, без сравняване с предишните измервания и без отчитане на историята на експлоатация на трансформатора.

Методът на Rogers използва същите съотношения между газовете. Дефинират се кодове на посочените съотношения и правила за диагностика на повредите. Методът на Rogers и методът на IECса придобили популярност в инженерната практика.

Методът на Duval ,известен като „триъгълник" на Duval включва 3 въглеводородни газа CH_4 C_2H_4 и C_2H_2. Тези газове се генерират в резултат на повишаване на енергийното ниво на трансформаторното масло по време на експлоатация. Вследствие на това се оформят 6 зони на повреди и междинна зона, в която се смесват електрически и термични повреди. Индикацията на повредите е показана в Табл.3.

Когато се използват известните класически методи за интерпретация на газовия анализ могат да се появят различни тълкувания на причините за повреди .Често се получава едновременно действие на няколко причини и смесване на показателите за откриване на повредата. От всички причини трябва да се дефинира най-главната, което е особено трудно.

Традиционните системи за оценка на техническото състояние на трансформаторното масло имат някои недостатъци:

1. Винаги се предвижда задължителен обем на изпитвания и проверки на параметрите като техническото състояние на трансформатора се оценява чрез сравняване на стойностите на показателите с нормирани допустими техни стойности.

2. Отсъства пряка зависимост между контролируемите параметри и функционалната работоспособност на трансформатора.

3. Съществува възможност за неточна диагноза и неоправдани действия - излишно сушене, неправилна интерпретация на сигналите за частични разряди и др.

4. Излишен обем изпитания

5. Въпреки проведените проверки остават неоткрити дефекти вследствие замърсявания на междунавивковата изолация, лоши контактни съединения и др.

6. Практическа невъзможност за прогнозиране на бъдещото състояние на трансформатора и неговия остатъчен ресурс.

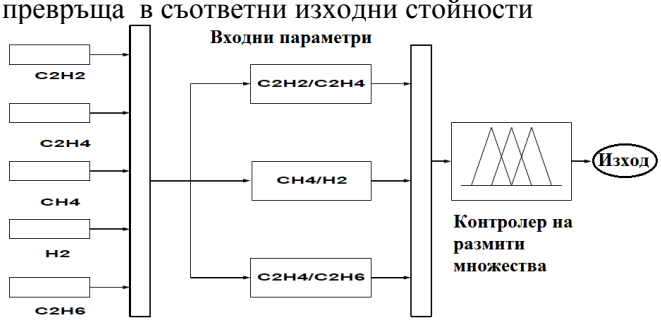
Табл.3. Индикация на повреди чрез анализ на разтворените газове.[2]; .[7]

Откриване на газ	**Ключова индикация**	**Второстепенна индикация**
H_2(водород)	корона	Дъга, прегряване на маслото
CH_4(метан)		Корона, дъга и прегряване на маслото
C_2 H_6(етан)		Корона и прегряване на маслото
C_2 H_4(етилен)	Прегряване на маслото	Корона, дъга, частични разряди
C_2 H_2(ацетилен)	Дъга, частични разряди	Силно прегряване на маслото
CO(въглероден оксид)	Прегряване на целулозата	Дъга, ако повредата засяга и целулозата
CO_2(въглероден диоксид)		Прегряване на целулозата и искрене ако неизправността засяга целулозата
O_2(кислород)		Индикатор за система от течове или промени в температурата и налягането

III. ПРИЛОЖЕНИЕ НА РАЗМИТА ЛОГИКА ПРИ ДИАГНОСТИКА НА ПОВРЕДИТЕ В ТРАНСФОРМАТОРИТЕ

Понастоящем широко се използват експертните системи за мониторинг на състоянието на силовите трансформатори. Методите за приемане на решение се основават на традиционните системи за диагностика, което е съществен недостатък. Наблюдава се противоречие между използването на съвременни информационни системи и измервателните средства и методи за обработка на получената информация.[1];[2].

Прилагането на метода Fuzzy Logic (размитата логика) е подход за решаване на проблемите при диагностика на трансформаторните повреди, чиито причини са много сложни, взаимно обвързани и неясни. В тази връзка може да се ползва Контролер на размити множества (фиг.1). Най-често моделът на размитата логика включва въвеждане на група входни величини или параметри на изследваната система под форма на лингвистични променливи. В случая входните величини са т.нар. **кодове.** Функцията на принадлежност характеризира субективната оценка на експерта и неговата увереност ,че в диапазона 0-1 на всяко значение на входната величина съответства „размит терм”-ниско, средно, високо и т.н. На практика най-разпространени са функции на принадлежност с триъгълно, трапецовидно, гаусово изображение [6];[7]. Въз основа на експертни изводи и строги правила се прилагат стратегии за контрол ,които се изразяват с елементарни заключения. Размитият резултат се „дефузифицира” и превръща в съответни изходни стойности



Фиг.1. Модел на размита логика за диагностика на повреди .[3]

Въз основа на значителен опит, натрупан в целия свят, след многобройни резултати от анализ на газове в трансформаторното масло Международната Електротехническа комисия IEC (*International Electrotechnical Commission*) е приела кодове за допустимите съотношения на газовете и възможността за диагностициране на повредите съобразно тези кодове.

Табл.4. Кодове на газовите съотношения според IEC[5]

Съотношение	Диапазон	Код
C_2H_2/C_2H_4	$x < 0,1$ $0,1 \le x \le 3,0$ $x > 3,0$	0 (ниско) 1(средно) 2(високо)
CH_4/H_2	$x < 0,1$ $0,1 \le x \le 1,0$ $x > 1,0$	1 (ниско) 0 (средно) 2(високо)
C_2H_4/C_2 H_6	$x < 1$ $1,0 \le x \le 3,0$ $x > 3,0$	0 (ниско) 1 (средно) 2(високо)

Представените в Табл.4 кодове се използват при формулиране на правилата за диагностика на системата. Всяко правило се изгражда по схемата „IF-THEN" или ("АКО-ТОГАВА") Например: *Ако съотношението C_2H_2/C_2H_4 е 0 (ниско),а CH_4/H_2 и C_2H_4/C_2H_6 са високи (2), тогава повредата е прегряване при температура >700°C (ПРЕГР2)"*

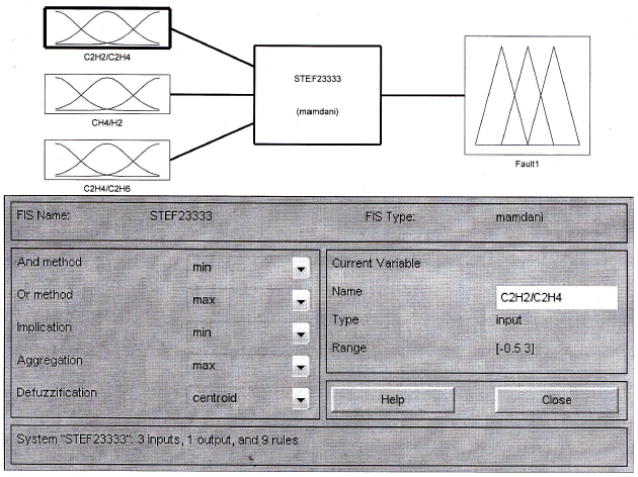
Табл.5. Класификация на повредите според рейтинг кодове на IEC [4,5]

№	Тип на повредата	Означение	C_2H_2/C_2H_4 ацетилен/етилен	CH_4/H_2 метан/водород	C_2H_4/C_2H_6 етилен/етан
1	Температурна повреда <150°C	ТП1	0	0	1
2	Температурна повреда 150°C- 300°C	ТП2	0	2	0
3	Температурна повреда 300° - 700°C	ПРЕГР1	0	2	1
4	Температурна повреда > 700°C	ПРЕГР2	0	2	2
5	Искрене с малка мощност	И1	1 или 2	0	1 или 2
6	Искрене с голяма мощност	И2	1	0	2
7	Частични разряди с малка мощност	ЧР1	0	1	0
8	Частични разряди с голяма мощност	ЧР2	1	1	0
9	Нормално състояние	НОРМ	0	0	0

С помощта на програмен продукт MATLAB са моделирани функциите на принадлежност на газовите съотношения и възможните повреди в трансформатора по методите на **Mamdani (1975г.) и Sugeno (1985г.).** Тези два метода са еднакви в много отношения. Основната разлика между тях е,че изходните функции на принадлежност при Sugeno са линейни или константни, докато при Mamdani изходните функции на принадлежност са размити множества. В изложението по-долу са представени последователно етапите на прилагане на размита логика за генериране на извод (fuzzy inference).

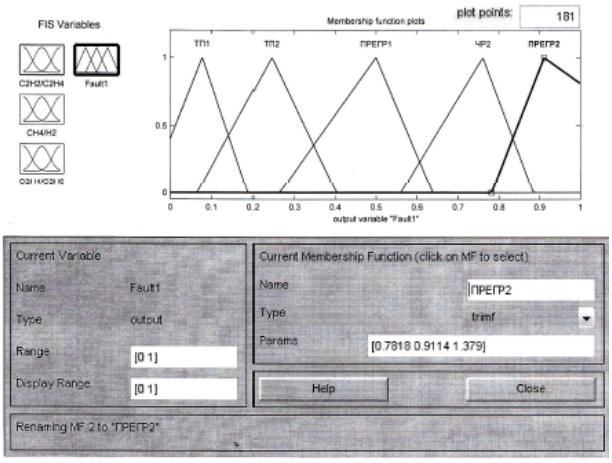
1. Извод по метода на Mamdani

Наименованията на термите съответстват с означенията на повредите в Табл.5. На фиг.2. е даден пример за представяне на размити входове на съотношенията между газовете: $\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$; $\frac{CH_4}{H_2}$ и $\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$.За всеки вход се дефинират лингвистични променливи „ниско"; "средно"; "високо",чиито диапазони на изменение съответстват на кодовете на IEC, дадени в Табл.4.

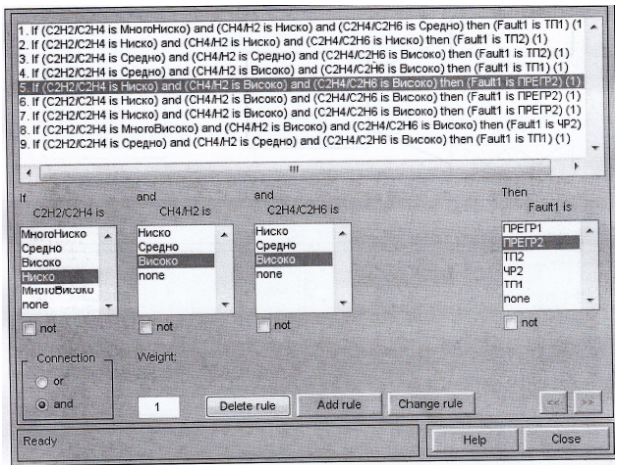


Фиг.2. Размити входове FIS оператора

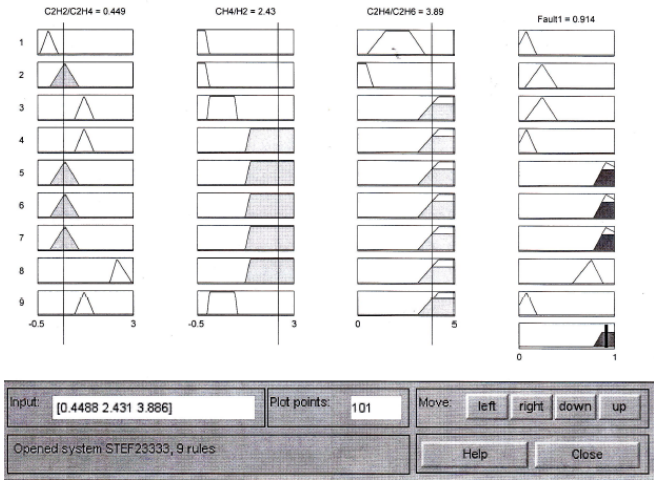
Изходната функция на принадлежност (фиг.3) на повредите е съобразена с класификацията на повредите, дадена в Табл.5. Въз основа на визуалното наблюдение на графиките се формулират „правила" и съответните комбинации от терми, необходими за определяне на логичния извод (фиг.4). На фиг.5 е показан прозорец, с който се визуализира размития извод.



Фиг.3. Размит изход на FIS оператора по метода на Mamdani



Фиг.4. Правила за формулиране на логичния извод по метода на Mamdani

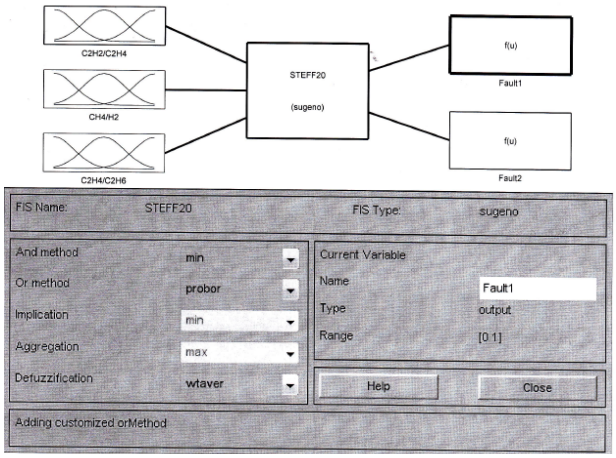


Фиг.5. Прозорец,с който се визуализира размития извод по метода на Mamdani

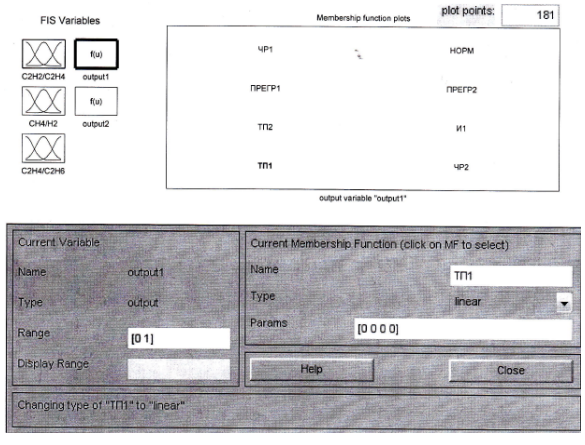
Агрегацията на изводите е процесът на обединение на следствията от всички правила. Последната стъпка е генериране на извод за изходните променливи (defuzzification). Резултатът трябва да е точно число. Методът на Mamdani може да се използва директно както при системи с много размити входове и един размит изход. Така и за системи с много размити входове и много размити изходи.

2.Извод по метода на Sugeno

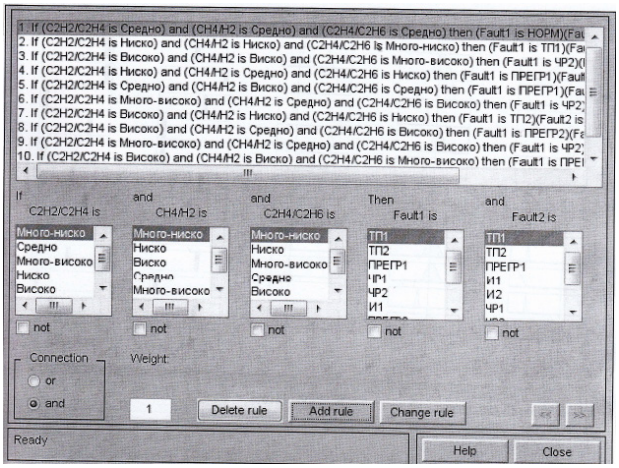
Методът на Sugeno използва т.нар. ”претеглена” средна стойност за генериране на изходните променливи. При този метод се отчитат коефициентите на тежест (теглата) на всяка отделна изходна променлива. Входните променливи и при двата метода са еднакви. Разликата е във вида на десните страни на правилата-при Mamdani те са размити множества, а при Sugeno-константа. Системите по Mamdani използват отсичане, а тези по Sugeno – мащабиране. За генериране на извода по Mamdani се използва центърът на тежестта, докато при Sugeno - изводът се генерира като средно претеглена стойност.



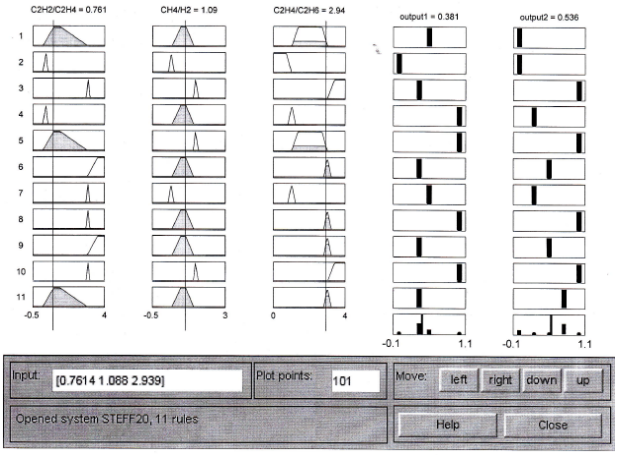
Фиг.6. Размити входове по метода на Sugeno



Фиг.7. Възможни варианти на повредите, дефинирани като изходни параметри



Фиг.8. Правила за формулиране на извода по метода на Sugeno



Фиг.9. Прозорец,с който се визуализират два извод по метода на Sugeno

Прогнозните резултати от размитите системи по метода на Mamdani са сравнени с експериментални данни от реален трансформатор. В Табл.6 са посочени данни от измерените количества на газовете чрез хроматографски анализ.

Табл.6. Газови съотношения от повреда на реален трансформатор [3]

H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
175	340	179	825	40
	C_2H_2/C_2H_4 0,048	CH_4/H_2 1,94	C_2H_4/C_2H_6 4,6	

Съпоставката на резултатите с кодовете от Табл.4 и класификацията на повредите от Табл.5 показва, рейтинг на кодовете 0;2;2, което съответства на температурна повреда ПРЕГРЯВАНЕ 2 при T>700°C. Точност на твърденията по метода на Mamdani съвпада с 90% спрямо повредите в реалния трансформатор.

IV. ИЗВОДИ

1. И двата метода дават сравними изводи. Методът Mamdani е по-широко използван, защото извежда достатъчно добри резултати; има опростена структура и лесна за интерпретация същност на правилата. Методът на Сугено е много по-подробен и ефективен при решаване на оптимизационни задачи. Той може да бъде интегриран с ANFIS редактор за прилагане на невронни мрежи при оптимизиране на изводите.

2. Използването на апарата на размитите множества е перспективно направление за решаване на проблема за оценка на техническото състояние на силовите трансформатори, отчитайки обективно съществуващата неопределеност, непълнота и „размитост" на причините за повредите.

3. Методите за интелектуализация на процеса на обработка на диагностичната информация с използване на експертни системи, чрез които се осигурява подобряване на качеството на разпознаване и прогнозиране на техническото състояние и ресурса на обекта, трябва непрекъснато да се прилагат и усъвършенстват.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Алексеев,Б.А."Контроль сост. (диагностика) крупних силовых трансфор". Изф.НЦ,ЭНАС2002

[2]. БондаренкоВ.Е.и др."Анализ традиционной системы оценки состояния трансформаторных масел в баках трансформаторов напряжением 330кВ". Изд.ХПИ,2010.

[3]. Dhote,N.K.Helonde,J.B."Diagnosis of Power Transformer Faults based on Five Fuzzy Ratio Methods WSEAS TRANSACT. on POWER SYSTEMS Juli,2012

[4]. IEEE Guide for Interpretation of Gases Generated in Oil Immersed Transformer.ANSI/IEEE,Standard C57.104^{TM}2008-Febr.2009.

[5]. IEC 60599- Mineral oil-impregnated electrical equipment in service - Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis-15-05-2007.

[6]. Muhamad,N.A.Phung,B.T.;Blackburn,T.R.-"Fuzzy Logic Application in Evaluation of DGA Iterpretation Methods"Vol.2 N1, March 2009

За контакти:

д-р инж. Стефка Г. Кантурска, гл.ас. Катедра "Строителство на сгради и съоръжения" на ВСУ-„Черноризец Храбър" Варна, кв. Чайка № 2, sgkanturska@abv.bg

д-р инж. Любомир Димитров, доцент в Катедра "Електротехника и електротехнологии" при ЕФ на ТУ-Варна. lubo.dimitrov@mail.bg

Рецензент:

доц. д-р инж. Маргрета Василева, ТУ-Варна

СИМУЛАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОНЕН ПУСКОВО РЕГУЛИРАЩ АПАРАТ ЗА ГАЗОРАЗРЯДНИ ЛАМПИ

SIMULATION STUDY OF STARTING AND ADJUSTING ELECTRONIC DEVICE FOR DISCHARGE LAMPS

Минчо Ф. Пеев, Димитър И. Димитров

Резюме: Изследвана е схема на електронен пусково регулиращ апарат (ЕПРА) със специализирана ИС- IR2156, осигуряваща регулиране на пусковия процес на лампата. Изследването е проведено за 2 луминесцентни лампи, като параметрите са определени чрез програмния продукт “Ballast Designer” на Iinternational Rrectifier. Проведени са симулационни изследвания в програмна среда PSpice за характерни моменти от пусковия и работен режим на луминесцентната лампа. Определени са токът и напрежението на лампата при: подгряване на електродите; в момента на запалване; в установен работен режим. Определени са характерни величини при повреда (отказ) на една от двете лампи.
Ключови думи: газоразрядна лампа, електронен пусково регулиращ апарат, ЕПРА, електронен баласт, луминесцентна лампа

Abstract: It is studied an electrical circuit of a starting and adjusting electronic device with specialized ballast control IC IR2156 that ensures discharge lamps' starting regulation. The study was carried out for two fluorescent lamps and the parameters were determined by the software "Ballast Designer" of International Rectifier Company..
The simulation studies about specific moments of starting regime and operation mode of fluorescent lamps were conducted in programming environment PSpice. The current and the voltage of lamps were determined as follows: at the time of preheating of electrodes; at the moment of ignition and during established operation mode. There were determined a peculiar quantities in case one of the two lamps is damaged..
Keywords: discharge lamp, ballast control, fluorescent lamp, PSpice

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Решаването на проблемите за енергийната ефективност в осветителната техника изисква все по-широко внедряване на ЕПРА и свързаните с тях процеси за управление и защита. Това се постига с приложение на многофункционални интегрални схеми (ИС), чиито параметри са адаптирани към специфичните режими на луминисцентните лампи: управление на пусковия режим и съгласуваност с работния, осигуряване в ЕПРА и лампата при експлоатацията синусоидалност на величините, работа при многолампови свързвания и др. [1, 2, 3]. Посоченото изисква решаване на много вариантни задачи при различни параметри и топологии на схемите, за което е подходящо използване на симулационни модели.

II. СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ЕПРА И ИЗСЛЕДВАНЕ

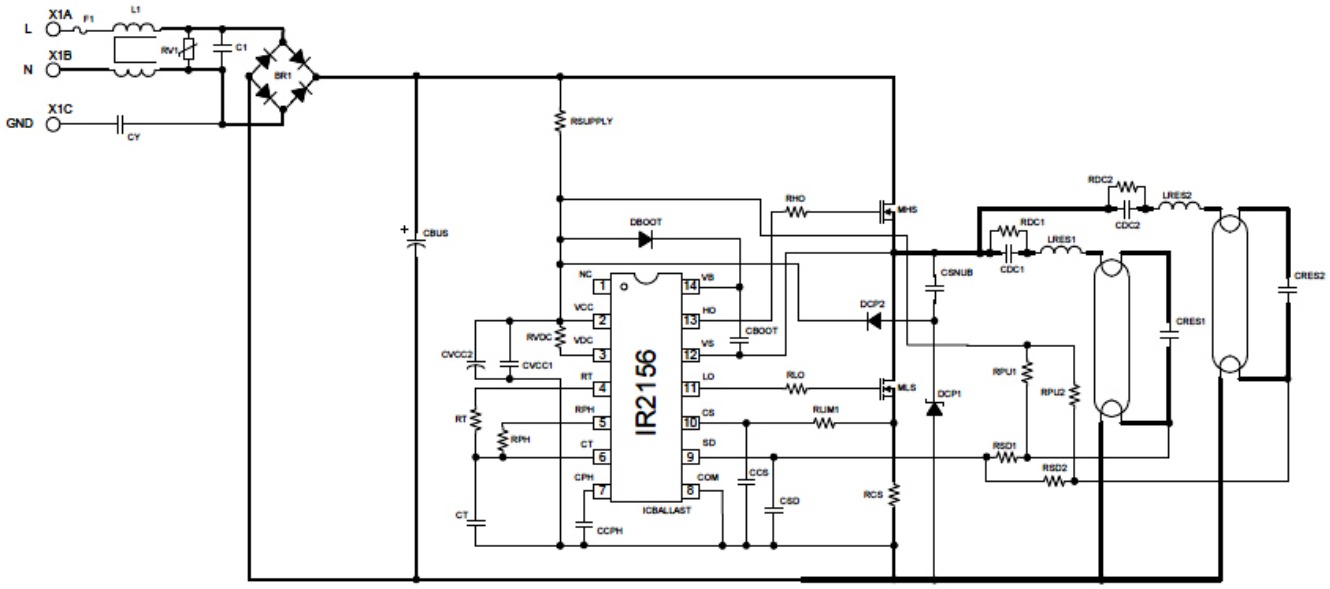
Симулационният модел на ЕПРА е създаден въз основа на схемно решение на високочестотен електронен баласт за луминесцентни лампи, базирано на произвежданата от IR специализирана ИС IR2156. Същата представлява високоволтов полумостов драйвер с програмируем осцилатор и логическа схема за управление на електронен баласт за луминесцентни лампи [2]. Основните функционални особености на IR2156 са: програмируеми честота и време на подгряване на електродите, работната честота; защити по ток, от незапалване на лампата и отсъствие на подгряване, възможност за автоматичен рестарт.

1. Синтез на електрическа схема на ЕПРА.

Проектирането на електрическата схема на ЕПРА е извършено чрез четвърта версия на програмния продукт “Ballast Designer” на фирмата International Rectifier [4]. Синтезирането на ЕПРА може да бъде извършено за интегралните схеми: IRS21571D/ 2168D/2166D/2158D/2530D; IR2156/2161/ 21592; IR2520D. Програмата генерира принципна електрическа схема на преобразувателя за избраната интегрална схема, в зависимост от захранващото мрежово напрежение, типа и мощността на луминесцентна лампа (TC-EL/DEL/T; PL-L; T5/8/12), броя и начина на свързване на

лампите. В изходния файл на програмния продукт се извеждат стойностите на всички елементи на схемата. За индуктивността LRES на резонансния трептящ кръг се представят конструктивните параметри. На фиг.1. е представена принципната схема на ЕПРА, изграден с интегралната схема IR2156, захранващ луминесцентни лампи тип Т8 с мощност 36W. Лампите са свързани паралелно на кондензаторите на товарните трептящи кръгове, изградени от бобините LRES1, LRES2 и кондензаторите CRES1, CRES1.

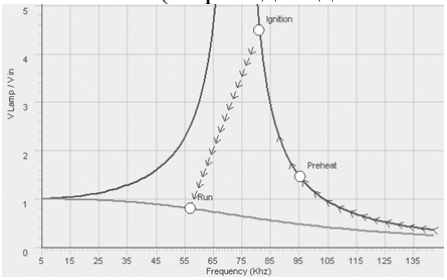
Основните параметри на проектираната схема са: LRES1=LRES2=1mH; CRES1= CRES2=4,7 nF; Uзахр.= (185 - 285) VAC; резонансна честота на последователния трептящ кръг – 73,4 kHz; стартова честота - 120,3 kHz; честота при подгряване на електродите - 95,3 kHz; честота на запалване на лампата - 56,8 kHz; амплитудни стойности на напреженията на лампата: при подграване на електродите -3 00 Vpk, при запалване - 800 Vpk; в установен режим – 144 Vpk; съпротивление на лампата в запалено състояние – 304,9 Ω.



Фиг. 1. Принципна схема на ЕПРА

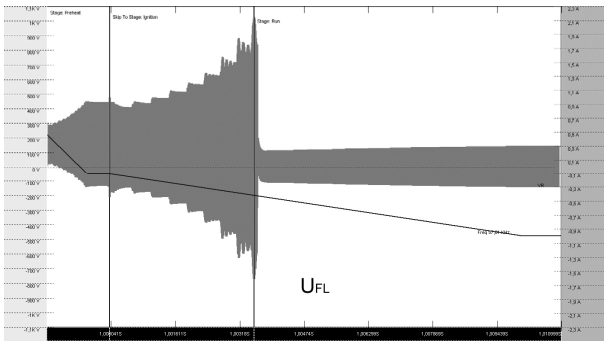
Повишаването на експлоатационните параметри на лампата изисква подгряване на електродите до температура 1300 ºK, следващо подаване на високо напрежение за запалване и установяване на работните напрежение и ток на лампата [5]. Тези изисквания се удовлетворяват чрез промяна честота на генерираното напрежение и правилен избор на напрежението на лампата във всеки момент от работата, както и стойностите на елементите на последователните товарни трептящи кръгове LRES1-CRES1 и LRES2-CRES2 . По време на подгряването дъгата между електродите не е запалена и съпротивлението на лампата RLAMP е безкрайно голямо. След запалване на лампата, паралелно на кондензатор CRES се установява съпротивлението на лампата RLAMP.

Програмният продукт генерира времедиаграми от момента на включване до установен режим на лампата за: токовете през индуктивността LRES и кондензатора CRES.; напрежението и тока през лампата. Получените от програмата времедиаграми позволяват прецизно настройване на схемата. На фиг.2. е представена предавателната функция на товарния трептящ кръг с характерни работни точки: подгряване, запалване, установен режим. В прехода от запалване към работен режим се намалява работната честота (с преход от дясно на ляво).

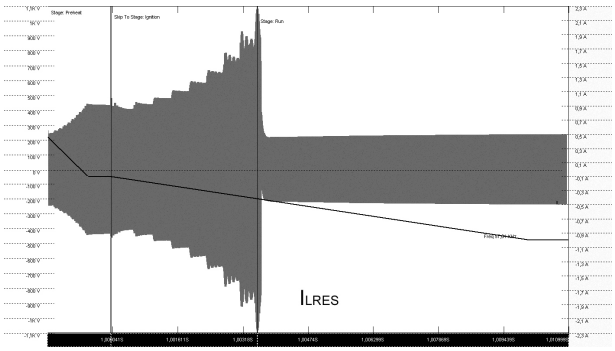


Фиг.2. Предавателна функция VLamp/Vin за товарния RLC трептящ кръг с характерни работни точки за IR2156,L=1,00 mH, C=4,7nF

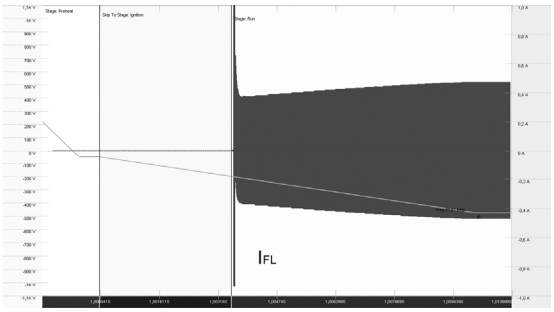
На фиг.3. са представени времедиаграми за напрежението върху лампата и честотата, генерирани от програмния продукт “Ballast Designer”. Токът на индуктивността LRES по време на подгряване на електродите, запалването и в работен режим е показан на фиг.4., а на фиг.5.- токът на лампата.



Фиг.3. Времедиаграма на напрежението на лампата и на честотата



Фиг.4.Времедиаграма на тока през бобината на товарния трептящ кръг



Фиг.5. Времедиаграма на тока през лампата

Характерни моменти от времедиаграмите са:

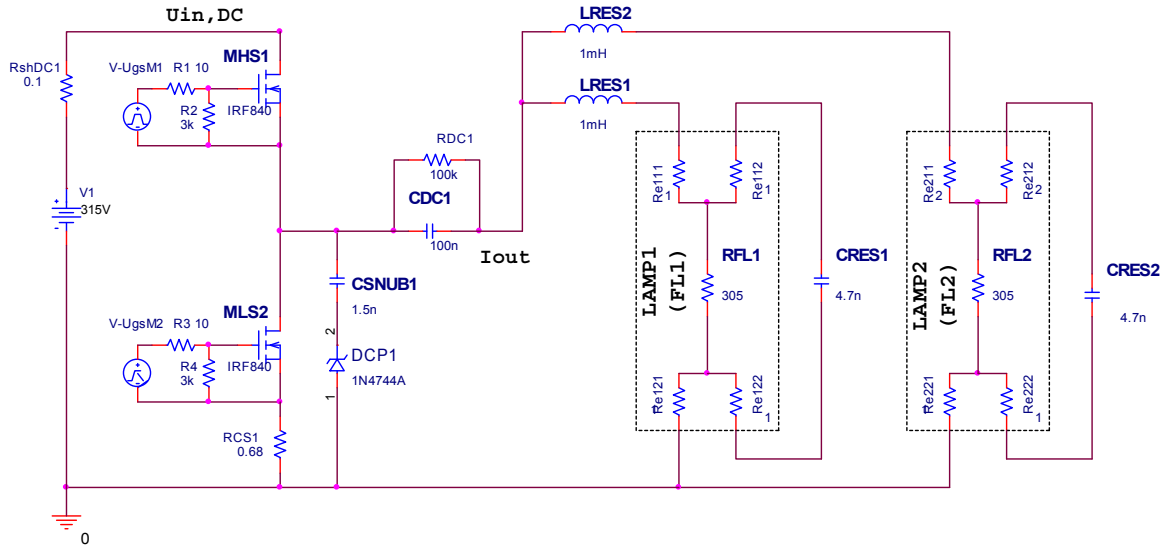
- стартиране на лампата и установяване напрежение на подгряване на електродите;
- плавно повишаване напрежението на лампата при подгряване на електродите;
- подаване на повишено напрежение за запалване на лампата;
- запалване на лампата и достигане на работните й параметри (ток и напрежение).

Времедиаграмите оценяват продължителността на отделните етапи от стартиране на лампата и стойностите на електрическите величини за всеки един от тях, които са определящи за износването на електродите.

2. Симулационен модел.

Симулационният модел на ЕПРА е създаден с помощта на програмния продукт OrCAD чрез графичния му редактор Cadence OrCAD Capture [6]. Чрез симулатора Cadence PSpice се осигурява изчислителният апарат за анализ работата на ЕПРА .

Принципната схема на симулационния модел е посочена на фиг.6.

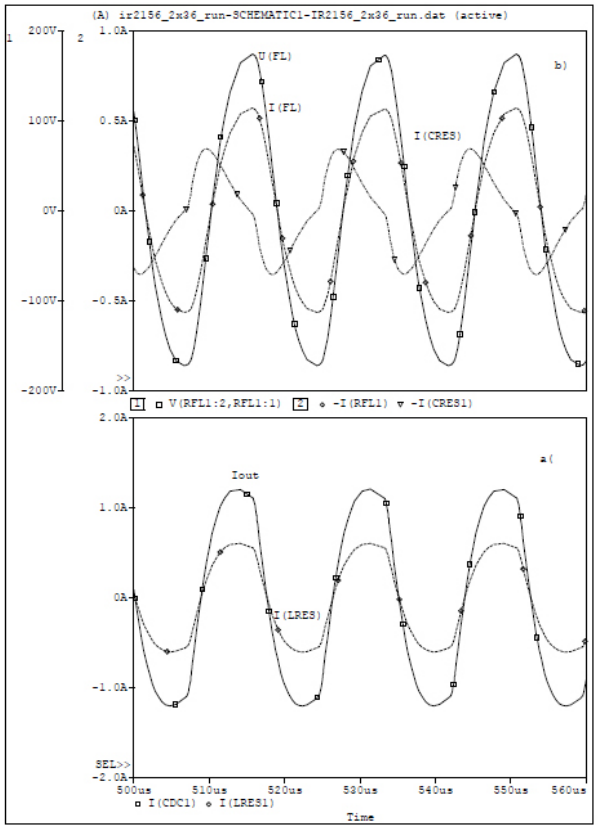


Фиг.6. Симулационен модел в PSpice

Основните елементи на полумостовия квазирезонансен инвертор са: MOSFET транзисторите MHS1 и MLS2, работещи в ключов режим, разделителен кондензатор CDC1, последователните товарни трептящи кръгове LRES1 – CRES1 и LRES2 – CRES2, като луминисцентните лампи FL1 и FL2 са свързани паралелно на кондензаторите. Газоразрядните лампи FL1 и FL2 са представени със съпротивлението на лампата RFL1 и RFL2 и съпротивленията на отопляемите електроди Re. Чрез източниците на импулсно напрежение V-UgsM1 и V-UgsM2 се подават управляващи импулси на ключовите транзистори MHS1 и MLS2. Управляващите импулси симулират изходните напрежения (изводи HO и LO) на ИС IR2156.

3. Експериментални резултати.

Посредством създадения модел в програмната среда PSpice са проведени симулационни изследвания за характерни моменти от пусковия и работен режим на луминисцентните лампи. Определени са токът и напрежението на лампите при подгряване на електродите, в момента на запалване и в установен режим. На фиг.7. са представени получените резултати от симулацията в установен режим.



Фиг.7. Времедиаграма в установен режим

На фиг.7.a. са показани времедиаграмите на тока (Iout), захранващ товарните трептящи кръгове и тока (ILRES1) през веригата на лампа FL1. Напрежението върху лампата (UFL1), нейният ток (IFL1) и токът през кондензатора на трептящия кръг (ICRES1) са илюстрирани на фиг.7.b.

Получените резултати от симулационните измервания са систематизирани в табл.1. За характерни моменти от подгряване на електродите, запалване на лампата и установен режим са измерени изходния ток Iout, напрежението и тока на лампата (UFL1 и IFL1) и тока през кондензатора ICRES1. Стойностите на величините за втората лампа FL2 са идентични с тези за FL1 и не са показани в таблицата.

Табл.1. Опитни резултати от симулационните изследвания (*Забележка: Величините са представени с амплитудна стойност)

Величини		Подгряване		Запалване			Уст. реж.
f	kHz	117,65	95,6	91,32	84	81,7	57,1
Iout	A	1,01	1,96	2,44	4,34	5,86	1,20
I_{LRES1}	A	0,506	0,986	1,23	2,15	2,90	0,606
I_{FL1}	A	0	0	0	0	0	0,569
I_{CRES1}	A	0,506	0,987	1,23	1,19	2,90	0,34
U_{LAMP1}	V	282	469	572	983	1300	169

Аналогични измервания на изследваните величини са извършени на база генерираните от софтуера “Ballast Designer” времедиаграми (фиг.3., фиг.4. и фиг.5.). Резултатите са представени в табл.2. В таблицата е представено времето t, позволяващо определяне момента на получаване на величините спрямо стартиране на схемата.

Табл.2. Резултати от времедиаграмите, генерирани от “Ballast Designer” (*Забележка: Величините са представени с амплитудна стойност)

режим	f	I_{LRES1}	I_{FL1}	I_{CRES1}	U_{LAMP1}	t
-	kHz	A	A	A	V	s
подгря-ване	117,5	0,53	0	0,53	228	0,0001
	95,6	0,92	0	0,92	447	0,0010
запал-ване	91,3	1,01	0	1,01	480	1,0010
	83,9	1,58	0	1,58	740	1,0030
	81,8	2,20	0	2,20	1120	1,0035
устано-вен режим	81,5	1,90	0,96	0,88	871	1,0036
	72,2	0,48	0,42	0,06	130	1,0060
	57,0	0,50	0,47	0,03	148	1,0100

3.1. Адаптиране на PSpice модела

Анализът на резултатите за работата на ЕПРА от симулационния модел (табл.1) и генерираните времедиаграми от програмния продукт "Ballast Designer" (табл.2) показват добри резултати от симулациионните изследвания за режима на подгряване и за установения режим на работа на лампата. За режима на запалване има значителни разлики в получените резултати. Режимът на запалване на ЛЛ се характеризира с първоначално възникване на тлеещ разряд. По време на неговото действие съпротивлението на лампата се променя от безкрайно голяма до стойност, съответна на запалена лампа при възникването на дъговия разряд. Тази промяна не е отразена в табл.1. За адаптиране на PSpice модела са извършени симулационни изследвания за честотите на запалване, като е променяно съпротивлението на лампата. Резултатите от измерванията са представени в табл.3.

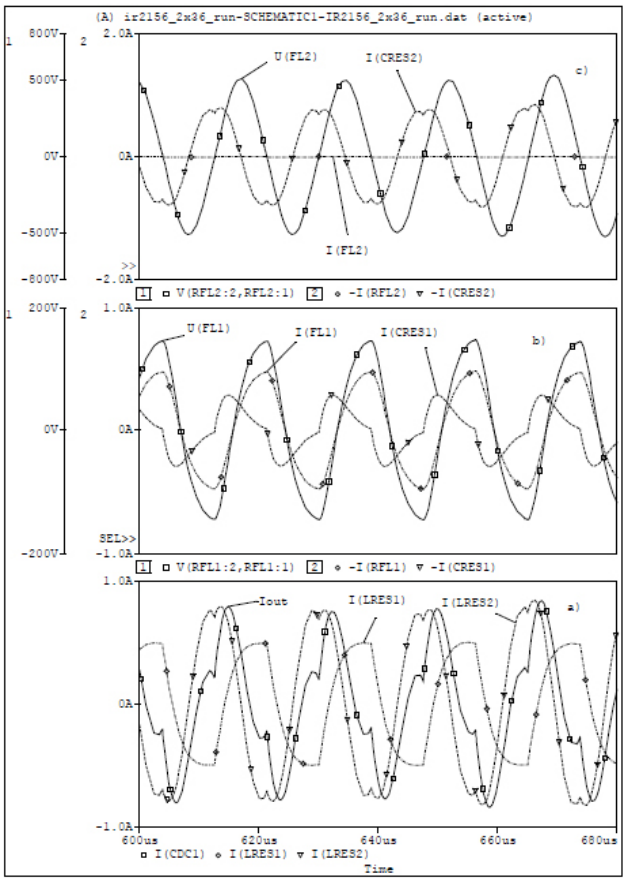
Табл.3. Адаптиране на PSpice – модела

f, kHz	91,32		84,3		81,7		
R_{LAMP}, kΩ	100	**30**	30	**7**	**10**	7	2
U_{FL}, V Pspice	518	**477**	868	**744**	**1099**	943	610
I_{FL}, A Pspice	0,005	0,016	0,029	0,105	0,055	0,143	0,304
U_{FL}, V BalDes	480		740		1120		

Анализът на резултатите от направените измервания за адаптиране на модела на лампата в режим на запалването й показва подходящите стойности за съпротилвението й: 1) За честота 91,32 kHz $R_{LAMP} = 30k\Omega$; 2) За честота 84,3 kHz $R_{LAMP} = 7k\Omega$; 3) За честота 81,7kHz $R_{LAMP} = 10k\Omega$. При тези стойности на съпротивление на лампата в процеса на запалване, напрежението върху нея съответсва на получените стойности от програмата "Ballast Designer".

3.2. Изследване при авариен режим

Чрез създадения симулационен модел е извършено изследване за сравнително най-неблагоприятния сценарий на работа на ЕПРА – отказ на една от лампите. На фиг.8. са представени времедиаграмите за тока и напрежението на елементите в установен режим при отказ (незапалване) на едната лампа. Токът на изхода на преобразувателя Iout и токът през двата трептящи кръга ILRES1 и ILRES2 са показани на фиг.8.a. На фиг.8.b. са посочени за запалената лампа напрежението върху нея (UFL1), тока на лампата (IFL1) и тока през кондензатора на трептящия кръг (ICRES1). За незапалената лампа съответните величини са илюстрирани на фиг.8.c. Получените резултати за стойностите на изследваните величини са представени в табл.4.



Фиг.8. Характерни величини при отказ на едната лампа

Табл.4 Стойности на електрическите величини при отказ на едната лампа

f	kHz	57,1
Iout	A	0,757
I_{LRES1}	A	0,5
I_{LRES2}	A	0,764
I_{FL1}	A	0,48
I_{FL2}	A	0
I_{CRES1}	A	0,287
I_{CRES2}	A	0,764
U_{LAMP1}	V	146
U_{LAMP2}	V	511

Констатациите от проведените измервания са:

- стойностите на измерваните величини, получени от симулационния модел, са близки до стойностите получени от програмния продукт за проектиране на електронен баласт (Табл.1 и Табл.2);
- за времето на подгряване на електродите, запалване на лампата и работен режим тока в двата товарни резонансни кръга са във фаза;
- при отказ на едната лампа, токовете в товарните резонансни вериги са дефазирани (фиг.8);
- веригата на незапалената лампа работи при по-голям ток от работещата лампа (Табл.3);
- напрежението върху резонансния кондензатор на незапалената лампа е повишено (Табл.3);
- наличието на незапалена лампа води до повишено токово натоварване и високи напрежения върху елементите на съответния контур (Табл.3).

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създаденият симулационен модел на ЕПРА в програмната среда PSpice позволява изследване на всички режими на работа на разглеждания квазирезонансен електронен баласт – подгряване на електродите, момента на запалване, установен режим на лампата.

При ЕПРА за две газоразрядни лампи, отказът на едната лампа поражда повишено токово натоварване и високи напрежения върху елементите на съответния контур. Работата в такъв режим е нежелателна и апаратът трябва да бъде изключен при величини за настройка, съответстващи на тези от извършената симулация.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Infineon Technologies AG, Smart Ballast Control IC for Fluorescent Lamp Ballasts, February 2006, www.infineon.com.

[2] International Rectifier, IR2156PbF BALLAST CONTROL IC, datasheet, www.irf.com

[3] Thomas J. Ribarich and John J. Ribarich, Time Domain Modelling of Ballast Resonant Converters, 2003, www.irf.com.

[4] Peter Green, Ballast Design Software, 2002, www.irf.com.

[5] МЕК 929.1990-12 Електронни баласти, захранвани на променлив ток за тръбни луминесцентни лампи.

[6] Гаджева Е., Т. Куюмджиев, С. Фархи, М. Христов, А. Попов, Компютърно моделиране и симулация на електронни и електрически схеми с Cadence Pspice, София, 2009 г.

За контакти:

инж. Минчо Пеев, главен асистент Катедра ”Електротехника, електроника и автоматика” при ИПФ-Сливен на ТУ-София, гр.Сливен, бул. Бургаско Шосе №59, e-mail: mfpeev@abv.bg

д.т.н. инж. Димитър Димитров, професор Катедра ”Електротехника и електротехнологии” при ЕФ на ТУ-Варна., e-mail: prof_dimitrov@abv.bg

Рецензент:

доц. д-р инж. Маргрета Василева, ТУ-Варна

СЕКЦИЯ

- **ВЪЗОБНОВЯЕМИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ И ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ**

SECTION

- **RENEWABLE ENERGY SOURCES AND ENERGY EFFICIENCY**

ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРАТА НА ПОЧВАТА ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ЗАЗЕМИТЕЛНИ МРЕЖИ В ДВУСЛОЙНА ПОЧВЕНА СРЕДА

EARTHING GRID DESIGN IN THE TWO SOIL STRUCTURE

Росица Ф. Димитрова, Маргрета П. Василева, Маринела Й. Йорданова

Резюме: В този доклад, на основа на опростения метод за отчитане на двуслойната структура на почвата, разработен от авторите в [3], е изследвано влиянието на структурата и геометрични показатели на почвата върху максималното допирно напрежение на заземителни инсталации, изпълнени като мрежи.
Ключови думи: двуслойна почва, максимално допирно напрежение, защитно заземяване, заземителни мрежи

Abstract: The influence the structure and geometry of the soil on the maximum touch voltage of earthing systems implemented as networks are studied in this report. The study was based on a simplified method of accounting for two-layer soil structure developed by the authors in [3].
Keywords: mesh voltage, earthing grid, protective earthing, two layers soil

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Заземителните устройства на електрическите уредби с напрежение над 1000 V в мрежи с ефективно заземена неутрала се изпълняват в съответствие с изискванията за [1]:

1. допустимо съпротивление или допустимо допирно напрежение;
2. конструктивно изпълнение и ограничаване на напрежението на заземителното устройство.

Напрежението на заземителното устройство като правило не превишава 10 kV при протичане през заземителното устройство на тока на земно съединение.

Когато заземителното устройство се изпълнява по изискванията за допустимо допирно напрежение при протичане през заземителното устройство на тока на земно съединение, допирното напрежение не трябва да превишава нормираните стойности през който и да е период на годината. Съпротивлението на заземителното устройство се изчислява по допустимото напрежение и тока на земно съединение.

За да се определят нормираните стойности на допустимо допирно напрежение е добре да се използва стандарт IEEE Std 80-2000 [2], който е основно ръководство за проектиране на заземителни инсталации в електрически подстанции. В настоящата статия са представени резултати от изследване на влиянието на двуслойна структура на почвата върху максималното допирно напрежение за изпълнение на условието за допустимо допирно напрежение при проектиране на заземителни мрежи.

II. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДОПУСТИМО ДОПИРНО И КРАЧНО НАПРЕЖЕНИЕ

Стойностите на допустимите допирни и крачни напрежения за времена на изключване на повредата в уредби 110 kV и 400 kV са дадени в таблица 1.

Резултатите са получени при спазване на изискванията на [1] – наличие на покритие от чакъл с ρ_s = 2000 Ωm и дебелина на покритие h_s от 10 до 20 cm, тегло 70 kg.

Табл. 1. Допустими допирни и крачни напрежения съгласно [2]

110 kV	t_s=0,15 s	
	h_s=10cm	h_s=20cm
Etouch,V	1256,7	1439
Estep,V	3810,5	4540
t_s=0,3 s		
	h_s=10cm	h_s =20cm
Etouch,V	888,6	1017
Estep,V	2694	3210

400 kV	t_s=0,1 s	
	h_s=10cm	h_s =20cm
Etouch,V	1539	1762
Estep,V	4670	5560
t_s=0,12 s		
	h_s=10cm	h_s =20cm
Etouch,V	1405	1609
Estep,V	4260	5076

При проектиране на заземителни устройства за уредби високо напрежение съгласно [2] максималното допирно напрежение в рамките на заземителната мрежа E_m трябва да бъде по-малко от допустимото допирно напрежение Etouch. В [3] е предложен

опростен метод за отчитане на двуслойна структура на почвата на базата на стойността на максималното допирно напрежение Em, с прилагане на изчислителната процедура на стандарта [2] и отчитане на еквивалентното специфично съпротивление на почвата.

Уравнението за максималното допирно напрежение [2] е:

$$E_m = \frac{\rho . K_m . K_i . I_G}{L_m} = K_G . I_G \qquad (1)$$

I_G –максимален ток през заземителната мрежа, A; K_G, V/A

K_m, K_i, L_m - се пресмятат по формули по [1] от (81) до (91);

ρ - еквивалентно специфично обемно съпротивление за двуслойна среда [3], Ωm;

K_m - пространствен фактор за допирното напрежение, опростен метод;

K_i - корекционен фактор за геометрията на мрежата, опростен метод;

L_m - ефективна дължина $L_C + L_R$

L_R - сумарна дължина на всички електроди, m

L_C - цялата дължина на хоризонталните връзки.

Еквивалентно специфично обемно съпротивление се определя като [3]:

$$\rho_e = \frac{D}{\frac{1}{\rho_n}\left(D - \sum_{i=1}^{n-1} h_i\right) + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{h_1}{\rho_1}} \qquad (2)$$

Където hi е дебелината на i-тия слой и D е дълбочината на проникване, което зависи от размерите на заземителната уредба и ρi е специфичното съпротивление на i-тия слой. Препоръчителните стойности на D са между 30 и 50 м. Уравнение (3) за двуслойна почва е:

$$\rho_{e1,2} = \frac{D}{\frac{1}{\rho_2}(D - h_1) + \frac{h_1}{\rho_1}} \qquad (3)$$

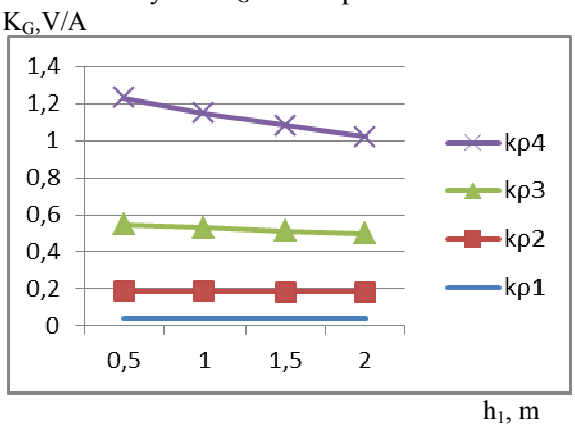
III. ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРАТА НА ПОЧВАТА ВЪРХУ МАКСИМАЛНОТО ДОПИРНО НАПРЕЖЕНИЕ ПРИ ДВУСЛОЙНА СРЕДА

Таблица 2 представя изследваните случаи, които обхващат над 300 ситуации на заземителни мрежи, без вертикални електроди и различни съотношения между ρ_1 и ρ_2. За да се направи сравнение между ситуациите, когато E_m се изчислява само с един слой на почвата (ρ_1 или ρ_2) и еквивалентно специфично съпротивление са добавени „случаи за сравнение“ в таблица 2. Коефициентът K_G е определен за заземителни мрежи с квадратна (S) или правоъгълна (R) форма. Изследвани са мрежи от S16 до S256 и от R16 до R256, като числото след буквата показва броя на клетките в мрежата. Прието е ρ_1=100 Ωm, а ρ_2=50, 200, 500, 1000 Ωm . Мрежата е поставена на дълбочина h = 0,7 m, а дебелината на горния слой е h_1 = 0,5 m, 1m, 1,5 m и 2 m.

Табл. 2. Изследвани случаи

Размери, *m*	kρ= ρ_1/ρ_2	Случаи за сравнение	h_1,m
Заземителни мрежи с квадратна форма без заземителни електроди S16, S64, S144, S256 h= 0,7m			
50x50	1/10 1/5 1/2 2	ρ_{ekv}= ρ_1	0,5 1,0 1,5 2,0
100x100		ρ_{ekv}= ρ_2	
200x200			
Заземителни мрежи с правоъгълна форма без заземителни електроди R16, R64, R144, R256 h= 0,7 m			
Размери, *m*	kρ= ρ_1/ρ_2	Случаи за сравнение	h_1,m
50x100	1/10 1/5 1/2 2	ρ_{ekv}= ρ_1 ρ_{ekv}= ρ_2	0,5 1,0 1,5 2,0
100x200			
200x400			

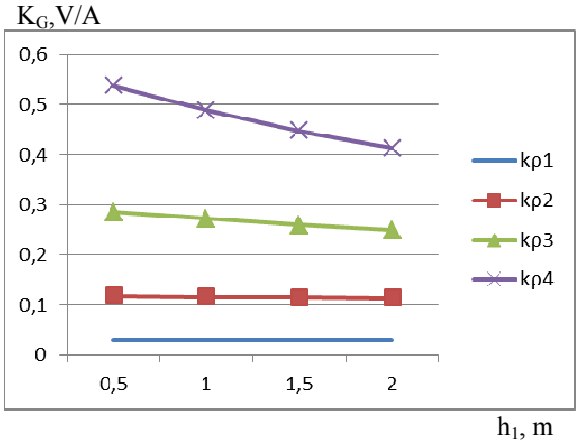
На фиг. 1 са представени резултатите за K_G,V/A за квадратна мрежа и за различни стойности на съотношението ρ_1/ρ_2. Вижда се, че при стойности на kρ много по- малки от 1 (случай 4) K_G намалява с около 30 %, докато в останалите случаи K_G не се променя.



Фиг. 1. K_G за квадратна мрежа К144 с размери 100x100 m

kρ1 = 2 (ρ1= 100 Ω.m, ρ2 = 50 Ω.m);
kρ2 = 0,5 (ρ1= 100 Ω.m, ρ2 = 200 Ω.m);
kρ3 = 0,2 (ρ1= 100 Ω.m, ρ2 = 500 Ω.m);
kρ4 = 0,1 (ρ1= 100 Ω.m, ρ2 = 1000 Ω.m)

На фиг.2 са представени резултатите за K_G,V/A за правоъгълна мрежа и за различни стойности на съотношението ρ_1/ρ_2. И тук се потвърждава извода, направен за данните от фиг.1.

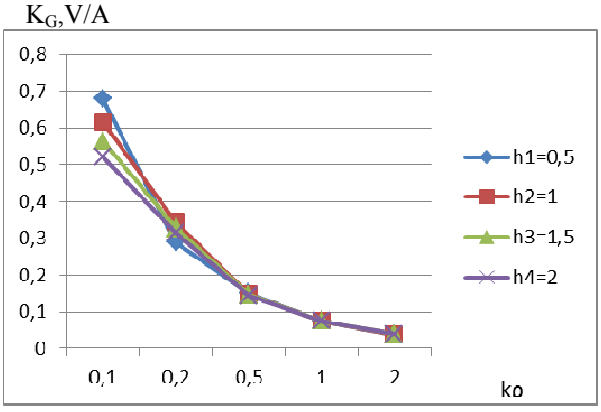


Фиг. 2. K_G за правоъгълна мрежа П144 с размери 100x200 m

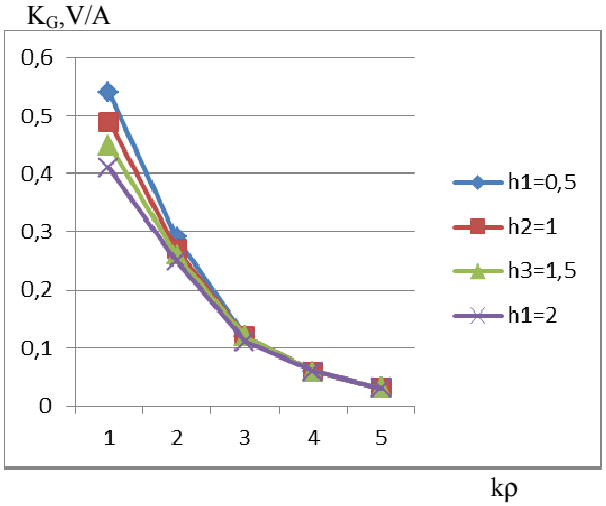
kρ1 = 2 (ρ1= 100 Ω.m, ρ2 = 50 Ω.m);
kρ2 = 0,5 (ρ1= 100 Ω.m, ρ2 = 200 Ω.m);
kρ3 = 0,2 (ρ1= 100 Ω.m, ρ2 = 500 Ω.m);
kρ4 = 0,1 (ρ1= 100 Ω.m, ρ2 = 1000 Ω.m)

На фиг.3 са представени резултатите за K_G,V/A за квадратна мрежа и за различни стойности на дебелината на горния слой. Вижда се, влиянието на дебелината на горния слой е значимо за всички стойности на kρ. K_G намалява с около 6-7 пъти при случаите, когато стойностите на ρ_1 и ρ_2 не се различават съществено.

Този извод се потвърждава и за правоъгълното изпълнение на заземителните мрежи (фиг.4) .



Фиг. 3. K_G за квадратна мрежа К144 с размери 100x100 m

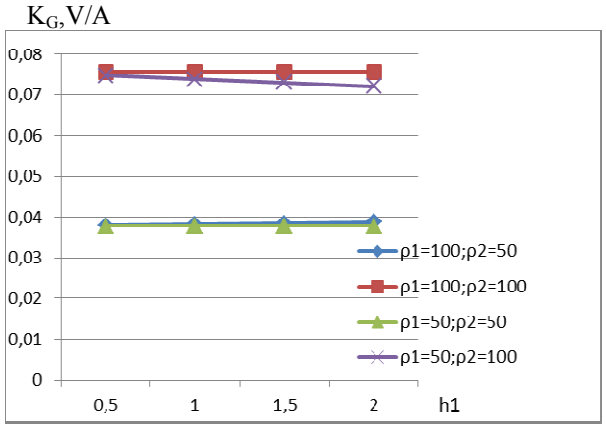


Фиг. 4. K_G за правоъгълна мрежа П144 с размери 100x200 m

На фиг.5 са представени резултатите за K_G,V/A за квадратна мрежа и за различни стойности на дебелината на горния слой h_1. Направено е сравнение между случая, когато се работи с еквивалентното обемно съпротивление по (3) и тези, при които се работи само със специфичното обемно съпротивление на горния слой, т.е:

- Сравнение между реалния случай ρ_1=100 Ωm, а ρ_2=50 Ωm и този, при който се приема $\rho_1=\rho_2$=100 Ωm.
- Сравнение между реалния случай ρ_1=50 Ωm, а ρ_2=100 Ωm и този, при който се приема $\rho_1=\rho_2$=50 Ωm.

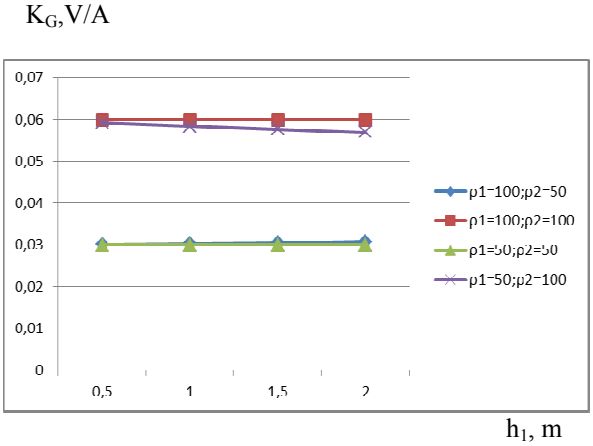
Грешката е значима- около 100 %.



Фиг. 5. K_G за квадратна мрежа К144 с размери 100x100 м.

1случай: ρ_1= 100 Ω.m, ρ_2 = 50 Ω.m; 2 случай: ρ_1= 100 Ω.m, ρ_2 = 100 Ω.m; 3 случай: ρ_1= 50 Ω.m, ρ_2 = 50 Ω.m

Този извод се потвърждава и за правоъгълното изпълнение на заземителните мрежи (фиг.6) .



Фиг. 6. K_G за правоъгълна мрежа П144 с размери 100x200 m
1случай: ρ1= 100 Ω.m, ρ2 = 50 Ω.m;
2 случай: ρ1= 100 Ω.m, ρ2 = 100 Ω.m
3 случай: ρ1= 50 Ω.m, ρ2 = 50 Ω.m

IV. ИЗВОДИ

От проведените изследвания могат да се направят следните изводи:

1. Максималното допирно напрежение не зависи от дебелината на горния слой при дълбочина на полагане h = 0,7 = const за случаите, когато $\rho_1 > \rho_2$.
2. За останалите случаи резултатите в тази статия (фиг. 5 и фиг.6) потвърдиха необходимостта да се използва опростения метод за отчитане на двуслойния характер на почвата при изчисляване на еквивалентно специфично съпротивление за намаляване на грешката при определяне на и максималното допирно напрежение E_m.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Наредба №3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии (ДВ бр. 90 и 91/2004 г.).
[2]. IEEE Std 80- 2000, IEEE Guide for safety in AC Substation Grounding
[3]. Yordanova M., M. Vasileva, R. Dimitrova, Analysis of the Mesh Voltage Calculation Method in the Presence of a Two-Layer Soil, ICEST 2013.

За контакти:

инж. Росица Димитрова, асистент в Катедра ”Електроенергетика” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 824Е
д-р инж. Маргрета Василева, доцент в Катедра ”Електроенергетика” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 804Е
д-р инж. Маринела Йорданова, доцент в Катедра ”Електроенергетика” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 206Е

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването е в рамките на проект, финансиран от Държавния бюджет на тема „Изследване на процеси във вторични вериги за управление и защита” в ТУ -Варна.

Рецензент: доц. д-р Ангел Врангов

MULTIFUNCTIONAL ENERGY EFFECTIVE LED LAMP

Petko H. Mashkov, Berkant S. Gyoch, Hristo I. Beloev and Stanislav M. Penchev

Abstract: Investigations deals with design of energy effective multifunctional lamp for interior and outdoor lighting. For light source InGaN/GaN SAMSUNG LEDs (11 W) with long-time reliability are chosen. Characteristics of high - flux SAMSUNG LED modules allow creating lightweight construction which light flux can be changed in wide range and can be used as lamp for general lighting of a living room (light flux about 800 ÷ 1600 lm) or illuminator for small yard (light flux about 1500 ÷ 2000 lm). The goals in this work are connected with proper choice of LEDs, heat sink and LEDs' drivers. At chosen number of LED arrays luminous flux at different operating conditions is evaluated. Evaluations of LEDs' thermal loading and temperature distribution on LED arrays and heat sink at different operating currents and different ambient conditions are made. Temperature distributions measurements are carried out using infrared camera ThermaCam E300 – FLIR Systems. Applications of experimental results in the design process allow achieving all design goals and can guarantee that developed light equipment will have long lifetime even at heaviest operation conditions.

Keywords: Power LEDs; LEDs' thermal management.

I. INTRODUCTION

High power LEDs possesses a lot of advantages in comparison to other light sources. Luminaire efficacy of most LEDs exceeds 100 lm per watt; LEDs' light characteristics may be chosen in dependence of preferences of the clients. Correlated colour temperature may vary in wide range – 3500 K ÷ 5000 K up to 10000 K (warm white, neutral white, cool white). Colour rendering index for LEDs' light usually is over 75. The long lifetime of LED is remarkable [1 – 3]. Lighting–class LEDs do not fail catastrophically like light bulbs. Instead, they can provide at least 50000 hours of useful lifetime before they degrade below 70% of their initial light output. Application of LEDs in light equipment reduces the environmental impact of light – no mercury, less power – plant pollution, less handful waste. LEDs' light equipments possess additional advantages – when it is switched on no time is necessary to reach to nominal luminous flux (in contrast to CFL, for example); number of cycles on/off don't influence on the lifetime of light equipments (in contrast to CFL); by proper dimming light output of the LEDs lamps can be changed in very wide range.

To take full advantage of the benefits of LEDs, proper thermal management must be understood and employed. A main cause of LED failures is improper thermal management. Many performance characteristics of LED components are influenced by the operating temperature [1]. Some performance characteristics experience a recoverable change, such as light output, colour and voltage, while others, such as lifetime, can experience a non-recoverable degradation due to high operating temperatures [1]. However, exceeding the maximum operating temperature specification, which is typically a 150°C junction temperature, can cause permanent and/or catastrophic damage to LEDs, so care must be taken to operate LEDs below this limit.

II. PROBLEM STATEMENT

Process for designing high-power LEDs into luminaires includes [1]:

1. Define lighting requirements. The lighting requirements must be defined before establishing the design goals. The luminous flux, illuminance distribution and electrical power consumption are always critical for luminaire, while other characteristics may or may not be important, depending on the application. The "potentially important" characteristics are: price, lifetime, operating temperatures, color temperature, CRI, manufacturability, ease of installation, etc.

The aim of this work is connected with design of energy effective multifunctional light equipment which can be used as: lamp for general lighting of a living room (light flux about 800 ÷ 1600 lm) or illuminator for small yard (light flux about 1500 ÷ 2000 lm).

2. Define design goals. When defining the lighting requirements, the critical design goals will be related to light output and power consumption. It is better to include other design goals that may also be important for the target application, including operating environment, cost, lifetime, etc. Design goals for the example LED luminaire are: light output 800 ÷ 2000 lm; power (excluding driver) less than 60 W; efficacy

more than 35 lm/W; lifetime >50,000 hours; CCT 4,000 K (1122 lm) CRI >80;; maximum ambient temperature 40°C.

3. Estimate efficiencies of the optical, thermal and electrical systems. An LED's luminous flux depends on a variety of factors, including drive current and junction temperature. To accurately calculate the necessary number of LEDs, the inefficiencies of the optical, thermal and electrical systems must be estimated first [1]. Optical system efficiency is estimated by examining light loss. There are two main sources of light loss: secondary optics and light loss within the fixture. For the example luminaire it is acceptable the optical efficiency to be about 91% [1].

Thermal loss. LEDs will decrease in relative flux output as junction temperature (Tj) rises. LED data sheets include a chart showing the relative light output versus junction temperature. In dependence of operating current, ambient temperature and ability of heat sink to dissipate heat LEDs' junction temperature can be calculated and the light flux decrease can be estimated.

Electrical loss. Typical LED drivers have efficiencies between 80% and 90%.

4. Calculate the number of LEDs needed. Actual lumens needed: with all the system efficiencies estimated, the actual number of LED lumens required to achieve the design goals can be calculated. For this calculation, only the light efficiencies (optical and thermal) are used [1].

Actual Lumens Needed = Target Lumens/(Optical Efficiency*Thermal Efficiency) [1].
Number of LEDs = Actual Lumens Needed / Lumens per LED [1].

5. Consider all design possibilities and choose the best.

6. Complete final steps - Building one prototype (or several) is a valuable way to validate the design. Verify that the optical, thermal and electrical systems perform as they should. Test how easy the unit is to assemble. Test the prototype to make sure it achieves all the design goals, etc.

III. RESULTS

1. Calculations

To achieve this wide range of light flux it is very important to choice proper LEDs with high light efficiency. To meet the lighting requirements (800 ÷ 2000 lm) High- Flux LED Arrays Samsung LED, SPHWWTHDD805WHV0ED with light output 800 ÷ 900 lm at 460 mA and 1122 lm at 620 mA (Tj = 25°C) are chosen [2].

Usually for thermal managements calculations and junction temperature estimations the thermal resistance model, described in [1], is used – Fig. 1.

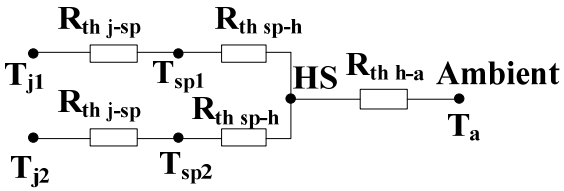


Figure 1. Thermal circuit of an LED lamp.

Where: - T_j is the junction temperature; $R_{th\ j\text{-}sp}$- thermal resistance from junction to solder point; $R_{th\ sp\text{-}h}$- thermal resistance from solder point to heat sink; $R_{th\ h\text{-}a}$- thermal resistance from heat sink to ambient.

For this type of light equipment optical efficiency can be accepted to be 91% [1] (including light fixture); thermal efficiency is about 90% at junction temperature 85ºC.

The actual number of LED lumens required to achieve the design goals is:

Actual lumens needed = Target lumens / (Optical efficiency * Thermal efficiency).

Actual lumens needed = (800 ÷ 2000) / (0.91 * 0.9) = 980 ÷ 2400 lm.

After deciding on operating current, the lumen output of each LED can be calculated. Since the thermal loss of the LED has already been taken into account through the actual-lumens-needed calculation, the numbers specified in LED-supplier documentation can be used directly without further interpretation. For this calculation, it is important to use the minimum flux listed for chosen LED's order code and not the typical number on the data sheet. By designing against this minimum number, you are ensuring that all luminaires made with that LED order code meet the target requirements.
Number of LEDs = Actual Lumens Needed / Lumens per LED.
Number of LEDs = 980 ÷ 2400 lm / 1000 lm.
Number of LEDs = 2 High - Flux LED Arrays Samsung LED are chosen.

Operating current. Another decision to be made is what operating current to use for the LEDs. Operating current plays an important role in determining the efficacy and lifetime of the LED luminaire. Increasing the operating current will result in more light output from each LED, thus reducing the number of LEDs needed. However, increasing operating current also has several drawbacks [1÷6] - Higher operating current reduces the efficacy of current generation power LEDs. Higher current will increase the temperature difference between the LED junction and the LED's thermal path. In practical terms, since the maximum junction temperature is already decided, this reduces the maximum ambient temperature for the luminaire. If instead of lowered maximum ambient temperature, the maximum junction temperature is raised; the LED will degrade in light output faster [1].

The light output of chosen LED Arrays is 1122 lm at 460 mA forward current (4000K); by proper dimming the minimum desirable light output can be adjusted without any problems. For example, this type LEDs light even at 1mA current (Fig.2)

The maximum light flux can be achieved by increasing the operating current – the maximum operating current for this type of LEDs is 1000 mA.

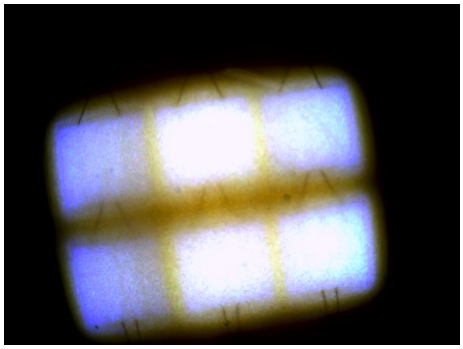


Figure 2. Photo of Samsung LED, SPHWWTHDD 805WHV0ED at 1 mA forward current.

Thermal management's calculations:

$T_{j\ MAX} = T_{a\ max} + (R_{th\ j\text{-}sp} + R_{th\ sp\text{-}h})*P_{LED} + R_{th\ h\text{-}a}*P_{tot}$, (1)

where:

P_{LED} is the power of one LED chip:

$P_{LED} = I_F * U_F = 0.46*16.95 = 7.8$ W;

P_{tot} is the power of all LEDs:

$P_{tot} = 2* P_{LED} = 15.6$ W; $R_{th\ j\text{-}sp} = 2.24$°C/W;

$R_{th\ sp\text{-}h} = 0.4$°C/W [2]; $R_{th\ h\text{-}a} = 1$°C/W

At maximum ambient temperature 45°C

$T_{j\ MAX} = 45 + 2.64*15.6 + 1*15.6 = 101$°C, which is acceptable.

The chosen heat sink allows hermetic insulation of LEDs which is needed for outdoor applications.

2. Experimental investigations

Experiments are made in a thermal chamber where the temperature is kept at desirable values with the accuracy better than 0.5°C. All LED arrays operate at constant current. The operating current is adjusted at values: 460 mA, 550 mA and 600 mA. To evaluate the worst case of operation of the light equipment, convection in the camera is as little as it is possible.

Temperatures distributions measurements on LED arrays are carried out using IR camera ThermaCam E300 – FLIR Systems. Results are verified by conventional measurements (by thermocouples).

At each value of solder points' temperatures T_{sp} the corresponding temperatures of the LEDs' junction are calculated in accordance with:

$T_j = T_{sp} + R_{th\ j\text{-}sp} * P_{LED}$. (2)

At each temperature the voltage on the LEDs is measured and real power consumption by LED arrays are determined. All calculations are made using values obtained experimentally.

$P_{LED} = 7.8$W at 460mA; $P_{LED} = 9.37$W at 550mA; $P_{LED} = 9.41$W at 600mA

Main results of investigations are presented below:

Figure 3. Samsung LED, SPHWWTHDD 805WHV0ED [2].

In Fig. 4a ÷ Fig.6a measured temperatures of solder points of LED arrays at different temperatures of ambient air and different forward currents are presented. In Fig. 4b ÷ Fig. 6b corresponding calculated temperatures of the junctions of LEDs are presented.

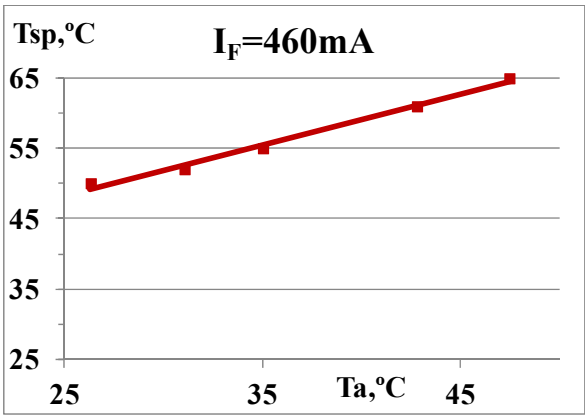


Figure 4a. Solder point's temperature T_{sp} dependence on the temperature of the ambient air T_a; I_F = 460 mA – forward current through LEDs.

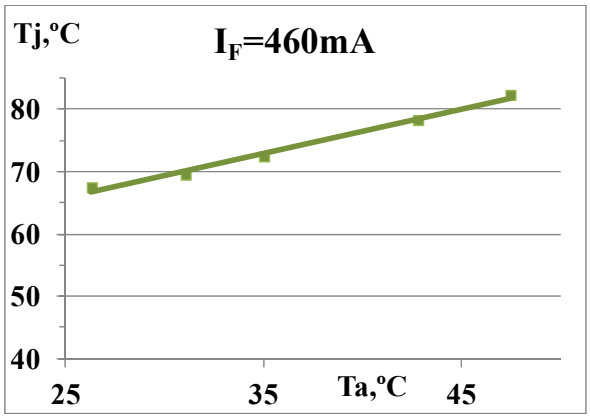


Figure 4b. Junction temperature T_j dependence on the temperature of the ambient air T_a; I_F = 460 mA – forward current through LEDs.

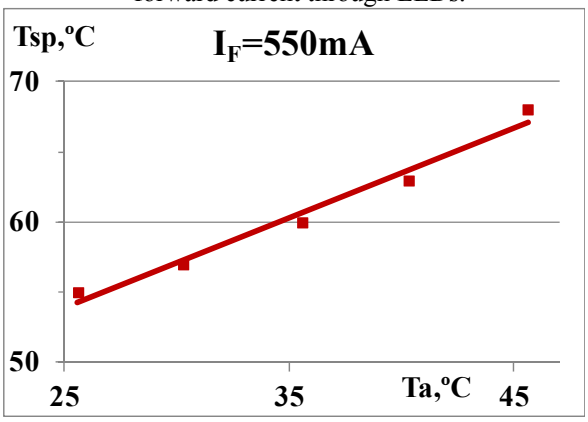


Figure 5a. Solder point's temperature T_{sp} dependence on the temperature of the ambient air T_a; I_F = 550 mA – forward current through LEDs.

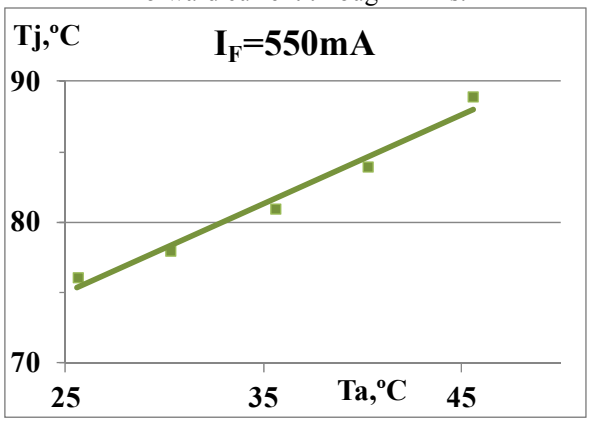


Figure 5b. Junction temperature T_j dependence on the temperature of the ambient air T_a; I_F = 550 mA – forward current through LEDs.

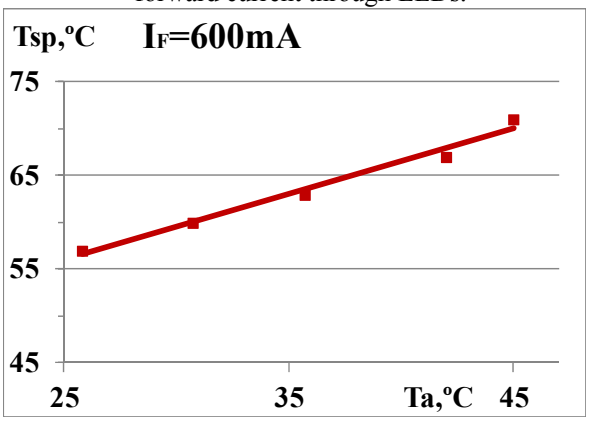


Figure 6a. Solder point's temperature T_{sp} dependence on the temperature of the ambient air T_a; I_F = 600 mA – forward current through LEDs.

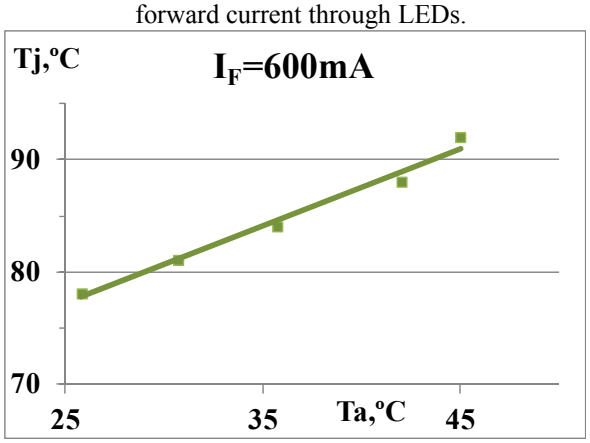


Figure 6b. Junction temperature T_j dependence on the temperature of the ambient air T_a; I_F = 600 mA – forward current through LEDs.

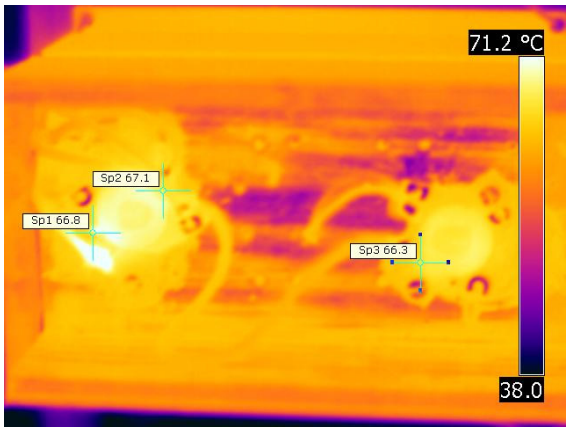


Figure 7. Photo of the LEDs' panel made by IR camera; T_a = 40ºC ; I_F = 600 mA – forward current through LEDs.

In Fig. 7 a photo of the LEDs' panel made by IR camera at T_a = 40ºC and I_F = 600 mA – forward current through LEDs is presented.

Infrared thermography allows evaluation of temperature distribution on the whole heat sink surface. The uniformity of temperature field shows proper distribution of LEDs on the heat sink – Fig.7.

Luminous flux evaluation

At chosen number of LED arrays (2) luminous flux at different operating conditions can be evaluated:

Luminous flux = 2 * LF lm * Optical efficiency * Thermal efficiency, where

2 – chosen number of LEDs; LF, lm – luminous flux of one LED arrays at different forward current values; optical efficiency = 0.91 [2]; thermal efficiency = 1.0 at T_j = 25ºC; 0.9 at T_j = 80ºC; 0.87 at T_j = 90ºC; 0.85 at T_j = 100ºC; LF = 860 lm at I_F = 460 mA; LF = 1000 lm at I_F = 550 mA; LF = 1100 lm at I_F = 600 mA; LF = 1250 lm at I_F = 800 mA.

For evaluations of feasible luminous flux of light equipment are used results of our investigations on junction temperature dependences at different operating conditions of LEDs.

- I_F = 460 mA ; at T_a = 45ºC T_j = 79ºC

Minimum luminous flux = 2*860*0.91*0.9 = 1400 lm.

- I_F = 600 mA ; at T_a = 45ºC T_j = 92ºC.

Minimum luminous flux = 2200*0.91*0.86 = 1722 lm.

- I_F =800 mA ; at T_a = 35ºC T_j = 93ºC.

Minimum luminous flux = 2500*0.91*0.86 = 1956 lm.

As it can be seen from evaluations' results by proper dimming lighting equipment with 2 LED arrays can be used for a lot of purposes and all design goals are achieved.

IV. CONCLUSIONS

Multifunctional lamp is designed and produced using power high flux LED arrays. By proper dimming of LEDs it can be used for general lighting of a large living room or illuminator for small yard (light flux about 800 ÷ 2000 lm). Results of thermal management's calculations and the choice of the heat sink are experimentally verified at different operating regimes of LED arrays and different ambient conditions. Infrared thermography for investigations of temperatures fields on the heat sink and LEDs is used. Applications of experimental results in the design process allow achieving all design goals and can guarantee that developed light equipment will have long lifetime even at heaviest operation conditions.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors respectfully acknowledge the support of this study by the research project of the Ruse University, 2013-TF-04.

REFERENCES:

[1] www.cree.com/xlamp.

[2] www.samsungled.com

[3] www.lustrous.com

[4] Bunea, R., Svasta, P., Codreanu, N.-D. Modeling of heat dissipation in SMD chip components, IEEE**,** Proc. of 34th International Spring Seminar on Electronics Technology - ISSE 2011, High Tatras, Slovakia, May 11th – 15th 2011, art. no. 6053893 , pp. 386-390.

[5] Keppens A, W.R.Ryckaert, G.Deconinck, P.Hanselaer; High power light emitting diode junction temperature determination from current-voltage characteristics; Journal of Applied Physics 104, 093104, 2008.

[6] Weilguni M., J. Nicolics, R. Medek, M. Franz, G. Langer and F. Lutschounig. Characterization of the Thermal Impedance of High-Power LED Assembly based on Innovative Printed Circuit Board Technology, IEEE, Proc. of 33th International Spring Seminar on Electronics Technology - ISSE 2010, Warshaw, Poland, May 12th – 16th 2010, D14, pp. 1 - 6.

Contacts: Petko Mashkov, assoc. prof. PhD, University of Ruse, Department of Physics, e-mail: pmashkov@uni-ruse.bg

Berkant Gyoch, PhD student, Department of Physics, e-mail: b_gyoch@uni-ruse.bg

Hristo Beloev, Department of Agricultural Machinery, Agricultural and Industrial Faculty, e-mail: hbeloev@uni-ruse.bg

Stanislav Penchev, Department of Automatics and Mechatronics, e-mail: msp@uni-ruse.bg

Reviewer:

Assoc. Prof. Dr. Eng. Borislav Dimitrov

TU-Varna

DESIGN OF ANTIREFLECTION WIDEBAND COATINGS FOR THE VISIBLE SPECTRAL REGION

Berkant S. Gyoch, Petko H. Mashkov and Stanislav M. Penchev

Abstract: The investigation deals with problems of computer-aided design of wide-band multilayer antireflection coatings for silica substrate in the visible spectral region, which are necessary for modern discrete photo receivers, CCD-cameras, security systems and others multiple lenses optical systems. As usual materials for optical elements in these systems are with refractive index n ~ 1.52 up to 1.8 and, at normal incident, reflection losses for an optical system of two lenses only may reach 20%. Wide-band antireflection multilayer coatings with 4 and 6 layers from two different materials of high and low refractive index for visible spectral region with average reflectance from one optical surface smaller than 0.5% are designed. Their application to optical system of two lenses (n ~ 1.52) may reduce average reflectance in the whole visible spectral region to 2%.
Keywords: wideband antireflection coatings, visible optical systems.

I. INTRODUCTION

In order to decrease reflection losses modern optical systems: discrete photo receivers, CCD-cameras, security systems, objectives and others are produced using antireflection coatings, see Fig.1. Usual materials for their production have refractive index $n \sim 1.52 - 1.8$, which leads to reflection from one optical surface about *4% - 8%* at normal incident. In case of optical systems of two lenses (minimal number of lenses for objective-collective) reflective losses may reach 20% [1]. The total reflective losses may be reduced using proper antireflection coatings.

When working spectral region is wide, the corresponding antireflection coating is always multilayer [1 – 5]. Its structure strongly depends on the substrate, on the width of the spectral region, on its spectral position as well as on the coating design and materials in use.

The investigation deals with problems of computer-aided design of wide-band multilayer antireflection coatings for silica substrate in the visible spectral region, when the coating contains four or six layers from two materials of high and low refractive index.

There are some approaches for design of wide-band antireflection coatings [1]. The simplest antireflection coating is a single layer with optical thickness $nd = \lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4$ ... and refractive index $n = n_{SUB}^{1/2}$ (n_{SUB} is the substrate refractive index) which acts properly only at one wavelength [1]. Appropriate methods for multilayer coating design in wide spectral region are based on numerical optimization [1 - 5]. In any case the choice of initial coating structure is of great importance for the final results. In the numerical optimization methods the structure of a multilayer coating (number of layers, their refractive indices and thicknesses) is a result of numerical optimization of a proper numerical function called factor *Q*. After optimization procedure of initial coating structures with four and six layers from two materials of high and low refractive index they were converted into two four-layer and one six-layer structures for glass substrate (n_S=1.52) with average reflection in the whole visible spectral region is smaller than 0.7%.

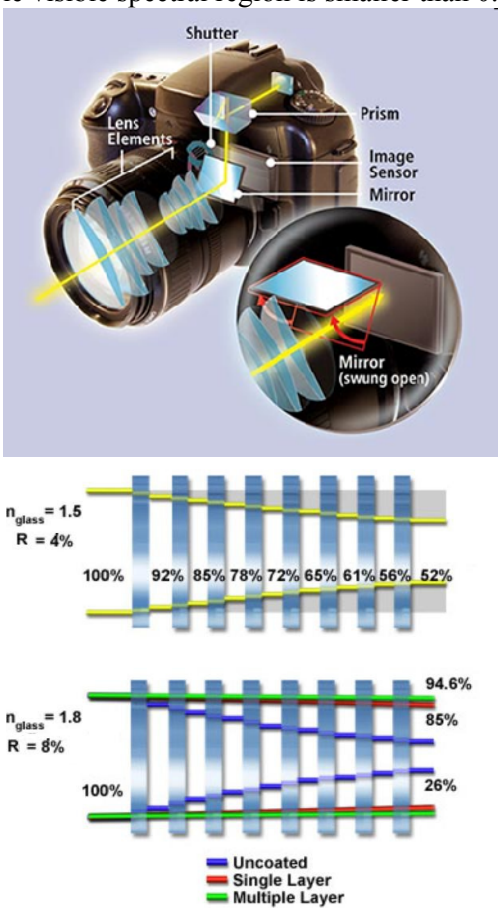


Figure 1. Reflection losses in optical system for modern CCD-cameras; n_{glass} – refractive index of glass; R – reflective index.

The results are obtained by numerical optimization which algorithms are realized using MATLAB.

II. DESIGN OF MULTILAYER ANTIREFLECTION COATINGS

In numerical optimization methods the structure of a multilayer coating (number of layers, their refraction indices and thicknesses) is a result of numerical optimization of a proper function:

$$Q = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(T(\lambda_i)_{CALCULATED} - T(\lambda_i)_{DESIRED}\right)^2} \quad (1)$$

where λ_i are discrete wavelengths in the spectral region under investigation, $T(\lambda_i)_{DESIRED}$ are numerical values of the desired transmittance spectrum, $T(\lambda_i)_{CALCULETED}$ are calculated transmittance of a multilayer coating with a variable structure for λ_i. In our design of multilayer antireflection coatings $T(\lambda_i)_{DESIRED} = 100\% = const$. As no absorbing layers are considered, the physical meaning of Q is related with averaged quadratic reflectance for a single wavelength in the specified spectral region. The lower values of the quality factor correspond to better AR properties of a given structure. In any case the choice of initial coating structure is of great importance for the final results [1, 2].

In some cases of optical coating design layers of three or more optical materials are used [2]. Structures of layers of two materials are much more convenient and easy for deposition. As a rule these structures consist of layers of low- and high-refraction index materials which are usually denoted with *L* and *H* [1 - 3, 6]. Structures of this type are studied in our investigation. Our numerical procedure for AR coating design consists of the following steps:

- *Determination of discrete wavelengths* λ_i. The corresponding spectral region is divided into 150 steps.
- *Determination of an initial multilayer coating structure*:
  - ☑ Number of layers (2, 3, 4, 5 and 6).
  - ☑ Arrangement of refraction indices (*Air/LH../Substrate* and *Air/HL../Substrate*).
  - ☑ Choice of materials of high and low refractive index: $n_H = 2.2 \div 2.5$ and $n_L = 1.3 \div 1.6$ (at simulations step for changing of *n* is 0.05).
  - ☑ Initial thicknesses of layers: the initial thickness of all layers is determined from two settings (i) all layers have equal optical thickness and (ii) the total optical thickness of the multilayer structure is $\lambda_O/4$, $3\lambda_O/4$ and $5\lambda_O/4$ for the middle of selected spectral interval λ_O=0.58μm. The reason for this setting follows from properties of a single layer antireflection coating. The final thicknesses of all layers are found as a result of numerical optimization.
- *Transmittance calculations*. All transmittance spectra are calculated according to the theory of characteristic matrices [1, 6].
- *Numerical optimization.* In the minimization procedure iterations consist of steps which number is equal to the number of optimized thicknesses. Each step is one-dimensional minimization carried out by means of the golden section method [5].

Results presented below are related to substrate index *1.52* which corresponds to silica incoming (out going) optical window and optical lenses for upper mentioned spectral regions.

III. RESULTS AND DISCUSSION

1. *Optimization of the initial structures*

The best multilayer structures for visible spectral regions are obtained as a result of consecutive analysis of large amount (1470 number) of optimized AR coatings with number of layers N = 2, 3, 4, 5, 6 and alternative arrangement of layers with low and high refraction index n_L and n_H. In many cases, the thickness of a layer in a given N-layer initial structure becomes negligible after minimization procedure d < 0.0001 μm (1Å) and the corresponding optimized structures are considered as (N-1)-layer. As a result 3 multilayer structures corresponding to the quality factor values lower than 1% are chosen for analyses, because normal incident reflection from one optical surface of silica substrate with low refractive index (n~1.52) is about 4%.

Almost all **2 and 3 layer initial structures** after optimization converge to double layer structure of the type *Air/LH/Substrate*. They possess average quadratic reflectance $\underline{Q}_{opt}$<1% only when low refractive index is n_L=1.3. Then thickness of other layer (high refractive index) is very small, about 5nm, Fig. 3. In practice this two layer structure becomes single layer. Decreasing value of low refractive index below n_L=1.3 improves AR properties of this structure. One layer AR coating with n_L=1.3 and $\underline{Q}_{opt}$<1% can be designed. But there are no solid optical materials, convenient for deposition, with so low refractive index *n* and it'll possesses all commented disadvantages for single layer AR coating. Real

material MgF_2 has n~1.38 in visible spectral region.

Other **3 and 4-layer initial structures** with ***starting total optical thickness $5\lambda_O/4$*** are converted to 3-layer structure of the type *Air/LHL/Substrate*, called 3-layer. Even for the best designed tree layers average reflectance is Q_{opt}>1.7%. Dependences of average quadratic reflectance Q of the substrate with AR coating as a function of refraction indices n_L (from 1.3 to 1.5) and n_H (from 1.7 to 2.5) at constant thicknesses of separate layers are investigated for two and three layer structures. Q factor less than 1% for 2-layer and 3-layer is not obtained. That is why 2-layer and 3-layer AR coatings for substrates with n = 1.52 are not considered further.

From ***initial four multilayer with physical thickness $\lambda/4$*** are designed structures $Q_{initial}$=9.86%, 3λ/4 - $Q_{initial}$=19.69%, 5λ/4 - $Q_{initial}$=28.25%. After optimization ***initial structures with physical thickness $3\lambda/4$*** is obtained 4-layer AR structure of type *Air/LHLH/Substrate*, called 4-layer[1]. This type multilayer coating has good AR properties Q_{opt}=0.43%.

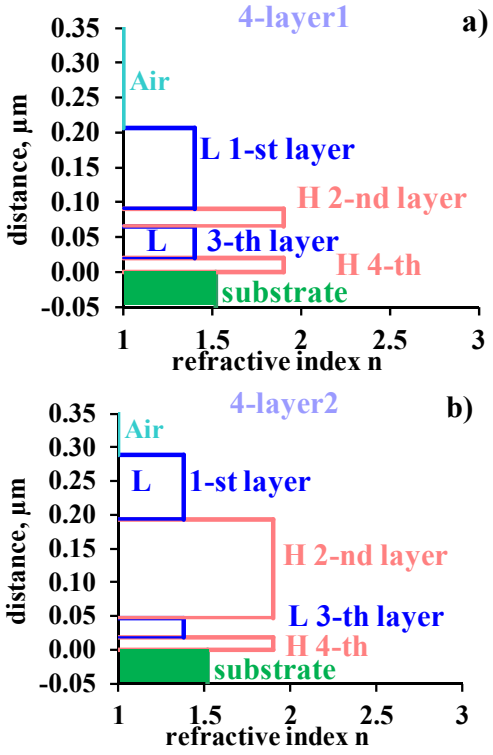


Figure 2. Refractive index profiles of antireflection coatings for substrates with refractive index 1.52: a) 4-layer[1] - n_H = 1.9 and n_L=1.38; b) 4-layer[2] n_H = 1.9 and n_L=1.38; distance 0 corresponds to substrate – film boundary.

After optimization ***initial structures with physical thickness $5\lambda/4$*** is obtained second 4-layer structure of type *Air/LHLH/Substrate*, called 4-layer[2]. This type multilayer coating average reflection is Q_{opt}=0.51%.

4-layer[1] structure is least sensitive toward deviations of refractive index $\mathbf{n_H}$ of layers (ΔQ=0.01%). This change of parameters of multilayer AR structure is compensating by changing the thickness of separate layers. The layer with high refractive indices n_H decrease its thickness and - n_L increase its thickness. When n_H>2.5 thickness of this layers (with high refractive indices) are changed less than 10 nm. Therefore, the refractive index n_H should be chosen below n_H = 2.5.

Comparison between 4-layer[1] and 4-layer[2] shows that AR properties of 4-layer[1] increases when n_L decreases. Better values of Q factor for 4-layer[2] are obtained using n_L > 1.4, but in narrower range of combinations of layer's refractive indices than for 4-layer[1]. In Fig. 2a and 2b refractive index profiles for 4-layer[1] and 4-layer[2] when refractive indices of layer are n_H = 1.9, n_L=1.38, are presented. From figure 2 it can be seen that differences between two 4-layers is mainly on thickness of 2-nd layer with high refractive index (H). This layer in 4-layer[1] is 25 nm thickness and in 4-layer[2] is thicker (113 nm), it's total physical thickness is increased with about 100 nm.

Designed ***initial six layers*** is from type n_0/LHLHLH/n_S, as ***for optical thickness $\lambda/4$*** average reflection is Q_{in}=13.32%, **3λ/4** – Q_{in}=20.36%, **5λ/4** - Q_{in}= 60.53%. After optimization procedure the initial - λ/4 is converted to four layers. Second layer thickness (**n_0/LHLHLH/n_S**) decreases and becomes negligible – d << 0.001 µm and the corresponding optimized structures are considered as five layer (n_0/**LL**HLH/n_S). This structure has two adjacent **L** layer, their summary thickness form one **L** layer and obtained multilayer AR structure is four layers. After comparison with 4-layer[1] parameters it can be seen that this obtained multilayer AR structure is 4-layer[1].

Other 6-layer initial structures with ***starting total optical thickness $3\lambda_O/4$ and $5\lambda_O/4$*** are converted to one 6-layer structure of *Air/LHLHLH/Substrate* type with Q_{opt}=0.35% for refractive indices n_L=1.38 and n_H = 2.4. This structure called further 6-layer[1] for short.

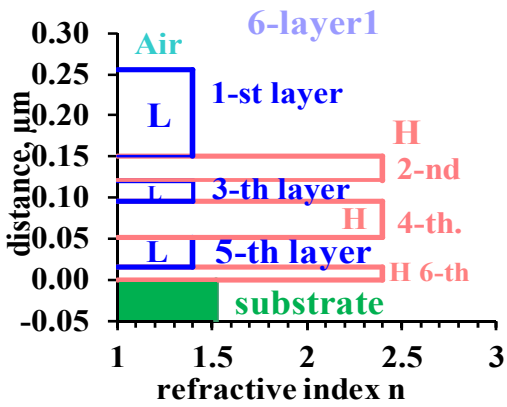


Figure 3. Refractive index profiles of AR coating for substrates with refractive index 1.52; 6-layer[1] - $n_H = 2.4$ and n_L=1.38; distance 0 corresponds to substrate – film boundary.

In Figure 3 refractive index profiles of 6-layer[1] AR coating is presented. Although 6-layer[1] has a larger number of layers the total thickness thereof Σd = 260nm is less than that for the 4-layer[2] (Σd = 290nm).

In Figure 4 comparison between reflection spectra of both four layers and six layer: **R(λ) 4-layer1** - n_H = 1.9 и n_L=1.38; **R(λ) 4-layer2** - n_H = 1.9 и n_L=1.38 and **R(λ) 6-layer1** - n_H = 2,4, n_L=1,4 is presented. To make better presentation of differences and easy comparison between these three multilayer structures reflection axis in Figure is scaled to R=2%, reflection from uncoated substrate is out of range.

In comparison between this structures it can be seen that reflection from 6-layer[1] at λ=400 nm and λ=700 nm is R=0.0%, at λ=500nm - R=0.07%. Maximal values of reflection index is R=0.47% at λ=480 nm and R=0.42% at λ=590 nm and calculated average reflection for all investigated spectral range (0.38-0.78µm) is Q_{opt}=0.35%. Reflection index for 4-layer[1] reaches to R=1.1 % at λ=500nm and from λ=400nm to λ=440nm has better AR properties than 4-layer[2]. Reflection index for 4-layer[2] – stay about R=0.5 % in the whole investigated spectral range with average reflection is Q_{opt}=0.51%. Criterion for evaluation of AR properties is average reflection (factor Q) from the whole investigated spectral range. From three multilayers under investigation 6-layer[1] has the best AR properties, it's *factor Q* is the smallest Q_{opt}=0.32%.

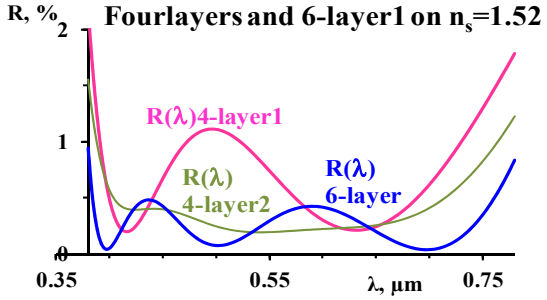


Figure 4. Reflection spectra's: **R(λ) 4-layer1** - n_H = 1.9, n_L=1.38; **R(λ) 4-layer2-** n_H = 1.9, n_L=1.38 and **R(λ) 6-layer1-** n_H = 2.4, n_L=1.4.

Quality factor as a function of refraction indices n_H and n_L.

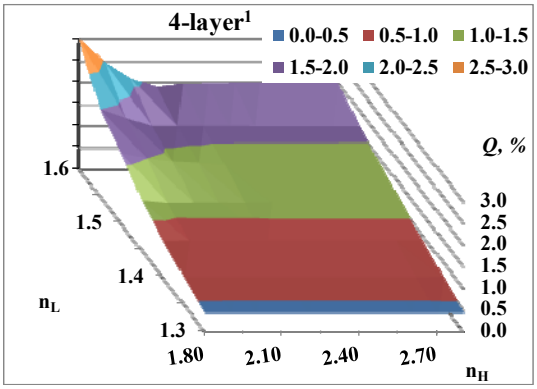
In order to find the best AR properties of designed structures and the possibility of wide selection of materials for layers of the coating an investigation for different values of n_L (between 1.3 and 1.6) and n_H (between 1.8 and 2.8) is carried out. Average reflectance's (*factor Q*) for all optimized structures are studied as a function of n_H and n_L.

4-layer[1] has almost the same *factor Q* when n_L is constant and n_H changes (between 1.8 and 2.8), see Figure 5a. Changes values of high refractive index n_H affect to thickness of layers with high refractive index H. Increasing n_H they reduce its thickness. When n_H = 2.8 layer number 4-th (adjacent to substrate) falls below 6 nm, however layers having a low refractive index increasing its thickness. Total thickness of coating remained almost unchanged. The greatest influence of changing values of low refractive index n_L. Its decreasing improve AR properties of this multilayer structure $\boldsymbol{Q_{optm}}$**=0.43%** when n_L = 1.3 and increase worsens Q_{opt}=1.11% when n_L = 1.45. For this reason 4-layer[1] can be used only in n_L=1.3 to 1.4.

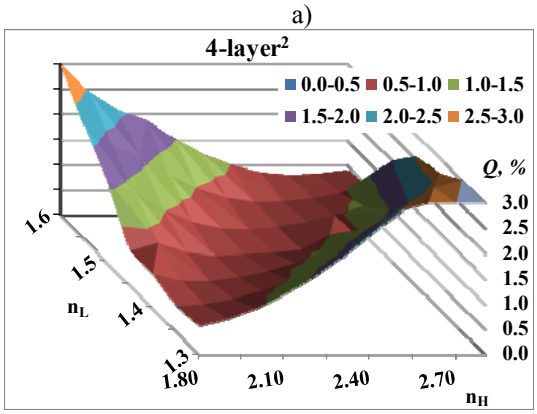
As opposed to 4-layer[1], 4-layer[2] has better AR properties when values of high refractive index n_H correspond to condition $n_H = (n_L)^2 \pm 1$, see figure 5b. Out of this condition average reflectance increases and reaches values up to Q_{opt}=1%. For example the best AR properties are obtained when:

n_L = 1.38 and n_H = 1.9 - $\boldsymbol{Q_{opt}}$**=0.51%**;
n_L = 1.4 and n_H = 1.95 - $\boldsymbol{Q_{opt}}$**=0.52%**;
n_L = 1.5 and n_H = 2.25 - $\boldsymbol{Q_{opt}}$**=0.63%**;
n_L = 1.6 and n_H = 2.6 - $\boldsymbol{Q_{opt}}$**=0.71%**.

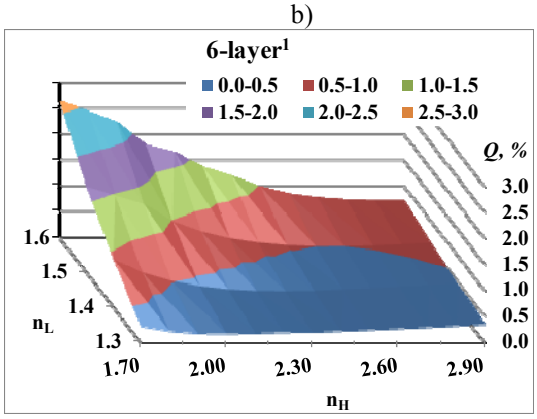
From example's and Figure 5b it can be seen that 4-layer[2] average reflectance's is higher than **0.5%,** but it provides opportunity to choose values of low refractive index n_L > 1.4.



a)



b)



c)

Figure 5. Quality factor Q for: a) 4-layer[1]; b) 4-layer[2] and c) 6-layer[1] structures optimized in the spectral region 0.38 – 0.78 μm for different values of n_H and n_L.

At 6-layer[1] change the values of the refractive index n_H at constant n_L leads to a small increase in average reflection, similar to 4-layer[1]. The changes in values of layer's refractive indices are compensated by changes in the thicknesses of the layers.

Factor Q as a function of refraction indices n_H and n_L at 6-layer[1] can be selected as the main criterion for AR properties. This allows to conclude that 6-layer[1] structure has better AR properties than four layers. To have better AR properties average reflectance must be Q_{opt}<0.5%. This condition is performed between n_L = 1.3 to 1.5 and n_H = 2.4 to 2.8. When refractive index is n_L = 1.6 increasing value of n_H up than 2.9 Q_{opt} worsened, moreover increasing n_H up than 2.3 decrease thickness of 3[-th] layer less than 5 nm. This layer is with low refractive index n_L. To prevent this thinning of layer which worsens layers structure can be used lowest values of n_L, as example when n_L = 1.3 always layer's thickness up than 10nm. Therefore recommended values of refractive indices are:

- when n_L = 1.4 then n_H = 2.0 to 2.9;
- when n_L = 1.5 then n_H = 2.4 to 2.8;
- when n_L = 1.6 then n_H = 2.7 to 2.9.

Multiple lenses reflectance losses calculations.

The reflectance losses for singlet objectives are calculated in the following way. First, transmittance T through both boundaries lens-air is calculated according to the equation [1]:

$$1/T = 1/T_1 + 1/T_1 - 1, \quad (2)$$

where T_1 is transmittance through single lens-air boundary. In case of a lens without AR coating T_1 is calculated from the refractive index n_S of the substrate material [1, 6]:

$$T_1 = 1 - \left[(n_S - 1)^2/(n_S + 1)^2\right] = \left[4n_S/(n_S + 1)^2\right]. \quad (3)$$

In case of a lens with AR coating T_1 is the coherent transmittance through air-coating-substrate system and it depends on wavelength. An appropriate value of T_1 can be estimated using averaged quadratic transmittance of the optimized coating structure.

The optical losses (in %) are [1, 6]:

$$R = (1 - T).100. \quad (4)$$

In case of doublets (two lenses), the air lens boundaries are four. Transmittance T through all four lens-air boundaries is calculated with equation [1]:

$$1/T = 1/T_1 + 1/T_1 + 1/T_2 + 1/T_2 - 3, \quad (5)$$

where T_1 is transmittance through single lens-air boundary of lens 1 and T_2 is transmittance through single lens-air boundary of lens 2. In case of lenses without AR coating T_1 and T_2 are again calculated from the refractive index n_S of the corresponding substrate material. In case of lenses with AR coating T_1 and T_2 are averaged quadratic transmittance of the coating optimized for the corresponding air-coating-substrate system.

Optical losses R (in %) for multiple objectives, for example 6 objectives with same material

n_S=1.52, can be riches to R=35%, see Table 1. These losses can be reducing with using AR coatings. Application of 6-layer[1] coatings of LHLHLH type leads to reflection losses 4 % for six lenses.

Table 1. Optical losses R (in %) due to reflection of multiple lenses without AR coating and with AR coatings with designed 4-layer[1]; 4-layer[2]; 6-layer[1].

Optical losses R on n_s=1.52			
without AR	**with AR of type**		
	4-layer[1]	**4-layer[2]**	**6-layer[1]**
Singlet R=7.7%	0.86%	0.99%	0.63%
Doublet R=15.1%	1.70%	1.97%	1.26%
Triplet R=21.1%	2.53%	2.93%	1.89%
Quartet R=26.2%	3.34%	3.86%	2.50%
Quintet R=30.8%	4.14%	4.78%	3.11%
Sextet R=34.8%	4.93%	5.69%	3.71%

The table shows that even for substrates with low refractive index, which reflects at normal incidence is relatively small 4%, reflection on multiple lenses can reach to 35%.

If used material for substrate is with n_S=1.8 then optical losses R for multiple objectives, for example sextet can be riches to R=51.6%.

IV. CONCLUSIONS

Multiple optical elements are used for different photosensitive devices. Usually they have low refractive index from 1.52 to 1.8. Reflection at normal incidence on one boundary is about 4%, but reflection from optical system of two lenses may reach 20%, of six lenses with n=1.52 - 42%. For this reason it is very important to use AR coatings, which may decrease reflection losses to $Q_{opt} < 1\%$, i.e. average reflection at normal incidence for wide spectral region must less than 1%.

At different initial conditions 1470 multilayer coatings are designed. All designed structures are optimized of a proper numerical function Q. After consecutive analysis of all multilayer structures three structures with the best AR properties are selected. Four layer AR structure of type *Air/LHLH/Substrate*, called 4-layer[1]; other four layer AR structure of type *Air/LHLH/Substrate*, called 4-layer[2]; six layer AR structure of type *Air/LHLHLH/Substrate*, called 6-layer[1]. The outer layer (next to the air) is of low refractive index in all best final structures.

In order to reduce reflection losses, multi-layer antireflection coatings for objectives' lenses are designed. The lowest reflection losses for all designed coatings are found. It is found that application of AR coatings, which consists of alternating n_H and n_L layers can considerably reduce the reflection losses in multiple-lens objectives for visible spectral region.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors respectfully acknowledge the support of this study by the research project of the Ruse University, 2013-TF-04.

REFERENCES:

[1]. Macleod H. A. Thin film optical filters. - Macmillan, New York (2001) pp. 590.
[2]. J. A. Dobrowolski, Daniel Poitras, Penghui Ma, Himanshu Vakil, Michael Acree, Toward perfect antireflection coatings: Numerical investigation, Applied Optics, 41 (2002) 3075-3083.
[3]. Nenkov M., T. Pencheva. Symmetrical Five Layer Periods from Nonabsorbing High and Low Refractive Index Materials. - Journal of the Optical Society of America A, vol. 14, No 3, 1997, pp. 686 – 692.
[4]. Pencheva T., M. Nenkov, J. Michev. - Design of wide-band antireflection multilayer coatings upon silica optical elements in fiber long-distance systems. - Proceedings of IEEE, 25-th International Spring Seminar on Electronics Technology - ISSE 2002, Prague, 2002, 211 - 214.
[5]. Bazaraa M., C. Shetty, Non-linear programming, J. Willey & Sons, New York (1979) pp. 480.
[6]. Born M., E. Wolf, Principles of optics. Pergamon, Oxford (1983) pp. 850.

Contacts: Petko Mashkov, assoc. prof. PhD, University of Ruse, department of Physics, e-mail: pmashkov@uni-ruse.bg
Berkant Gyoch, PhD student, University of Ruse, department of Physics, e-mail: b_gyoch@uni-ruse.bg
Stanislav Penchev, University of Ruse, department of Automatics and Mechatronics, e-mail: msp@uni-ruse.bg

Reviewer:
Assoc. Prof. Dr. Eng. Hristofor Tahrilov
TU-Varna

ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА КОРАБНИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАЩИ СИСТЕМИ

ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT OF SHIP MOTOR DRIVEN SYSTEMS

Елена К. Кателиева

Резюме: Целта на статията е да се посочат различни потенциални мерки и практики за спестяване на електрическа енергия и да се дадат препоръки за подобряване на енергийната ефективност на корабните електрозадвижващи системи.
Ключови думи: електрозадвижващи системи, енергийна ефективност, оптимизация

Abstract: The purpose of this paper is to show potential measures and practices for energy savings and to give recommendations for energy efficiency improvement of ship motor driven systems.
Keywords: energy efficiency, improvement, motor driven systems

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Вследствие на световното икономическо развитие през последните десетилетия нараства потреблението на енергия. Човечеството е изправено пред изключителни предизвикателства в резултат на намаляващите изкопаеми енергийни ресурси, необходимостта от ограничаване изменението на климата и преодоляване на икономическата криза.

Товарните кораби са най-ефективните транспортни средства, поради което морските превози нарастват и това налага разработването на различни енергоспестяващи технологии и прилагане на мерки за постигане на енергийна ефективност. Електрозадвижващите системи са най-големия потребител на електрическа енергия на кораба, те консумират до 80-90% от произвежданата електроенергия и оптимизирането на техните режими на работа ще доведе до най-големи спестявания.

II. ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ

1. УПРАВЛЕНИЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ

Международната морска организация (IMO) е орган на Организацията на Обединените Нации, който е натоварен с отговорната задача за проучване и намаляване на негативното влияние на морския транспорт върху околната среда. Тя е разработила и предлага редица инструменти и мерки, които да помогнат на морската индустрия в постигането на енергийна ефективност и намаление на вредните емисии. IMO разработва план за управление на енергийната ефективност на кораба (SEEMP). Той може да се използва за да очертае програма за подобряване на енергийната ефективност на кораба посредством четири стъпки: планиране, изпълнение, мониторинг, и самооценка и усъвършенстване.

Тези четири етапа могат да бъдат приложени и при подобряване на ефективността на корабните електрозадвижващи системи.

- **Планиране**

По време на процеса планиране, преди предприемането на оптимизационни мерки е необходимо да се определят изходните данни на системата, да бъде направен анализ на работата на задвижванията и да се сравнят приложените оперативните практики с най-добрите препоръчвани такива. На този етап се правят необходимите изчисления за определяне на консумираната мощност и потенциалните спестявания. Необходимо е да създаде план за приложение на избраните оптимизационни мерки и да се изберат методи за мониторинг и оценка.

- **Изпълнение**

На този етап се прилагат избраните най-подходящи мерки и практики, като от съществено значение е да се пазят записи с данни за всяка оптимизация.

- **Мониторинг**

Осъществява се непрекъснато и последователно събиране на данни. Енергийната ефективност се измерва количествено чрез различни софтуерни инструменти.

- **Самооценка и усъвършенстване**

Това е последния етап от цикъла на управление. Целта на тази фаза е да се оцени ефективността на прилаганите мерки и да се сравнят резултатите с целите и критериите. Оценката осигурява обратна връзка и се въвеждат управленските решения в следващия цикъл за подобряване.

За повишаване на енергийната ефективност на електрозадвижващите системи от съществено значение е компаниите да изградят и прилагат определена енергийна политика и да съставят план за управление на енергията.

2. АНАЛИЗ НА НАТОВАРВАНЕТО НА КОРАБНАТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНА СИСТЕМА

За оптимизиране на енергийната ефективност и ограничаване на загубите на електроенергия е много важна правилната оценка на натоварването на корабната електроенергийна система.

Корабната електроенергийна система е автономна, поради което генерираната електрическа енергия при всички режими на работа на кораба, трябва да съответства на консумираната. Работата на различните устройства и механизми на борда е свързана с използването на електроенергия от генератори, натоварването, на които зависи от състоянието на морето, района на плаване, скоростта на кораба, характера на извършваната работа и различни други фактори. Целесъобразно е натоварването на дизел генераторите да бъде не по-малко от 80% от номиналната им мощност, за постигане на по-нисък разход на гориво и по-висок к.п.д.

Информация за натоварването на системата може да бъде получена от т.н. товарови графици или чрез теоретично изследване по метода на енергийния баланс, като се разгледат най-характерните режими на работа, които за товарните кораби са следните: ходови режим; швартови без натоварване; швартови с натоварване; маневрен режим и аварийен режим. Най-голямо е натоварването на корабната енергийна система при швартови режим с натоварване и маневрен режим.

За оптимизиране на ефективността на системата е необходимо да се анализира натоварването на всички консуматори във всеки експлоатационен режим, които могат да бъдат разделени на три основни групи:

1/ **Непрекъснато работещи** - в тази група се включват всички електрически консуматори, работещи едновременно и непрекъснато в отделните режими.

2/ **Периодично работещи** - в тази група се включват консуматорите, които работят периодично в отделните режими. Към тази група се присъединяват и консуматорите включени в очаквания максимум на натоварването.

3/ **Епизодично работещи** - в тази група се включват консуматорите, които работят епизодично и тяхната мощност не се взема под внимание при изчисляване на натоварването на генераторите.

Консуматорите на електроенергия на кораба според предназначението си се разделят на:

- Механизми обслужващи главния двигател, спомагателните двигатели и котелната уредба
- Палубни механизми
- Вентилатори
- Битови потребители
- Корабни спомагателни системи
- Хладилна и климатична уредба
- Работилница
- Корабно осветление
- Радио навигационни и сигнални устройства

Най-съществено влияние върху натоварването на корабната електроцентрала оказват непрекъснато работещите потребители, както и тези които влизат в състава на механизмите на главния двигател, хладилната и климатична уредба, палубните механизми и вентилатори, които са част от корабните електрозадвижващи системи. Повишаването на тяхната ефективност ще осигури най-голямо спестяване на енергия.

Основните електрозадвижващи системи на кораба са: рулевите, котвено-швартови, товароподемни, електрозадвижвания на лодъчни рудани, електрозадвижвания на буксирни и трални рудани, на антикренови системи и електрозадвижвания на помпи, вентилатори и компресори.

В различните режими натоварването на станцията е различно. В швартови режим без натоварване работят незначително количество консуматори и натоварването е най-малко. В швартови с натоварване голяма част от екипажа е на борда, работят всички товаро-разтоварни, котвени и шватови механизми, поради което и натоварването е максимално. В ходови режим работят голяма част от потребителите, които осигуряват хода на кораба, комфорта на екипажа, радио-навигационни и сигнални устройства. Те не работят едновременно и непрекъснато и работят с различна продължителност. В аварийен режим се изключват някои от консуматорите, но е изключително важно да работят средствата за осигуряване хода на кораба, радио-

навигационните устройства и тези осигуряващи безопасност и сигурност.

За оценяване на натоварването на електростанцията е необходимо да се съберат данните на системата и да се изчисли консумираната мощност на всеки потребител за всеки експлоатационен режим. [2] (Табл. 1)

Табл. 1. Оценка на натоварването на корабната електроенергийна система

№	Консу-матори	Коли-чество	$P_{2н}$, kW	$\eta_н$, %	cosφ	$P_{1н}$, kW
1	2	3	4	5	6	7
1 2 …	Консу-матор1 Консу-матор 2 ……					

Където $P_{2н}$ е номиналната изходна мощност на двигателя, [kW]

$\eta_Н$ – номинален к.п.д. (ефективност), [%]

cosφ – номинален фактор на мощността.

Номиналната консумирана мощност се изчислява по формулата: $P_{1н} = \frac{P_{2н}}{\eta_н}, [kW]$ (1)

За всеки експлоатационен режим се изчисляват коефициент на натоварване k_H, коефициент на едновременност k_e и консумираната активна мощност P на всеки консуматор. (Табл.1-продължение)

Табл. 1.

Ходови режим			Маневрен режим		
k_H	k_e	P, kW	k_H	k_e	P, kW
8	9	10	11	12	13

Коефициентът на натоварване представлява отношението на действителната консумирана мощност към номиналната консумирана мощност:

$$K_H = \frac{P_1}{P_{1H}} \quad (2)$$

, където действителната консумирана мощност е $P_1 = \sqrt{3}.I.U.\cos\varphi/1000, [kW]$ (3)

Много от консуматорите са дублирани, като работи само единият от тях, а другият е за резерв. Коефициентът на едновременност показва какво количество от броя на еднаквите консуматори работят в разглеждания режим:

$$k_e = \frac{n_{раб.}}{n_{уст.}} \quad (4)$$

Този коефициент представлява отношението на едновременно работещите консуматори към общия брой на установените.

Изчислява се консумираната мощност от всеки консуматор в различните режими:

$$P = \kappa_н \times \kappa_e \times P_{1H} \times n, [kW] \quad (5)$$

, където n е броя на консуматорите от съответния тип.

Пълната консумирана мощност на електростанцията се определя като сума от мощностите, консумирани от всички потребители работещи непрекъснато или периодично в очаквания максимум на натоварването. За получаване на по-висока ефективност е необходимо натоварването да бъде 70-80% от номиналното.

Някои от консуматорите не работят във всички режими или работят с различна продължителност и влиянието им върху натоварването е различно във всеки режим. Епизодично работещите консуматори не се взимат под внимание при отчитане на натоварването на генераторите.

Различните задвижващи системи влияят върху натоварването в различна степен. Рулевите електрозадвижващи системи осигуряват контрол и сигурно управление на кораба и са сред най-важните консуматори на електроенергия. Тези системи работят непрекъснато или периодично в различните експлоатационни режими. Палубните механизми, хладилната и климатична уредба са едни от най-мощните консуматори, въпреки че работят периодично те също влияят на натоварването на електростанцията. Котвено - швартовите електрозадвижвания служат за осигуряване на стоянка на кораба. Те работят в кратковременен режим и спадат към епизодично работещите консуматори и не оказват съществено влияние върху натоварването на електростанцията. Електрозадвижванията на антикреновите

системи се използват при извършване на товаро-разтоварни операции. Използват се електрозадвижвания на баластните помпи, които са от центробежен тип. При работа на тези системи се консумира голямо количество енергия и те оказват съществено влияние върху натоварването в швартови режим с товарни операции, който е режимът с най-голяма консумация на мощност. Електрозадвижващите системи на помпи, вентилатори и компресори са най–многобройни и често работят в непрекъснат режим, поради което повишаването на тяхната ефективност ще осигури най-големи спестявания.

3. ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ НА КОРАБНИТЕ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВИЖВАЩИ СИСТЕМИ

Енергийната ефективност на системата представлява количеството енергия превърната в полезна работа или количество произведени продукти отнесено спрямо пълната консумирана мощност[3]:

$$\text{К.п.д.} = \frac{\textit{произведен продукт}}{\textit{обща консумирана мощност}} = \frac{\textit{единици продукция}}{\textit{полезна мощност} / \textit{к.п.д.}_{комп} \times f_{сист}} \qquad (6)$$

, където $к.п.д._{комп}$ е резултантният к.п.д. на всички елементи, получен като произведение на индивидуалните коефициенти, а $f_{сист}$ е коефициент отразяващ загубите от триене и други загуби в разпределителната система.

Най-висока ефективност се постига чрез прилагане на системен подход – оптимизиране на отделните елементи на електрозадвижването като част от цялата система. Необходимо да се повиши к.п.д. на всеки елемент от системата: електродвигател, предавателни механизми, работна машина и контролни механизми и устройства. Ефективността (к.п.д.) на системата може да се представи като произведение на к.п.д. на отделните и елементи:

$$\eta_{С-МА} = \eta_{ДВ} \times \eta_{ПМ} \times \eta_{КМУ} \times \eta_{РМ} \qquad (7)$$

, където $\eta_{ДВ}$ - к.п.д. на двигателя; $\eta_{ПМ}$ - к.п.д. на предавателни механизми; $\eta_{КМУ}$ - к.п.д. на контролни механизми и устройства; $\eta_{РМ}$ - к.п.д. на работната машина. Основните мерки, които е необходимо да се приложат за оптимизиране на задвижващите системи са следните:

Осигуряване на качествена електрическа енергия

•Поддържане на нивото на напрежението;

•Поддържане на висок фактор на мощността;

•Избор на ефективни трансформатори;

•Откриване и премахване на загубите от пренос на енергия;

Оптимизиране на двигателите:

• Точно оразмеряване на двигателите;

• Използване на високоефективни двигатели;

•Осъществяване на редовна диагностика и поддържане на оборудването в оптимално състояние;

•Прилагане на подходящи мерки за получаване на оптимизирана експлоатация;

Оптимизиране на предавателните и контролни механизми:

•Използване на честотни регулатори и контролери;

•Използване на по-ефективни съединители и тръбопроводи;

Оптимизиране на работните механизми:

•Използване на по-ефективни работни машини;

•Осъществяване на диагностика и подходяща поддръжка;

•Изключване на неизползваните машини;

•Оптимизирана експлоатация.

Комбинирането на най-подходящите мерки в зависимост от особеностите на технологичния процес ще осигури повишаване на ефективността на системата и спестяване на значително количество енергия.

4. ВНЕДРЯВАНЕ НА ПО-ЕФЕКТИВНИ ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ И ЧЕСТОТНИ ИНВЕРТОРИ

4.1 Ефективни двигатели

Важен компонент на задвижващата система е електродвигателя, необходимо е той да работи с висок к.п.д.. Асинхронните двигатели са основните консуматори, които товарят корабната електростанция. Когато двигателят работи при натоварване по-ниско от номиналното неговия фактор на мощността намалява, той консумира повече реактивна енергия и натоварва електростанцията. Затова според конкретните условия и изисквания е

необходимо да се осигурят оптимална конструкция и параметри на двигателя и оптимални условия за управление. Необходимо е да се направи избор на най-подходящият двигател според изискванията на задвижването и да се изчислят всички експлоатационни разходи.

За да се посочат най-подходящите мерки за оптимизация на ефективността е необходимо да се определят параметрите и да се направи анализ на работата на двигателя. Събират се изходните данни на всички двигатели в задвижващата система и се определят относителното натоварване и к.п.д..

Коефициента на натоварване (относителното натоварване) на двигателя се определя с формула(2): $K_H = \frac{P_1}{P_{1H}}$

, където $P_1 = \sqrt{3}.I.U.\cos\varphi / 1000, [kW]$.

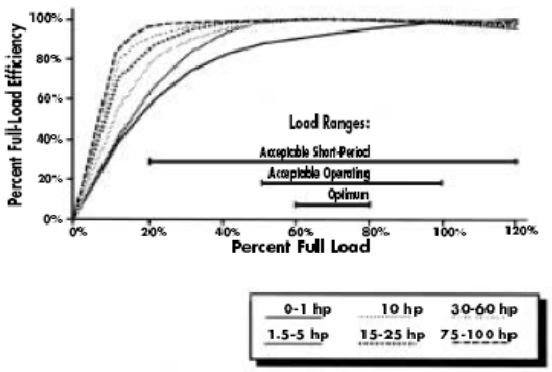
Номиналната консумирана мощност на двигателя е: $P_{1н} = \frac{P_{2н}}{\eta_H}, [kW]$ (8)

, където $P_{2н}$ - номиналната механична мощност на вала на двигателя.

Определя се к.п.д. на двигателя:

$$\eta = \frac{P_{2H}.K_H}{P_1}, [\%] \quad (9)$$

Съществува връзка между ефективността (к.п.д.) и относителното натоварване (K_H) на двигателя. Най-ефективна е работата на двигателите при натоварване над 50%, за това те се проектират за работа с натоварване от 50-100%, като най-висока е ефективността при натоварване 75%[7].



Фиг.1. Ефективността на двигателя (к.п.д.) във функция от процента пълно натоварване (US DOE)

Чрез събраните данни и изчислените коефициент на натоварване и к.п.д. може да се определи подход за по-ефективна експлоатация на електродвигателя, което ще осигури икономия на електроенергия, а следователно и на финансови средства.

Тъй като разходите за енергийна консумация представляват около 95% от разходите за целия оперативен период на всеки двигател е много важно да се осъществява подходяща експлоатация на двигателя. За получаване на по-висока ефективност е необходимо поддържане на оборудването в оптимален работен режим и замяна на старото ниско ефективно оборудване с ново енергоефективно. Необходимо е да се осъществява редовна диагностика и поддръжка за да се избегнат повредите при експлоатация на двигателите.

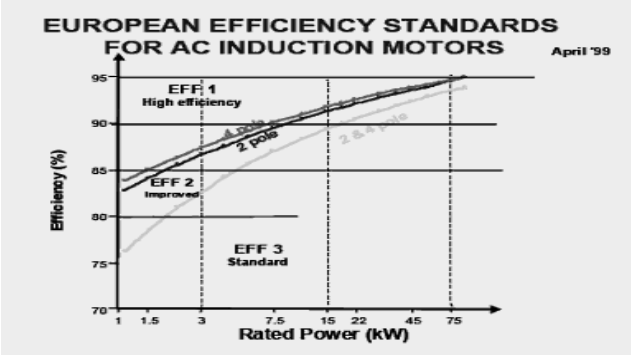
При откриване на повреди има различни подходи за действие – осъществяване на ремонт на оборудването; замяна на повредения ЕД с такъв от същия вид или замяна с друг с по-висока енергийна ефективност. Необходимо е да се направи анализ на различните варианти за действие, като се вземат предвид цените и сроковете за осъществяването им, както и възможността за бъдещи спестявания. Пренавиването ако е извършено качествено може да осигури к.п.д. равен на номиналния, но в някои случаи води до повишаване на загубите, намаляване на надеждността и ефективността на двигателя. Препоръчително е двигателите с по-малка мощност и тези, които са работили продължително време, да бъдат заменени с нови високо ефективни. В случай, че разходите за пренавиване превишават с 50-60% разходите за закупуване на енергоефективен двигател е по-добре да се закупи нов.

Една от възможностите за оптимизация е приложение на двигатели с постоянни магнити (ПМ), а чрез използване на високоефективни електродвигатели (ВЕЕД) и честотни регулатори за управление се получава по-добро използване на работната машина и може да бъде постигнато значително намаление на консумираната от задвижването енергия.

За повишаване на ефективността в двигателите се използват феритови магнити и ПМ от сплави на редки метали ($Nd_2Fe_{14}B$; Sm-Co). ПМ се характеризират с висока коерцитивна сила, което позволява намаляване на габаритите на машините. Двигателите с ПМ имат по-висок к.п.д., повишена претоварваща способност по-

високи енергийни показатели, намалени маса и размери, както и намалени загуби от възбуждане. В комбинация с честотни инвертори те са по-ефективни от стандартните асинхронни двигатели.

Повишаване на енергийната ефективност във ВЕЕД се постига, чрез използване на по-качествени материали и контрол на процеса на производство. Съществуват различни класификации на високо-ефективните двигатели в Европейския съюз и Америка. През 1999 г. е постигнато съглашение между Европейския Комитет на производителите на електрически машини и силова електроника (CEMEP) и Европейската Комисия, относно класификационна схема за трифазните асинхронни двигатели за ниско напрежение с мощност от 1,1 до 90 kW, дву- и четири-полюсни ЕД. [4]

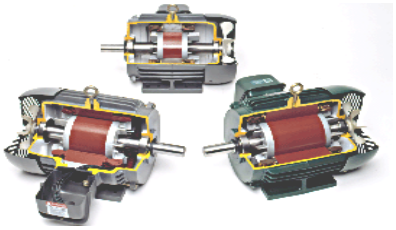


Фиг. 2 Сравнение на ефективността на различните групи двигатели[4]

В Америка консорциум за енергийна ефективност (CEE) в който участват САЩ и Канада установява минимални нива за ефективност, надвишаващи федералните. На 19.12.2010г. са възприети, като препоръчителен минимум за двигатели 1-200 hp и 201-500 hp, клас високо-ефективни двигатели NEMA Premium® efficiency. [5]

Налични са различни софтуерни инструменти за изчисляване на спестената енергия. В Европа се използва база данни EuroDEEM, която съдържа списък на енергоефективни двигатели и методи за оптимизация на цялата задвижваща система. Американското министерство на енергетиката (DOE) също предлага безплатен калкулатор MotorMaster+, който може да се използва за оценка на спестяванията, получени при ремонт или замяна на двигателя.

Във ВЕЕД загубите в ротора се намаляват чрез намаление на хлъзгането. Това се постига чрез увеличаване на масата и проводимостта на роторните проводници.



Фиг. 3 Три вида двигатели с еднаква мощност: горе – стандартен, долу вляво – EFF2, долу вдясно – EFF1 [6]

Фигурата представлява сравнение на стандартен двигател с високоефективни двигатели (EFF2, EFF1) с оптимизирана конструкция. Въпреки използването на по-голямо количество и по-качествени материали, ВЕЕД осигуряват намаление на експлоатационните разходи и приложението им води до оптимизиране на енергийната ефективност на задвижващата система. Обикновено високо ефективните двигатели са с 10-20% по-скъпи от стандартните, но поради спестяванията които осигуряват инвестицията се възвръща след около 1-2 години. Те консумират по-малко електрическа енергия, по-надеждни са, имат по дълъг живот и по малко товарят разпределителните трансформатори, осигуряват по-висок к.п.д. и спестяване на енергия.

За електродвигателите в корабните задвижвания могат да бъдат изчислени спестените енергия в [kWh] и годишните разходи за енергия в [BGN] при такава замяна, чрез формулите[4]:

$$Спеснена\ енергия\ за\ година = P_{2н} \times \kappa_H \times T \times \left(\frac{1}{\eta_{EFF3}} - \frac{1}{\eta_{EFF1}} \right)$$

, където $P_{2н}$ е номиналната изходяща мощност на двигателя;
κ_H - коефициент на натоварване на двигателя;
T – време на работа за година, [h];
η_{EFF3}, η_{EFF1} - к.п.д. на стандартен и високоефективен двигател.

$$Спеснени\ годишни\ разходи = P_{2н} \times \kappa_H \times T \times \left(\frac{1}{\eta_{EFF3}} - \frac{1}{\eta_{EFF1}} \right) \times C_E$$

,където C_E е цената на електроенергията в [BGN].
Може да се изчисли и спестената мощност за година[5]:

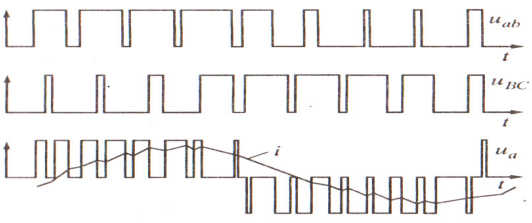
$$Спестена\ мощност = \left(\frac{P_{2H}}{\eta_{EEF3}} - \frac{P_{2H}}{\eta_{EEF1}} \right), [kW]$$

За да се вземе решение за замяна на двигателя с високоефективен трябва да бъдат определени и инвестиционните разходи - това са допълнителните разходи включващи себестойността и цената при инсталиране на високоефективен двигател в сравнение с разходите при използване на стандартен двигател. А времето за изплащане представлява стойността на инвестиционните разходи разделени на стойността на спестената за една година електрическа енергия.

4.2 Честотни инвертори

Важен фактор за постигане на по-добра ефективност и намаление на консумираната енергия от електрозадвижването е начина за управление на ЕД. Много е важно скоростта на двигателя да съответства на изискванията на товара. За работни механизми, при които не се изисква да работят непрекъснато на пълна скорост се прилагат различни средства за регулиране на скоростта за да се намали консумацията на цялата задвижваща система. За да се осигури необходимия дебит или налягане при изменение на натоварването се променят характеристиките на работната машина, чрез байпасиране, дроселиране, хидравлично регулиране или промяна на честотата на въртене на електродвигателя.

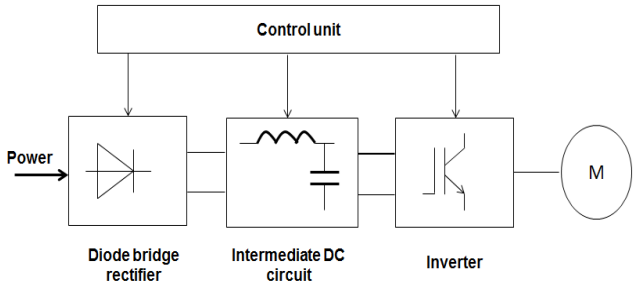
Най-прецизно е регулирането на производителността с честотни инвертори (ЧИ) с широчинно-импулсна модулация (ШИМ), реализирани на основата на IGBT транзистори, които осигуряват повишение на енергийната ефективност на задвижването. Асинхронен двигател който работи с честотен инвертор се захранва с променлива честота и напрежение, това се постига чрез изменение на продължителността на включено състояние на вентилите в инвертора. На изхода на инвертор с ШИМ се образува пакет импулси с правоъгълна форма и амплитуда равна на входното напрежение, но продължителността на импулсите се регулира по определен закон, най-често синусоидален.



Фиг. 5 Напрежението във фазите на инвертор с ШИМ и токът в захранвания от него активно-индуктивен товар[1]

При този начин на регулиране се намаляват висшите хармоници на изходното напрежение и дори се отстраняват напълно.

Основните елементи на преобразувателите от инверторен тип са изправителен блок, постояннотоков контур, инверторен блок и устройство за управление. (фиг.4)



Фиг. 4 Компоненти на честотен преобразувател от инверторен тип

Трифазен мостов токоизправител осигурява постоянно напрежение, което се предава към постояннотоковия контур, включващ филтриращи елементи - бобина и най-често кондензатор. Инверторния блок на честотните преобразуватели служи за повторно преобразуване на електрическата енергия, посредством електронни ключове постоянното напрежение на изхода на изправителя се преобразува в променливо.

Честотното регулиране е най-ефективния метод за регулиране производителността на електрозадвижвания с помпи, компресори и вентилатори. Това се отнася в най голяма степен за системите с непрекъснат или почти непрекъснат режим на работа. Основните предимства на задвижванията регулирани с честотни инвертори са следните: спестяване на енергия и повишаване на надеждността; намаляване на разходите за експлоатация и поддръжка; опростяване на тръбопроводната система; плавно пускане и спиране; качествено електрозахранване (елиминиране на пулсациите в напрежението) и висока ефективност.

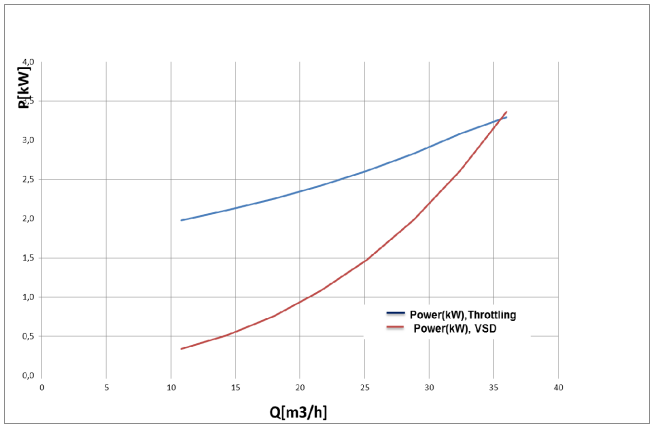
Центробежните вентилатори и помпи представляват товари с променлив въртящ момент и имат най-голям потенциал за спестяване на енергия. Това е видно от т.н. „Закони на подобието”[3]:

$$\mathbf{Q_2/Q_1= n_2/ n_1;\ p_2/p_1= (n_2/ n_1)^2;\ P_2 / P_1 = (n_2/ n_1)^3}$$

Тези закони показват как една променлива величина (n) – честотата на въртене, въздейства

върху другите променливи дебит (Q), налягане (p) и мощност на вала на машината (P).

Например за помпена система с честотно регулиране на производителността вместо дроселно, могат да се получат големи спестявания на енергия и средства.(фиг.6)



Фиг. 6 Необходима мощност на помпена система с дроселно и честотно регулиране

Честотните инвертори регулират скоростта на двигателя в зависимост от натоварването и осигуряват промяна на производителността. За изчисление на спестяванията, които се получават при прилагане на честотни инвертори е необходимо да се определят годишните разходи за енергия в [BGN] на електрозадвижването при различните видове регулиране и да се сравнят с тези при прилагане на ЧИ[5]:

$$Годишни\ разходи = \frac{P_{2H}}{\eta_{EFF1}} \times \kappa_H \times T \times n^3 \times \frac{1}{\eta_{ЧИ}} \times C_E$$

,където $\eta_{ЧИ}$ е к.п.д. на честотния инвертор, [%];
n – е процент от номиналната пълна честота на въртене (скорост).

Може да се оцени оптимизацията на системата при приложение на честотен инвертор вместо дроселно регулиране:

$$Спестени\ разходи\ за\ енергия = Годишни\ разходи(дроселно\ регулиране) - Годишни\ разходи(честотен\ инвертор)$$

Спестената мощност в [kW] за помпа с честотен инвертор може да се изчисли със следващата формула[5]:

$$Спестена\ мощност = \frac{P_{2H}}{\eta_{EFF1}} \times \kappa_H \times \left[n^3_{EFF1} - \frac{n^3_{Задв.}}{\eta_{ЧИ}} \right]$$

, където n^3_{EEF1} е честотата на въртене на двигателя, а $n^3_{Задв.}$ е честотата на въртене на задвижването. При използване на ЧИ скоростта на задвижването се регулира според изискванията на производствения процес и се спестява мощност.

III. ИЗВОДИ

Стандартната задвижваща система може да бъде оптимизирана чрез цялостно повишаване на ефективността - използване на високоефективни двигатели, честотни инвертори, по-ефективни съединители, оптимизирани тръбопроводи, високоефективни работни машини. Чрез съставяне на план за управление на енергията, проучване на всички възможности за подобряване на енергийната ефективност на системата и определяне на разходите за прилагане на съответните мерки може по-лесно да се вземе решение за прилагане на най-подходящата стратегия за намаляване на разходите за консумация на енергия, експлоатация и поддръжка.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Н. А. Ангелов и колектив, Електротехника, Варна, 2006г.
[2]. Г. С. Яковлев, Судовые электроэнергетические системы, Энергоиздат, Ленинград 1978г.
[3]. Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC), Energy-Efficient Motor Systems AssessmentGuide,http://oee.nrcan.gc.ca/sites/oee.nrcan.gc.ca/files/pdf/publications/industrial/2003-661-motor-system-e.pdf
[4]. CEMEP, European Commission joint research centre, Electric motor efficiency, Saving Europe's Energy and Environment, 2003, http://iet.jrc.ec.europa.eu
[5]. Consortium for Energy Efficiency Inc., Motor Efficiency, Selection, and Management A Guidebook for Industrial Efficiency Programs, May 2011, http://www.motorsmatter.org
[6]. The Copper Development Association Inc., Introduction to Premium Efficiency Motors, http://www.copper.org/environment/sustainable-energy/electric-motors/education/motor_text.html
[7]. US Department of Energy (US DOE). Fact Sheet: Determining Motor Load and Efficiency. Developed as part of: Motor Challenge, a program of US DOE, http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/10097517.pdf

За контакти:
инж. Елена Кателиева, асистент в Катедра "Електротехника" на ВВМУ"Н.Й.Вапцаров", Варна ул.„В.Друмев" № 73, e-mail: elena_sj@abv.bg

Рецензент:
д-р инж. Майк Щреблау - ТУ-Варна

ИЗСЛЕДВАНЕ РАБОТАТА НА РАЗВОЙНА СИСТЕМА ЗА ИМИТИРАНЕ НА ВЯТЪРНА ТУРБИНА

STUDY OF DEVELOPMENT SYSTEM FOR WIND TURBINE SIMULATION

Димитър М. Димитров, Милен Б. Бонев, Живко Г. Гроздев

Резюме: Целта на статията е да се разгледа възможността за използването на развойна система тип Voltage Motor Control Kit TMDSHVMTRPFCKIT на Texas Instruments, използвана за имитиране работата на вятърна турбина, заменена от асинхронен двигател тип HVACIMTR. По този начин ще може да се реализира производството на енергия от автономен безчетков ветрогенератор. Използваната апаратура е закупена благодарение на проект НП-19/2012, финансиран целево от държавния бюджет.
Ключови думи: автономен ветрогенератор, развойна система, асинхронен двигател, Тексас Инструментс

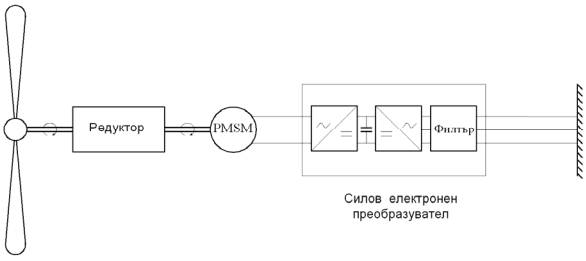
Abstract: The purpose of this article is to consider the use of development system Voltage Motor Control Kit TMDSHVMTRPFCKIT of Texas Instruments, used for simulating the operation of the wind turbine, which was replaced by an induction motor type HVACIMTR. It is a way to realize the energy production from wind brushless generator. The equipment was purchased through Project NP-19/2012, financed from the national budget.
Keywords: wind generator, brushless, development system, induction motor, Texas Instruments

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Замърсяването на околната среда в резултат на използването на фосилни горива е предпоставка за стремеж към ограничаване производството на конвенционална електрическа енергия и се полагат усилия за генериране на електричество от възобновяеми енергийни източници. Сред основните предимства на производството на електроенергия от възобновяеми източници, са липсата на вредни емисии във околната среда[1]. Един от начините за генериране на електрическа енергия от възобновяеми източници е да се използва вятърни турбини, които преобразуват енергията на вятъра в електричество.

Потенциалът на вятъра като възобновяем енергиен източник в света е значителен. Използването му за производство на електрическа енергия не се ограничава само до наземни вятърни турбини, съществуват значителни възможности за инсталиране на големи паркове за вятърна енергия в плитките води край бреговете и дори по-навътре в офшорни води.

Ветроенергетиката разработва теоретична основа, методи и средства за използване на кинетичната енергия на вятъра за получаване на механична, електрическа и топлинна енергия, *фиг.1*. Преимущества на енергията на вятъра са нейната достъпност, разпространение, практическа неизчерпаемост, а недостатък- непостоянство то и във времето. Използваните ветроенергийни устройства се състоят от ветроагрегат: силова машина - ветродвигател, и работна машина - електрически генератор.



Фиг. 1. Система за преобразуване на вятърна енергия

За научни изследвания в областта на системите за преобразуване на вятърната енергия, по-специално иновативни вятърни турбинни генератори, силови електронни преобразуватели, ефективни алгоритми за максимален добив на енергия и иновативно управление, използването на среда за експериментални изследвания с установени характеристики на вятърни турбини е от съществено значение [2].

Статията представя лабораторен експериментален модел на вятърна турбина,

реализиран на базата на развойна система тип TMDSHVMTRPFCKIT на Texas Instruments. Симулаторът може да се използва за изследователски приложения за задвижване електрически генератор по подобен начин като вятърна турбина, чрез възпроизвеждане на въртящия момент получен от една вятърна турбина за дадена скорост на вятъра. Мощностната характеристика на вятърната турбина физически се реализира чрез асинхронен електродвигател.

II. СИМУЛАТОР НА ВЯТЪРНА ТУРБИНА

1. Модел на вятърна турбина.

Вятърната енергия представлява кинетична енергия на големи въздушни маси, движещи се над земната повърхност. Перата на вятърната турбина получават тази кинетична енергия и тя се преобразува в механична или електрическа в зависимост от потребителските нужди. Ефективността на енергийното преобразуване зависи от ефективността, с която ротора на турбината взаимодейства с въздушния поток. Кинетичната енергия на въздушен поток с маса m и скорост V, може да се представи с израза [3]:

$$E = \frac{m}{2}.V_{wind}^2 \qquad (1)$$

Кинетичната енергия на въздушния поток, която би могла да се използва от турбината чрез работната повърхност на перата може да се представи като:

$$E = \frac{\rho v}{2}.V_{wind}^2 \qquad (2)$$

където ρ е плътност на въздуха, а ν е обема на порцията въздух, взаимодействаща с перата. Мощността на вятъра е кинетичната енергия на въздушния поток, взаимодействащ си с работната повърхност на перата, A [m^2] за единица време:

$$P_{wind} = \frac{\rho A}{2}.V_{wind}^3 \qquad (3)$$

Тъй като енергията на вятъра не може да се преобразува изцяло в механична, то механичната енергия на вала на турбината може да се представи:

$$P_m = C_p.P_{wind} \qquad (4)$$

$$P_m = C_p.\frac{\rho.A}{2}.V_{wind}^3 \qquad (5)$$

където C_p представлява характеристичен коефициент на мощност на вятърната турбина и зависи от отношението между скоростта на турбината $\omega_r R$ и скоростта на въздушния поток V_{wind} [m/s]:

$$\lambda = \frac{\omega_r R}{V_{wind}} \qquad (6)$$

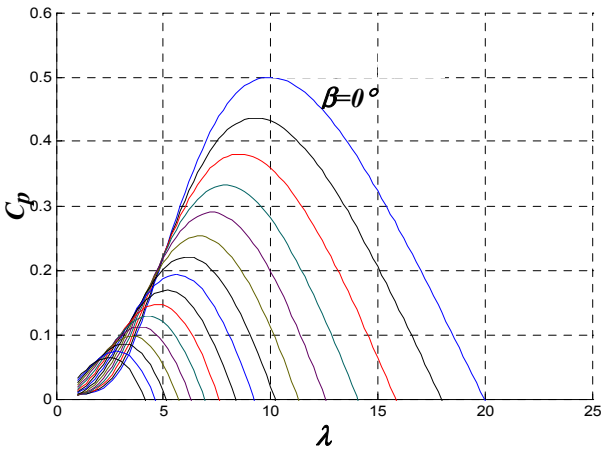
тук R е радиуса на турбината, а ω_r е ъгловата ѝ скорост.

Вятърната турбина представлява силно нелинейна система. Тя се представя чрез статичната характеристика на мощността ѝ. Приема се, че механичната предавка има безкрайна твърдост и нейната механична времеконстанта на турбината и механичната времеконстанта на генератора се представят чрез сумарната им времеконстанта T_M. Изходната мощност на турбината P_m [W] се представя чрез следното уравнение:

$$P_m = C_p.(\lambda,\beta)\frac{\rho.A}{2}.V_{wind}^3 \qquad (7)$$

където: C_p - характеристичен коефициент на мощност на турбината; ρ - плътност на въздуха $\left[kg/m^3\right]$; A - работна площ на перата на турбината $\left[m^2\right]$ V_{wind} - скорост на вятъра $\left[m/s\right]$; λ - отношение на скоростта на края на перото на турбината към скоростта на вятъра; β - ъгъл на атаката на перото на турбината $(pitch)$ $[deg]$.

На фиг.2 е показана характеристиката на турбината, представляваща зависимостта на характеристичен коефициент на мощност на турбината C_p от λ при различни ъгли на атаката $\beta = 0°,2°,4°,6°,8°,10°.....$



Фиг.2. Характеристика на вятърната турбината

Въртящият момент, произведен от вятърната турбина може да бъде представен чрез израза:

$$M_m = \frac{P_m}{\omega_r} \quad (8)$$

Като заместим (1.7) в (1.8), получаваме:

$$M_m = \frac{C_p.(\lambda,\beta)\rho.A.V_{wind}^3}{2\omega_r} \quad (9)$$

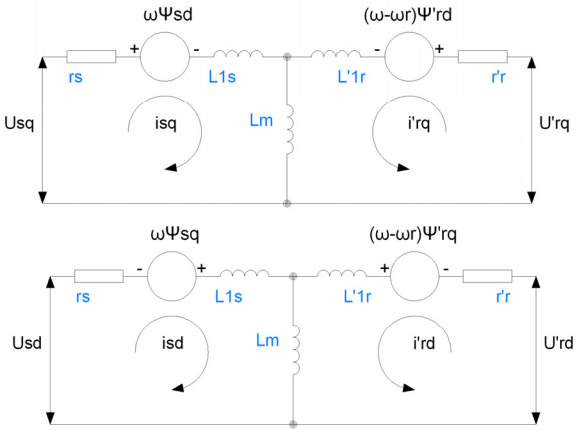
Когато скоростта на вятъра се увеличи, перата на вятърните турбини се завъртат на ъгъл β спрямо хоризонталната си ос с цел стабилизация. Като отчетем стабилизиращото въздействие, теоретичната скорост на въртене на вятърната турбина може да бъде представена като [4]:

$$\omega_r = \frac{C_p.(\lambda,\beta)\rho.A.(V_{wind}\cos\beta)^3}{2M_m} \quad (10)$$

Изразът (10) представя референтната скорост на ротора на вятърна турбина за определена скорост на вятъра. Референтната стойност на момента M_m от знаменателя на (10) се получава от статорния ток на асинхронния двигател.

2. Модел на асинхронен двигател

Модела на асинхронната машина е силно нелинеен, със силно взаимно влияние между отделните елементи. Опростена схема на подобен модел на асинхронна машина в двуфазна координатна система е показан на фиг.3. Той се използва за изработване на подходящ контролер с приблизителен входно-изходен модел по отношение на входа Us и изходните параметри: ъглова скорост ωr и момент M.



Фиг. 3. Модел на асинхронна машина

$$u_{sd} = r_s.i_{sd} + \frac{d\psi_{sd}}{dt} - \omega_s.\psi_{sq};$$

$$u_{sq} = r_s.i_{sq} + \frac{d\psi_{sq}}{dt} + \omega_s.\psi_{sd};$$

$$u_{rd} = r_r.i_{rd} + \frac{d\psi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega_r).\psi_{rq};$$

$$u_{rq} = r_r.i_{rq} + \frac{d\psi_{rq}}{dt} + (\omega_s - \omega_r).\psi_{rd};$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{2H}(M_e - M_m - F.\omega_m);$$

$$\frac{d\theta_m}{dt} = \omega_m;$$

$$\psi_{sd} = l_s.i_{sd} + l_m.i_{rd};$$

$$\psi_{sq} = l_s.i_{sq} + l_m.i_{rq};$$

$$\psi_{rd} = l_r.i_{rd} + l_m.i_{sd};$$

$$\psi_{rq} = l_r.i_{rq} + l_m.i_{sq};$$

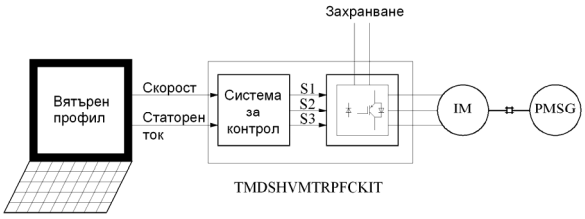
$$l_s = l_{sl} + l_m;$$

$$l_r = l_{rl} + l_m;$$

$$M_e = 1{,}5\,p(\psi_{sd}.i_{sq} - \psi_{sq}.i_{sd})$$

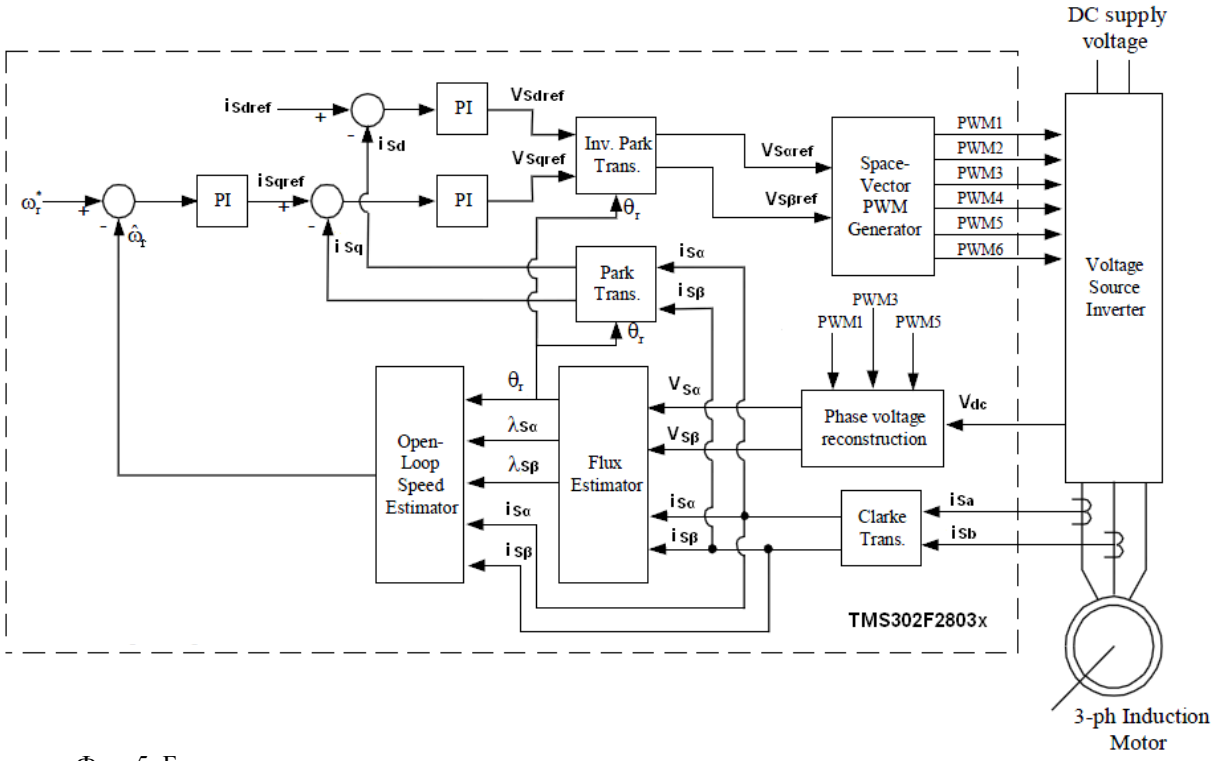
3. Експериментален симулатор

Симулатора на вятърна турбина е изграден на базата на развойна система, тип Voltage Motor Control Kit TMDSHVMTRPFCKIT на Texas Instruments. Структурата на експерименталния симулатор е представена на фиг.4.



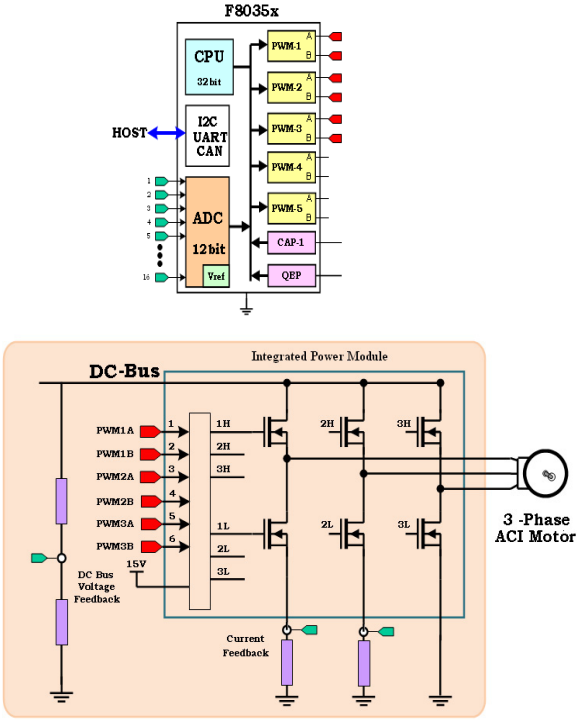
Фиг. 4. Структура на симулатора на вятърна турбина

Стратегията за управление използвана за управление скоростта на асинхронния двигател е векторно управление с директна ориентация на полето. При този метод на управление скоростта на полето се изчислява на базата на ъгъла на магнитния поток, който се получава с помощта на оценител на потока. Общата блок-схема на използвания метод за управление на асинхронния двигател е представена на фиг.5.



Фиг. 5. Блокова схема на векторно управление с директна ориентация на полето

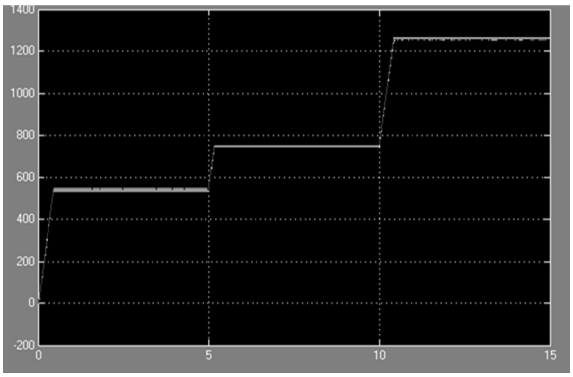
Трифазен IGBT инвертор преобразува фиксираното постоянно напрежение от звеното по постоянен ток, получено от мостовия изправител на входа, в трифазно променливо напрежение с регулируема честота, захранващо асинхронния двигател.



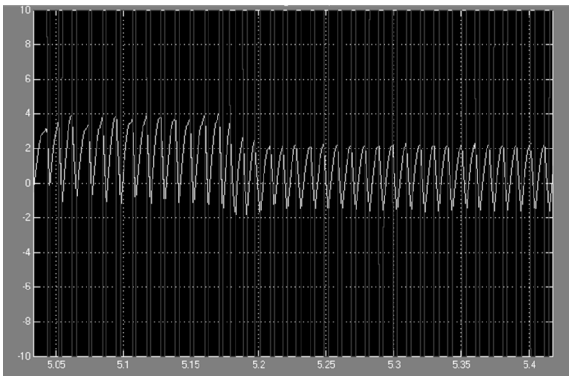
Фиг. 6. Структура на цифровия сигнален процесор

Основно звено в структурата на развойната система представлява цифровия сигнален процесор TMS320F28035 на Texas Instruments. Блоковата му структура е показана на фиг.6. TMS320F28035 управлява трифазния инвертор като изчислява стойностите на статорното напрежение и изпраща подходящи импулси към управляващите IGBT драйвери, базирани на разликите между желания и действителния ток, използвайки стратегията за векторно управление с директна ориентация на полето, представена по-горе.

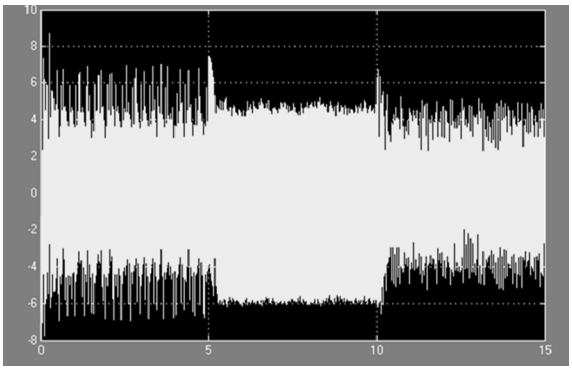
III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ



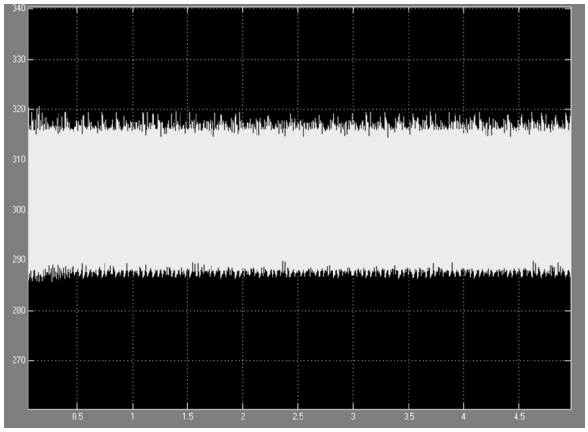
Фиг. 7. Изменение на скоростта на АД



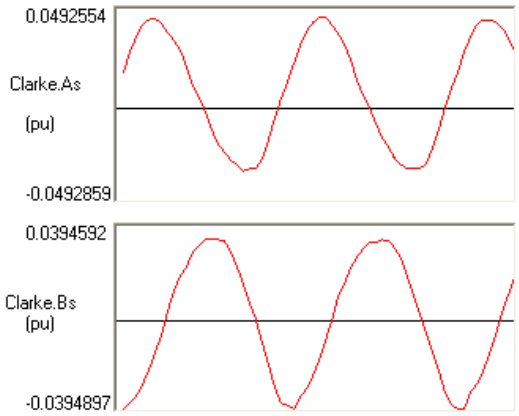
Фиг. 8. Изменение на електромагнитния момент



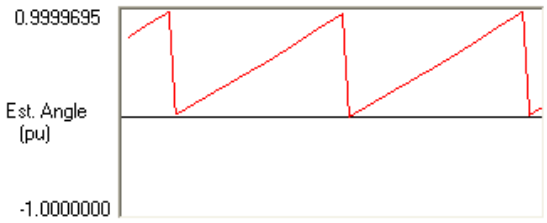
Фиг. 9. Изменение на статорния ток



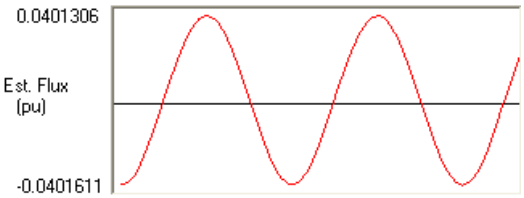
Фиг. 10. Изменение на напрежението в звеното за постоянен ток



Фиг. 11. Изменение на компонентите на статорния ток



Фиг. 12. Формиран ъгъл на дефазиране



Фиг. 13. Формиран електромагнитен поток в АД

IV. ИЗВОДИ

Статията представя лабораторен експериментален модел на вятърна турбина, реализиран чрез асинхронен двигател с помощта на алгоритъм за управление на въртящия момент на базата на развойна система тип TMDSHVMTRPFCKIT на Texas Instruments.

Симулаторът може да се използва за изследователски приложения за задвижване електрически генератор по подобен начин като вятърна турбина, чрез възпроизвеждане на въртящия момент получен от една вятърна турбина за дадена скорост на вятъра.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. L. Mihet-Popa, F. Blaabjerg, I. Boldea, “Wind turbine generator modeling and simulation where rotational speed is the controlled variable”, IEEE

Transactions on Industry Applications, vol. 40, no. 1, pp. 3-10, January/February 2004.
[2]. HM Kojabadi, L Chang, T Boutot, Development of a novel wind turbine simulator for wind energy conversion systems using an inverter-controlled induction motor, Energy Conversion, IEEE Transactions on (Volume:19 , Issue: 3)Sept. 2004
[3]. S. W. Mohod, M. V. Aware, Laboratory development of wind turbine simulator using variable speed induction motor, International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol. 3, No. 5, 2011, pp. 73-82
[4]. Md. Arifujjaman, M.T. Iqbal, J.E. Quacioe, Development of an Isolated Small Wind Turbine Emulator, The Open Renewable Energy Journal, 2011, 4, (Suppl 1-M2) 3-12

За контакти:
д-р инж. Милен Бонев, гл.асистент в Катедра ”Електроснабдяване и електрообзавеждане” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 107Е
д-р инж. Живко Гроздев, гл.асистент в Катедра ”Електроснабдяване и електрообзавеждане” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 204Е
инж. Димитър Димитров, асистент в Катедра ”Електроснабдяване и електрообзавеждане” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 204Е. dmdimitrov@tu-varna.bg

Рецензент:
доц. д-р инж. Борислав Димитров - ТУ-Варна

ИЗСЛЕДВАНЕ РАБОТАТА НА РАЗВОЙНА СИСТЕМА ИЗПОЛЗВАНА КАТО РЕГУЛИРУЕМ ИНВЕРТОР ЗА ВЕТРОГЕНЕРАТОР

STUDY OF DEVELOPMENT SYSTEM USING AS VSI FOR WIND GENERATOR

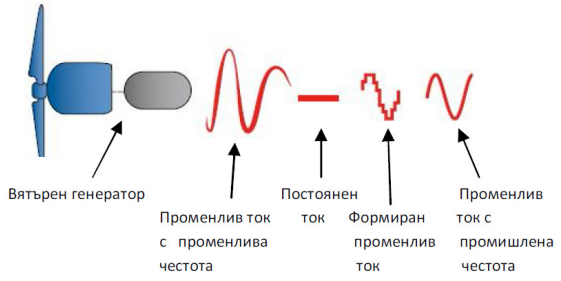
Димитър М. Димитров, Живко Г. Гроздев, Милен Б. Бонев

Резюме: В статията се изследва възможността за използването на получената енергия от автономен безчетков ветрогенератор тип HVPMSMMTR за захранване на центробежна помпа с асинхронен двигател тип АО 021/4. Използваната апаратура е закупена благодарение на проект НП-19/2012, финансиран целево от държавния бюджет.
Ключови думи: автономен, ветрогенератор, центробежна помпа, асинхронен двигател, регулируем инвертор

Abstract: The article explores the possibility of using the energy supplied by the wind turbine type HVPMSMMTR powering a centrifugal pump with induction motor type AO 021/4. The equipment was purchased through Project NP-19/2012, financed from the national budget.
Keywords: energy, wind turbine, centrifugal pump, induction motor, VSI

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Овладяването на вятърната енергия, в световен мащаб, се счита за една от най- бързо развиващите се технологии. И така, все повече и по-големи вятърни паркове се строят по суша и море. Подобряването на ефективността и надеждността при преобразуването на вятърна енергия в електрическа енергия са технологични предизвикателства, които са особено актуални днес.

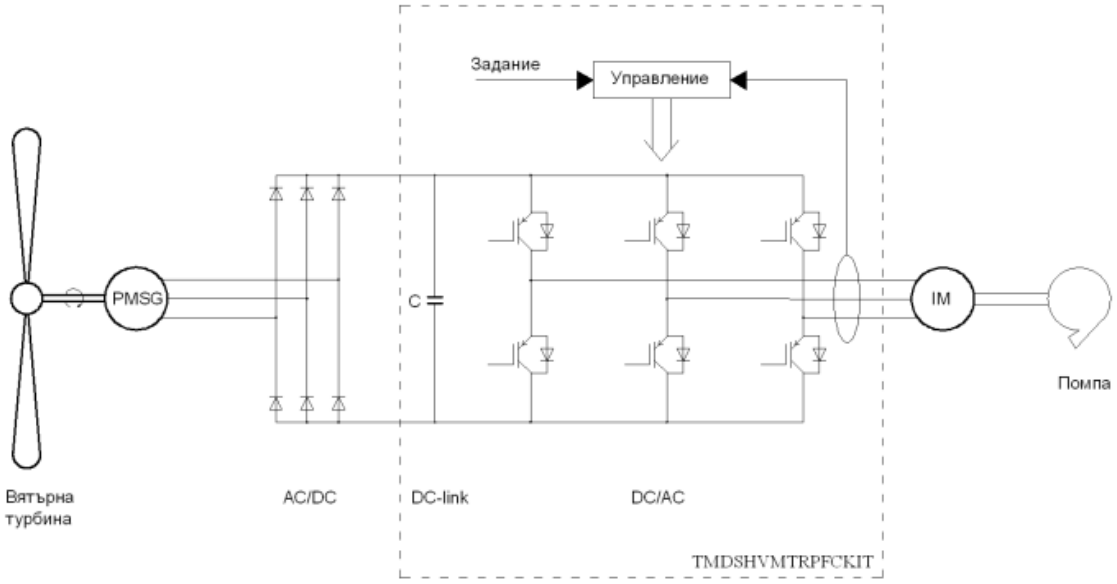


Фиг. 1. Преобразуване енергията на вятъра

Променливата скорост на вятъра, която влияе върху скоростта на въртене на ротора на вятърния генератор трябва да бъде преобразувана в променлив ток със стабилна амплитуда и постоянна честота. Съвременните ветроенергийни системи работят при различни скорости на ротора. Честотен преобразувател трансформира променливите напрежения и честота на генератора в необходимите мрежови стойности на честотата, ъгъл на дефазиране и амплитуда на напрежението. Националните и международни стандарти регулират надеждността и качеството на променливите ток и напрежение подавани към електропреносната мрежа. Пренасянето на активна и реактивна енергия и условията, при които системата за генериране на електроенергия от вятъра поддържа електропреносната мрежа или може да я изведе извън равновесие са регулирани изцяло. Подобни високи изисквания се предявяват и по отношение на хармоничния състав на токовете и напреженията. Ако вятърните енергийни системи изпълняват всички необходими изисквания за свързване към електропреносната мрежа поставени от системните оператори, т.нар. grid code, те могат да имат съществен принос в утвърждаването на възобновяемите енергийни източници като надежден енергиен ресурс.

Съществуват две основни генераторни концепции реализирани на съвременния пазар: ветроенергийни системи, реализирани с асинхронни генератори с двойно захранване или такива, реализирани със синхронни генератори с постоянни магнити. И двете концепции, обаче, са базирани на генератори с регулируема честота на въртене.

При първите, ротора на турбината, въртящ се с променлива честота, задвижва асинхронен генератор с двойно захранване с помощта на редуктор. Роторът на генератора е свързан с електрическата мрежа посредством честотен преобразувател, което позволява надсинхронни и подсинхронни операции да реализират мрежова честота. Като резултат се получава управляем по скорост генератор, при който само част от изходната мощност се



Фиг. 2. Система за преобразуване на вятърна енергия

преобразува през инвертора в такава с подходящи мрежови показатели.

Синхронните генератори с постоянни магнити постигат по-висока ефективност в области с частично натоварване. Без редуктори, системите са снабдени с бавно-въртящи се генератори с голям брой полюси. В резултат на оптимизацията на ефективността и ограничаване броя на съставите компоненти, особено за нуждите на офшорните структури, голямо приложение намират безредукторни системи с пълно преобразуване.

В статията е направено изследване работата на развойна система тип TMDSHVMTRPFCKIT на Texas Instruments като управляем силов преобразувател в лабораторен експериментален модел на автономен ветрогенератор, реализиран на базата на СГПМ за захранване на центробежна помпа с асинхронен двигател тип АО 021/4.

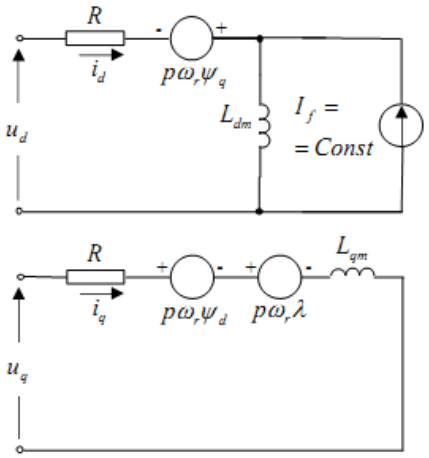
II. МОДЕЛ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНА СИСТЕМА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА ЦЕНТРОБЕЖНА ПОМПА

На фиг.2. е представена структурната схема на ветроенергийна система за електрозахранване на центробежна помпа, задвижвана от асинхронен двигател.

Вятърната турбина задвижва ротора на автономния безчетков генератор, който е свързан посредством управляем преобразувател към изпълнителния механизъм. Тази структура предлага максимална гъвкавост, осигурява пълен контрол на активната и реактивната мощности и възможност за избягване на грешки по време на напреженови провали [1] .

1. Модел на синхронен генератор с постоянни магнити.

За симулиране на процесите в синхронния генератор се използва пълният му модел в осите *d,q,0*, въртящи се с ротора, записан във формата на Коши [2]:



Фиг.3. Еквивалентни схеми на СГПМ

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & 0 \\ 0 & b_{22} \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \text{Н}_\text{Г} + \text{В}_\text{Г}\cdot\text{U}_2;$$

$$\frac{d}{dt}\omega_r = \frac{1}{T_M}(M_\text{Т} - M_\text{Г});$$

където: i_d, i_q - токове по осите d, q;

u_d, u_q - напрежения по осите d, q;

$a_{11} = r / l_d$; $a_{12} = l_q.\omega_r / l_d$; $a_{21} = l_d.\omega_r / l_q$;

$a_{22} = r / l_q$; $b_{11} = 1 / l_d$; $b_{22} = 1 / l_q$;

l_d, l_q - индуктивности по надлъжната и напречната оси; r - съпротивление на статорната намотка; ω_r - ъглова скорост на ротора;

$M_\Gamma = i_q.\left[\psi + \left(l_d - l_q\right).i_d\right]$

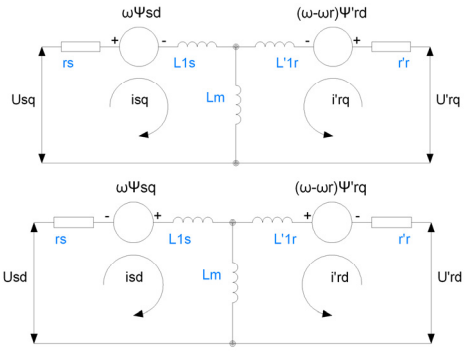
електромагнитен момент на генератора;

M_T - механичен момент на турбината;

ψ - амплитуда на потока, индуциран от постоянните магнити на ротора в статорните намотки.

2. Модел на асинхронен двигател.

Модела на асинхронната машина е силно нелинеен, със силно взаимно влияние между отделните елементи. Опростена схема на подобен модел на асинхронна машина в двуфазна координатна система е показан на фиг.4. Той се използва за изработване на подходящ контролер с приблизителен входно-изходен модел по отношение на входа Us и изходните параметри: ъглова скорост ωr и момент M.



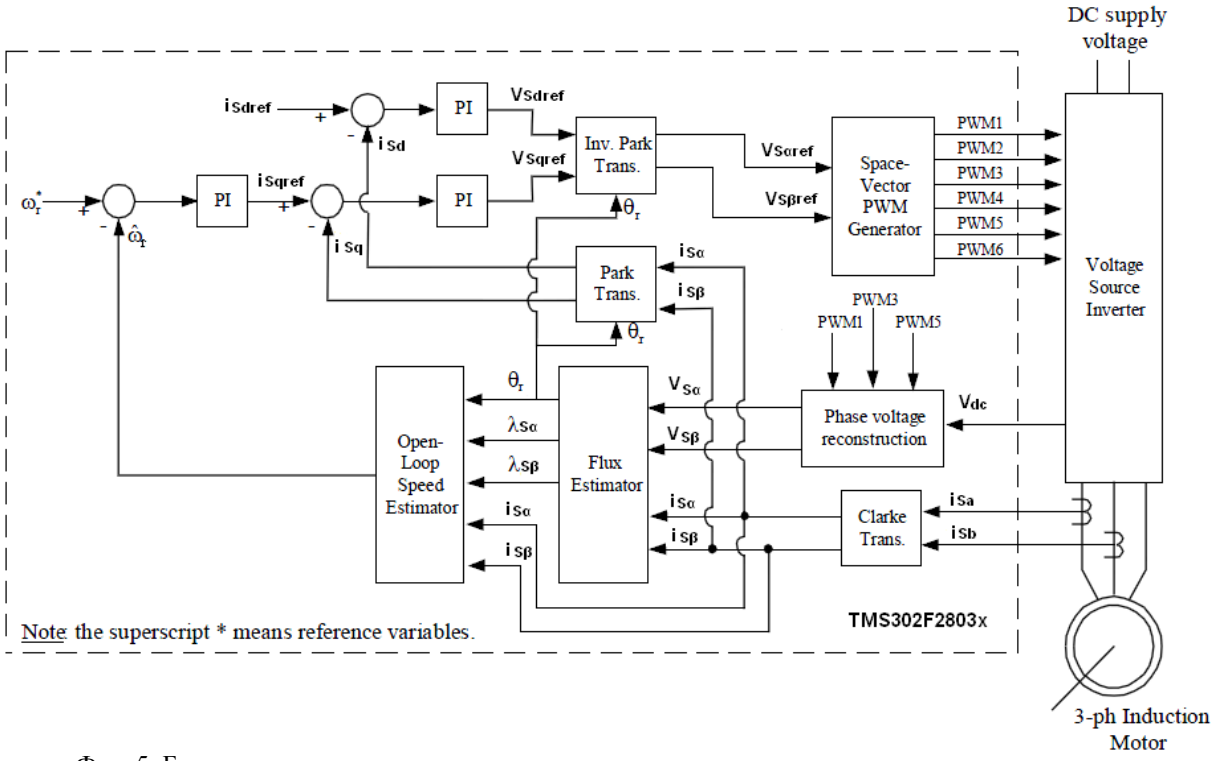
Фиг. 4. Модел на асинхронна машина

$$\psi_{sd} = l_s.i_{sd} + l_m.i_{rd};$$
$$\psi_{sq} = l_s.i_{sq} + l_m.i_{rq};$$
$$\psi_{rd} = l_r.i_{rd} + l_m.i_{sd};$$
$$\psi_{rq} = l_r.i_{rq} + l_m.i_{sq};$$
$$l_s = l_{sl} + l_m;$$
$$l_r = l_{rl} + l_m;$$
$$u_{sd} = r_s.i_{sd} + \frac{d\psi_{sd}}{dt} - \omega_s.\psi_{sq};$$
$$u_{sq} = r_s.i_{sq} + \frac{d\psi_{sq}}{dt} + \omega_s.\psi_{sd};$$
$$u_{rd} = r_r.i_{rd} + \frac{d\psi_{rd}}{dt} - \left(\omega_s - \omega_r\right).\psi_{rq};$$
$$u_{rq} = r_r.i_{rq} + \frac{d\psi_{rq}}{dt} + \left(\omega_s - \omega_r\right).\psi_{rd};$$
$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{2H}\left(M_e - M_m - F.\omega_m\right);$$
$$\frac{d\theta_m}{dt} = \omega_m;$$
$$M_e = 1{,}5\,p\left(\psi_{sd}.i_{sq} - \psi_{sq}.i_{sd}\right)$$

3. Метод за управление.

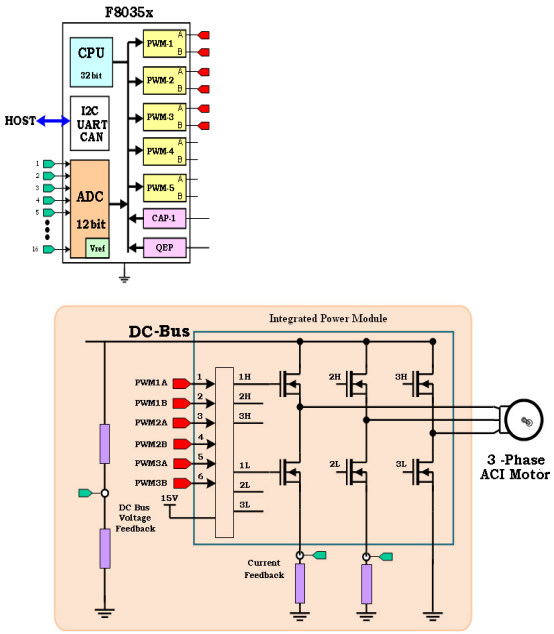
Стратегията за управление използвана за управление скоростта на асинхронния двигател е векторно управление с директна ориентация на полето. При този метод на управление скоростта на полето се изчислява на базата на ъгъла на магнитния поток, който се получава с помощта на оценител на потока. За силовия преобразувател от страна на мрежата стратегията за управление, основаваща се на управлението с ориентация по полето цели да поддържа нивото на напрежение в звеното за постоянен ток, постоянно. Векторното управление изисква вътрешни токови контури за контрол във въртяща координатна система и също така, елиминиране на взаимно влияещите се компоненти по осите d и q. Фазоследящ контур изчислява фазовия пространствен ъгъл на мрежовото напрежение при координатните трансформации [3]. D оста на координатната система се ориентира спрямо пространствения вектор на напрежението, така максимален фактор на мощността се получава, когато iq клони към нула и пространствените вектори на тока и напрежението са във фаза. Управляващите импулси към електронните ключове се реализират на базата на пространствено-векторна модулация [4]. Общата блок-схема на използвания метод за управление на асинхронния двигател е представена на фиг.5.

Основно звено в структурата на развойната система представлява цифровия



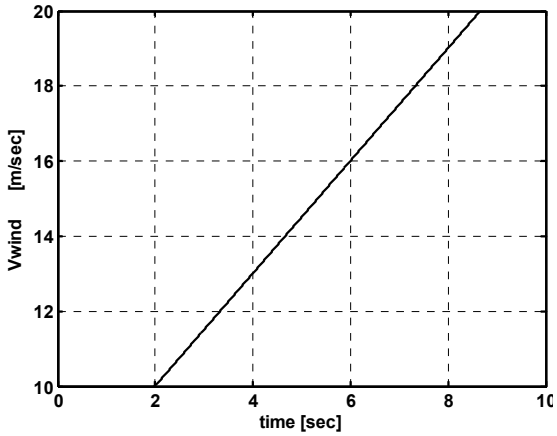
Фиг. 5. Блокова схема на векторно управление с директна ориентация на полето

сигнален процесор TMS320F28035 на Texas Instruments. Блоковата му структура е показана на фиг.6. TMS320F28035 управлява трифазния инвертор като изчислява стойностите на статорното напрежение и изпраща подходящи импулси към управляващите IGBT драйвери, базирани на разликите между желания и действителния ток, използвайки стратегията за векторно управление с директна ориентация на полето, представена по-горе.



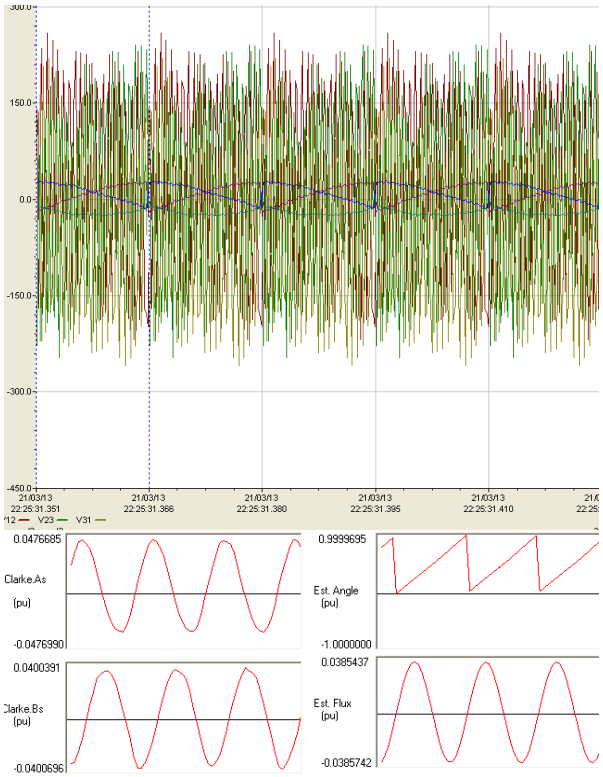
Фиг. 6. Структура на цифровия сигнален процесор

III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ.

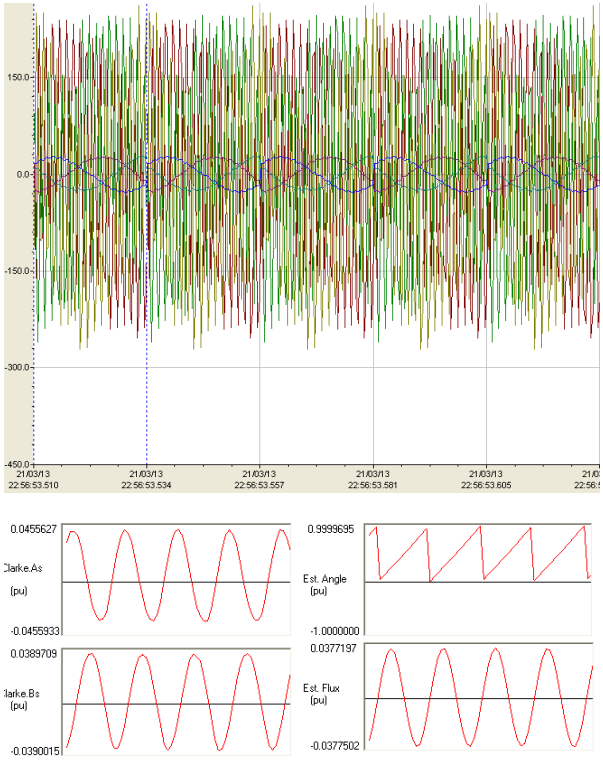


Фиг. 7. Изменение на вятъра

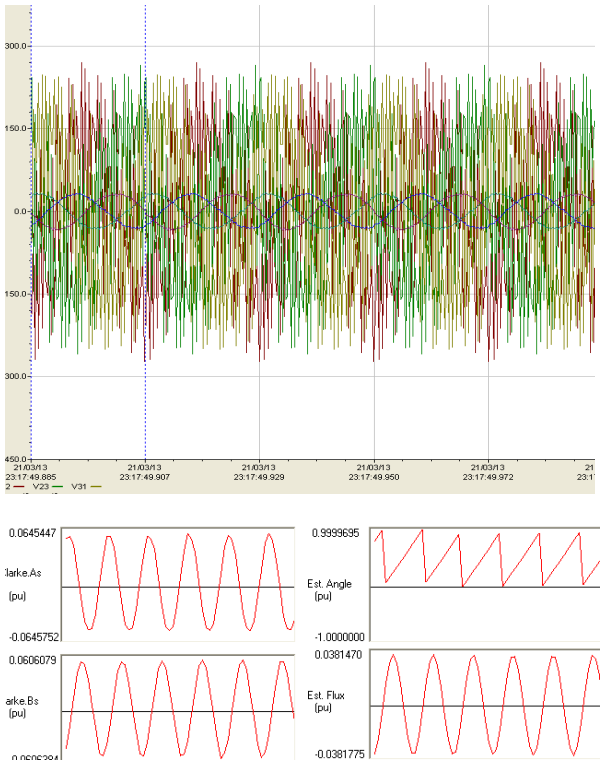
Фиг.7. описва изменението на вятъра в работен диапазон на ветротурбината от v= 10 m/s до v= 20 m/s.На фигурата се вижда как работната скорост на турбината е v= 10 m/s в началото, след което настъпва изменение в скоростта на вятъра и той започва да се увеличава постепенно до достигане на стойност от v= 20 m/s, след достигане на тази стойност ветротурбината продължава да работи с v= 20 m/s.



Фиг. 8. Изменение на фазните токове и напрежения, изчислени ъгъл на дефазиране и поток при зададена скорост на АД n=750 min^{-1}



Фиг. 9. Изменение на фазните токове и напрежения, изчислени ъгъл на дефазиране и поток при зададена скорост на АД n=1000 min^{-1}



Фиг. 10. Изменение на фазните токове и напрежения, изчислени ъгъл на дефазиране и поток при зададена скорост на АД n=1300 min^{-1}

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статията представя лабораторен експериментален модел на електрозадвижване на центробежна помпа, реализирано чрез асинхронен двигател и захранено от автономен безчетков ветрогенератор. Управлението на системата се осъществява с помощта на алгоритъм за управление на въртящия момент на базата на развойна система тип TMDSHVMTRPFCKIT на Texas Instruments. Моделът на електроенергийната система може да се използва за изследване ефективността както на изпълнителния механизъм, така и на генератора чрез алгоритмите на векторно управление.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Kenneth E. Okedu, “Wind Turbine Driven by Permanent Magnet Synchronous Generator”, The Pacific Journal of Science and Technology Volume 12. Number 2. November 2011.

[2]. Daskalov G.,Mihajlov B.,Dynamical Model of Permanent Magnet Synchronous Motors, Journal of the Technical University at Plovdiv, “Fundamental Sciences and Applications”, Vol. 13(4), 2006

[3]. Noureddine Hidouri and Lassâad Sbita, An IRFOC Drive Scheme for a SEIG-Wind Turbine Water Pumping System, Proceedings Engineering & Technology, - Vol.1, pp93-98, 2013
[4]. Rui Melício, Victor M. F. Mendes and João P. S. Catalão, Wind Turbines with Permanent Magnet Synchronous Generator and Full-Power Converters: Modelling, Control and Simulation

За контакти:
д-р инж. Милен Бонев, гл.асистент в Катедра ”Електроснабдяване и електрообзавеждане” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 107Е
д-р инж. Живко Гроздев, гл.асистент в Катедра ”Електроснабдяване и електрообзавеждане” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 204Е
инж. Димитър Димитров, асистент в Катедра ”Електроснабдяване и електрообзавеждане” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 204Е. dmdimitrov@tu-varna.bg

Рецензент:
доц. д-р инж. Борислав Димитров - ТУ-Варна

ИЗСЛЕДВАНЕ НА АВТОНОМНИ ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ

RESEARCH OF STAND-ALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Светлозар К. Захариев, Димитър И. Димитров

Резюме: Представени са експериментални резултати от изследвания на автономни фотоволтаични системи. Показани са токоразпределения, външни характеристики, товарни характеристики, мощностни характеристики и енергийна ефективност при промяна на входно-изходните параметри. Резултатите от изследванията са полезни и могат да се използват при проектиране и оразмеряване на автономни фотоволтаични системи.
Ключови думи: акумулаторна батерия, контролер за заряд, слънчева радиация фотоволтаичен модул

Abstract: In the report are presented experimental results of stand-alone photovoltaic systems. Current distributions, external characteristics, load characteristics, power characteristics and energy efficiency are illustrated when input-output parameters are changed. The results of the experiments are useful for designing and dimensioning of stand-alone photovoltaic systems.
Keywords: accumulated battery, charge controller, photovoltaic module, solar radiation

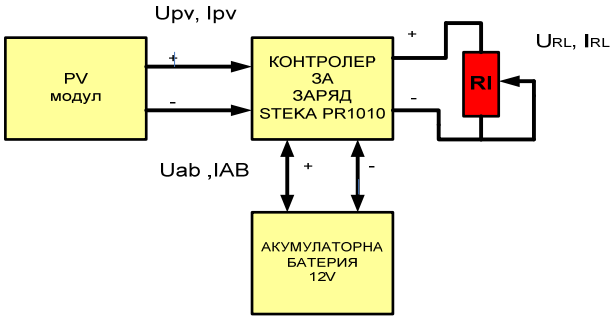
I. ВЪВЕДЕНИЕ

Основните елементи изграждащи автономни фотоволтаични системи са: фотоволтаични модули(PV), контролери за заряд, акумулаторни батерии(АБ) и постоянно токови консуматори(Rl). Основните функции на контролера за заряд са зареждане на акумулаторната батерия, използвайки широчинно-импулсен метод за регулиране, регистриране на състоянието и защита на елементите в схемата от недопустими стойности на електрически влияния. Допълнителни са функциите, свързани с диагностика и настройки. В литературата липсват изследвания на КПД на контролер при различни входно изходни въздействия.

Проведени са три експериментални програми. Една от тях е осъществена в лабораторията по Алтернативни източници на енергия в ДТК Добрич, а другите две са реализирани по европейски проект ERLICHARGE на програма DERri към 7-ма рамкова програма на Еропейската Общност. Проектът ERLICHARGE е проведен в Националния Институт по Слънчева Енергетика на Република Франция-INES –SAE France.

В първата експериментална програма, изследванията са при постоянна соларна енергия и изменение на големината на товара в широк диапазон. Постигат се зарядни и разрядни режими при изменение на напрежението на акумулаторната батерия от минимално допустимо напрежение до максимално допустимо напрежение и контролер, който не следи точката на максимална мощност. Във втора и трета експериментални програми се променя соларната енергия. Използван е автоматичен програмируем товар, който в трета експериментална програма е постоянен Prl =1000 W, а във втора е с две стойности – 1000W и 1250W. Постигат се зарядни и разрядни режими в зададен широк диапазон. Контролерът съгласува входното високо напрежение с напрежението на акумулаторната батерия.

Целта на изработката е при различни параметри на основните елементи в схемата и различни входно-изходни въздействия на автономна фотоволтаична система да се определят и анализират токоразпределения, външни характеристики, товарни характеристики, мощностни характеристики и коефициент на полезно действие.



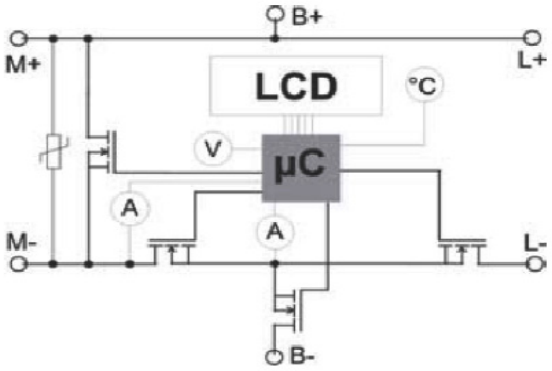
Фиг.1. Блокова схема
на експериментална програма 1

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Експериментална програма 1

Схемата за изследване на автономна фотоволтаична система включва контролер Steka PR1010, поликристален CIF-PV модул WSK0020, регулируем товар и оловна акумулаторна батерия. Някои основни параметри на включените елементи са:

Контролер за заряд-максимален заряден ток на АБ-Iab max=10A, максимален разряден ток Iab min= –10A, максимален товарен ток $I_{RL\ max}$=10A. На фиг.2 е показана блокова схема на силовата верига на контролера:



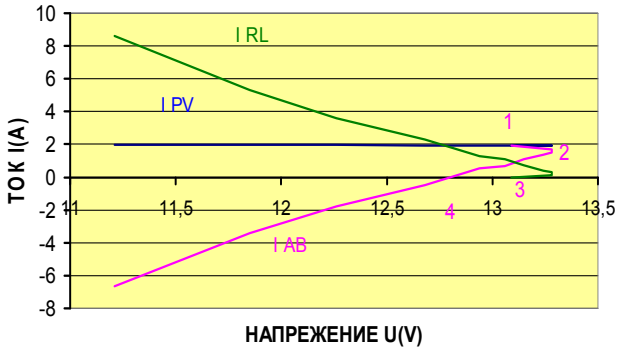
Фиг.2. Силова верига на контролер

Голям LCD дисплей показва текущото състояние на основните параметри в отделните блокове. Микропроцесорът изпълнява функции по управление, регулиране и защити. Контролерът служи за зареждане на 12V или 24V оловни акумулаторни батерии единствено от соларни модули. Управлението и регулирането се осъществява чрез широчинно-импулсен метод на превключването на силовите транзистори в контролера.

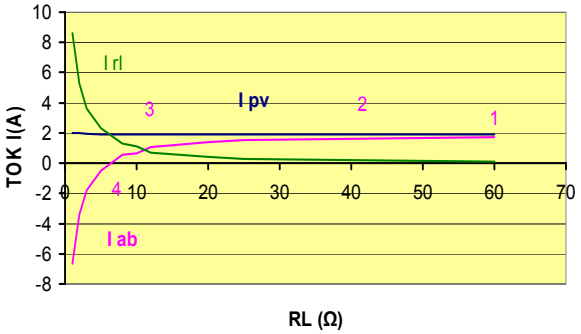
Максималната пикова мощност на фотоволтаичния модул е 35W.

Акумулаторната батерия е тягова 65Ач-производство на фирмата Монбат,Uab min=11V, Uab max=13.8V.

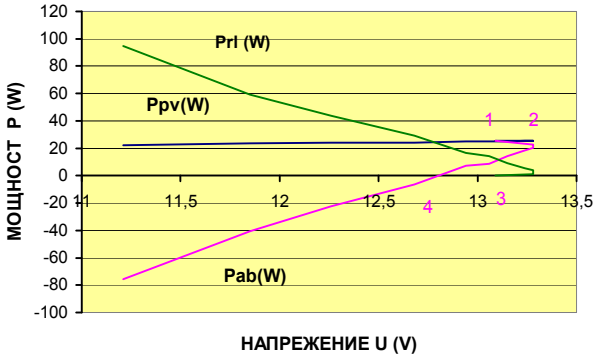
На фиг.1 е показана блоковата схема за провеждане на експеримента.Слънчевата радиация е константна 800 W/m². Експерименталната програма започва при 13,09V напрежение на акумулаторната батерия и съпротивление Rl=60Ω и продължава с намаляването им до Rl= 1 Ω, и Uab=11,21V. Резултатите са представени в графичен вид. Показани са външна, товарна и мощностна характеристика и зависимостта на КПД=f(U) на контролера, съответно на фигури 3, 4, 5 и 6.



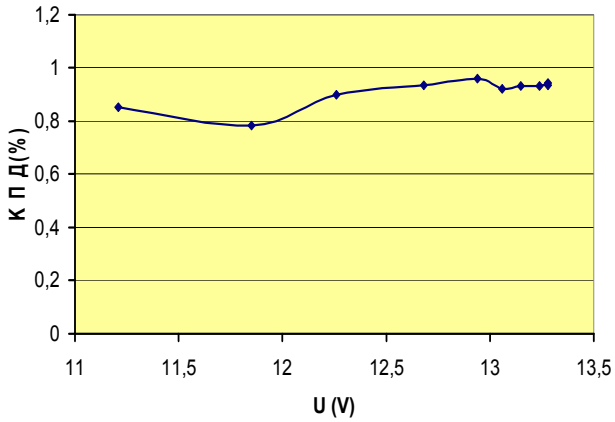
Фиг.3. Външна характеристика-експериментална програма 1



Фиг.4. Товарна характеристика- експериментална програма 1



Фиг.5. Мощностна характеристика-експериментална програма 1



Фиг.6. Зависимост кпд=f(U) – експериментална програма 1

Снемането на външната характеристика започва от точка 1 при 13.1V напрежение на акумулаторната батерия. В тази точка постояннотоковият товар е изключен и I_{RL}=0A, а Ipv=Iab+Iz^1. (Iz^1-ток на загуби при изключен товар). С включването на RL токът му започва да расте, а тока на акумулаторната батерия намалява. В точка 2 нарастването на напрежението се преустановява,поради увеличаване на пада на напрежение върху товара. В точка 3 I_{RL}=Iab=0.5Ipv. В сила е разпределението:

$$Ipv=I_{RL}+Iab+Iz^2 \quad (1)$$

Iz^2- ток на загуби в контролера при включен товар и заряд на акумулаторната батерия. След точка 3 токът през товара става по-голям от зарядния ток на акумулатора и той расте за сметка на намаляване на зарядния ток на акумулатора.

В точка 4 токът на акумулаторната батерия IAb=0, а Ipv=I_{RL}+Iz^3 . (Iz^3-загуби при нулев ток на акумулаторната батерия).След тази точка започва разряд на акумулаторната батерия и напреженията Uab, Upv и U_{RL} намаляват. С увеличаване на стойността на товара точка 4 се придвижва на ляво, а с намаляването му се придвижва надясно по абсцисната ос. Енергията необходима за захранване на RL се доставя от АВ и Pv разпределението на токовете е :

$$Ipv=Iab+Iab+Iz'' \quad (2)$$

Iz''-ток на загуби при разряд на акумулатора

Работната точка на фотоволтаичния модул е в границите 11,2V-13,3V.Това напрежение е много по-ниско от напрежението при максимална мощност представено от фирмата производител на фотоволтаичния модул WSK0020-voltageMPP(V)=16.5V и change of voltage per -0.29°C. КПД на контролера варира в граници от 0,78% до 0,96%. Ефективността му намалява с увеличаване на товарния ток.

2. Експериментални програми 2 и 3

Схемата за изследване на експериментални програми 2 и 3 е показана на фиг.7. Тя включва контролер за заряд Out Back модел FLEX MAX 60, фотоволтаичен симулатор модел PV Array simulater 3 IV. Control Unit3 последователно свързани акумулаторни батерии модел LUMINOUS ELEKTRA TALL TABULAR и автоматичен програмируем товар Programable AC/DC electronic load model Chroma 63803.

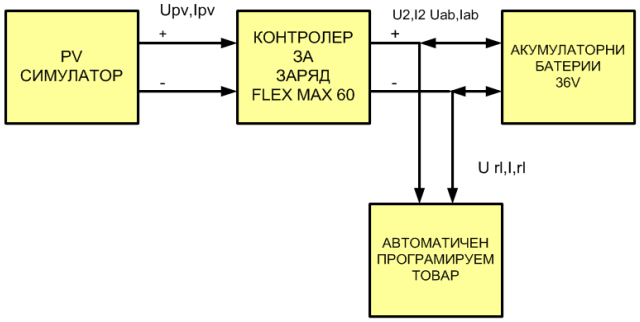
Някои основни параметри на включените елементи са:

Контролер за заряд - номиналните напрежения на акумулаторните батерии са 12V, 24V, 36V, 48V и 60V; максимален изходен ток-60A; максимално напрежение на фотоволтаичния модул при отворена верига-145V; енергийна ефективност на контролера-98,1% при 48V система и товар 60A. Работи със следене точката на максимална мощност MPPT.

Фотоволтаичният симулатор е произведен в Австрийския Технологичен Институт-Austrian Institut of Tehnology.

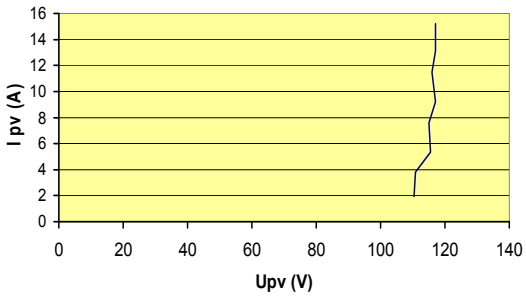
Максималната мощност на програмируемия товар е 3600W.

Напрежение на акумулаторната батерия-12V, капацитет-150Ач, 48 и 875W мощност при включване на инвертор.

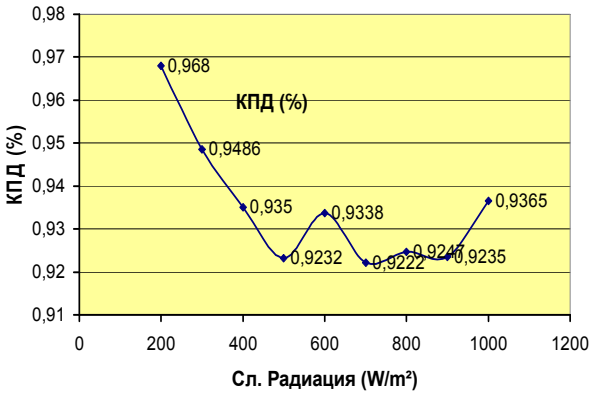


Фиг.7. Блокова схема на експериментални програми 2 и 3

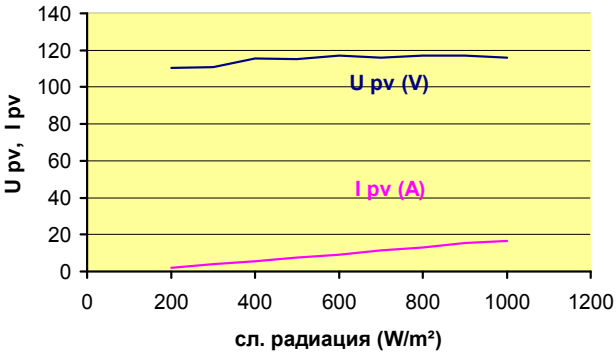
Резултати от експериментална програма 2



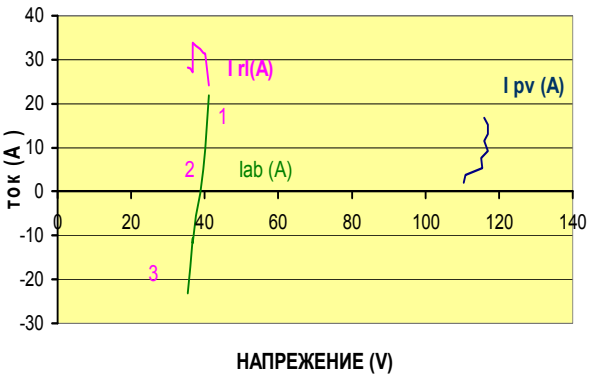
Фиг.8а. V-A характеристика- експериментална програма 2



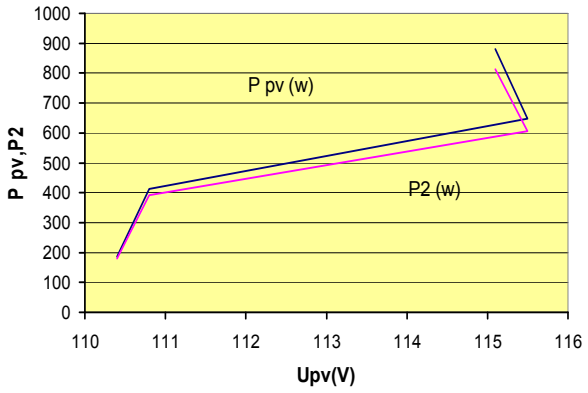
Фиг.9б. КПД на контролера-експериментална програма 2



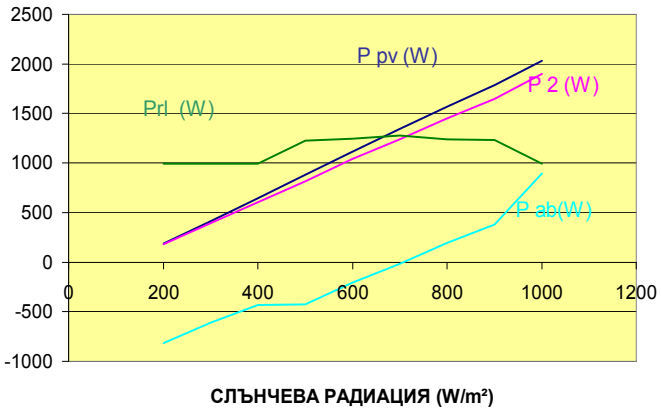
Фиг.8б. PV параметри функция от сл. радиация-експериментална програма 2



Фиг.10а. Външна характеристика-експериментална програма 2

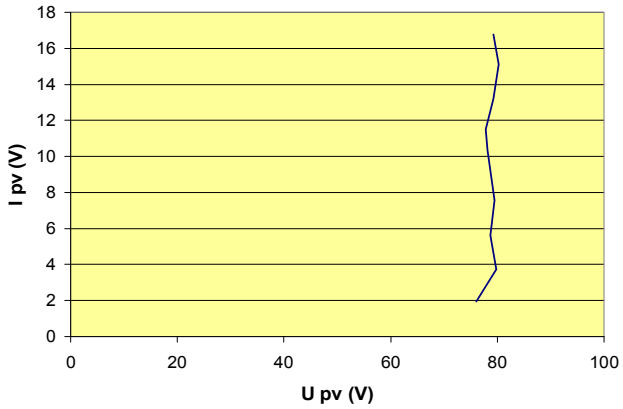


Фиг.9а. Мощностна характеристика на контролера-експериментална програма 2

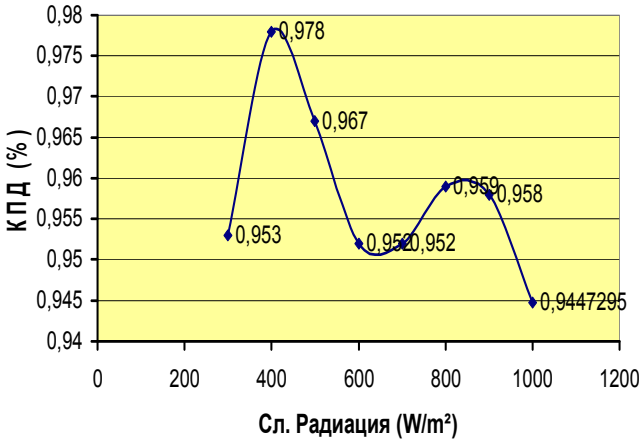


Фиг.10б. Мощностна характеристика във функция от сл. радиация-експер. програма 2

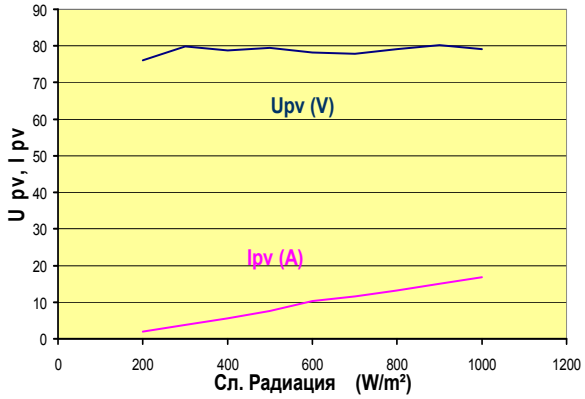
Резултати от експериментална програма 3



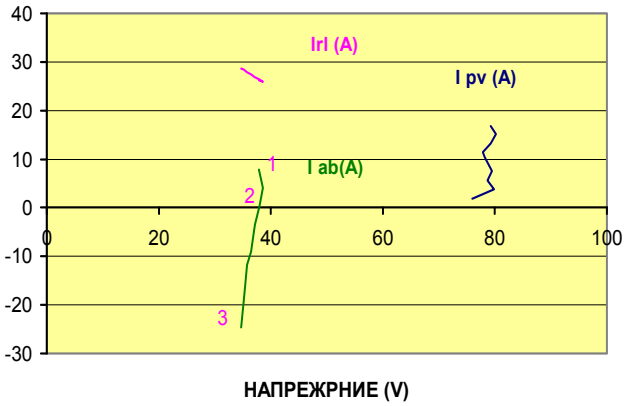
Фиг.11а. V-A характеристика- експериментална програма 3



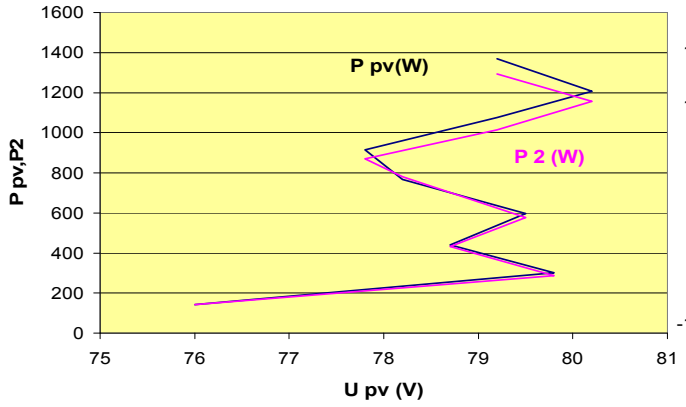
Фиг.12б. КПД на контролера- експериментална програма 3



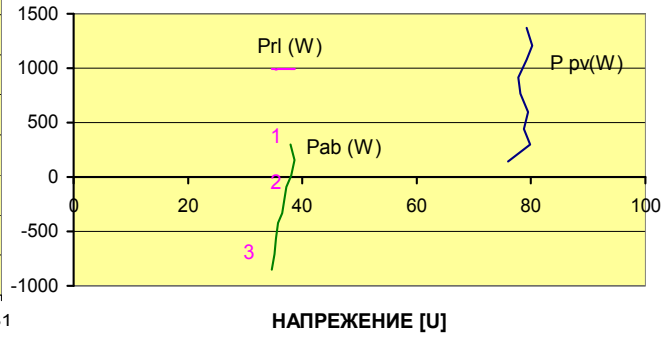
Фиг.11б. PV параметри функция от сл. радиация- експериментална програма 3



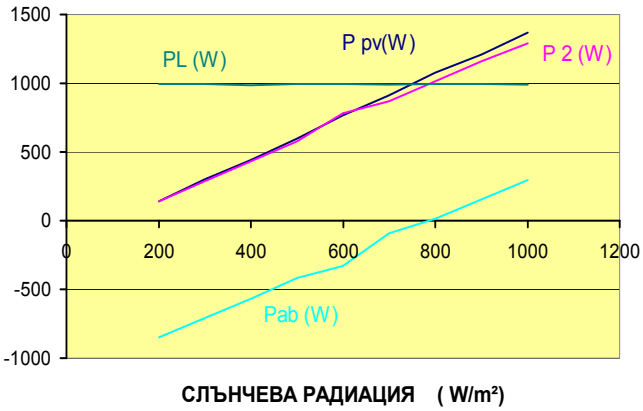
Фиг.13а. Външна характеристика-експериментална програма 3



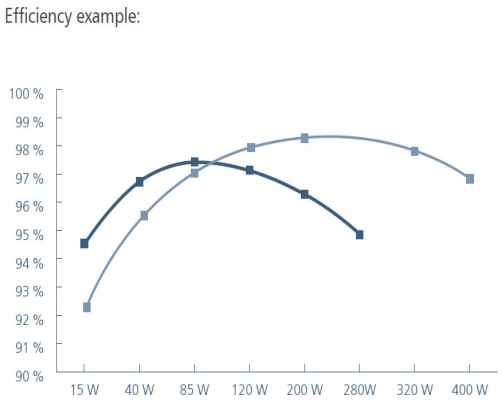
Фиг.12а. Мощностна характеристика на контролера - експериментална програма 3



Фиг.13б. Мощностна характеристика във функция от напрежението- експериментална програма 3



Фиг.13в. Мощностна характеристика във функция от сл. радиация- експер. програма 3



Фиг.14. Кпд на контролер Steka Solarix MPPT 1010

На фигури 8а, 8б ,11а и 11б са представени електрически параметри на фотоволтаичния симулатор при промяна на слънчевата радиация. При втора и трета експериментални програми с намаляване на слънчевата радиация напрежението Umppt е по-малко от точките с по-голяма слънчева радиация.

Мощностни характеристики на елементите в схемата са показани на фигури 10б, 13б и 13в. Те са снети във функция от напрежението и слънчевата радиация. Прави впечатление, че с увеличаване на слънчевата радиация се увеличават загубите в контролера и намалява коефициента на полезно действие.

Аналогично на експериментална програма 1 и тук във външната характеристика от точки 1 до 2 е налице режим на заряд, а от точка 2 до 3 е налице режим на разряд.

Зависимостта на коефициента на полезно действие от слънчевата радиация е илюстрирана на фигури 9б и 12б . И при двата експеримента с увеличаване на слънчевата радиация кпд намалява.Увеличаването на слънчевата радиация води до увеличаване на тока Ipv, което увеличава коефициента на запълване на силовите елементи ∂ и увеличава загубите, намалява вторичната мощност и намалява КПД.

III. ИЗВОДИ

Изследвани са три автономни фотоволтаични системи. Визуализирани са токоразпределения, външни характеристики, товарни характеристики, мощностни характеристики и енергийна ефективност при промяна на входно-изходните параметри. Коефициентът на полезно действие на контролер Steca PR1010 е по-нисък от контролер Out Back FLEX MAX 60. При определени условия достига стойности по-ниски от 80%. Коефициентът на полезно действие намалява при увеличаване на товарния ток и увеличаване на слънчевата радиация. Резултатите от изследванията са основание да се използват при проектиране и оразмеряване на автономни фотоволтаични системи.

ЛИТЕРАТУРА:

[1].Б. Димитров Слънчева енергетика
Издателство: ТУ Варна 2011
[2].С. Захариев,Д. Димитров Изследване на контролер за заряд на акумулаторна батерия във фотоволтаична система от островен тип,Научни трудове на Русенския Университет-2010г.,том49,серия 3.1
[3]. С. Захариев,С. Гишин,Д. Димитров Една възможност за оптимизиране на заряда в автономна фотоволтаична система ,Известия на съюза на учените-Варна 1’2012
[4]www.wuerth-solar.com
[5]www.sulfurcell.com
[6]www.stecasolar.com
[7]www.outbackpower.com
[8]www.axiomtest.com
[6]www.marvelenergytech.com
[6]www.steca.com

За контакти:
инж. Светлозар Захариев, гл. ас. в ”Добруджански Технологичен Колеж” към ТУ-Варна , гр. Добрич, кв.”Добротица” 12 , e-mail: skzahariev@abv.bg
д. т. н. Димитър Димитров,-професор в Катедра ”Електротехника и електротехнологии” при ЕФ на ТУ-Варна. e-mail:prof_dimitrov@abv.bg

Рецензент:
доц. д-р инж. Ангел Врангов - ТУ-Варна

КОМПЕНСАЦИЯ НА РЕАКТИВНИ ТОВАРИ ВЪВ ФОТОВОЛТАИЧНИ ЦЕНТРАЛИ ПРИСЪЕДИНЕНИ НА СРЕДНО НАПРЕЖЕНИЕ 20 KV

REACTIVE POWER COMPENSATION IN PHOTOVOLTAIC PLANTS CONNECTED TO MEDIUM VOLTAGE 20 KV

Валентин Н. Гюров, Владимир Ч. Чиков, Никола И. Македонски, Румен М. Киров

Резюме: С внедряването на фотоволтаични централи (ФвЕЦ) и присъединяването им към електроразпределителната мрежа, възникна нов проблем, свързан с компенсирането на капацитивната мощност, генерирана от кабелните линии средно напрежение. Този проблем е познат в електроснабдителните системи, но спецификата на обектите – динамично изменящ се източник на енергия в рамките на денонощието, изисква нови подходи при проектирането, изграждането и управлението на компенсиращите системи. Докладът представя практически изследвания в няколко фотоволтаични централи, начините и внедрените техническите средства за постигане на ефективно и нискоценово управление на реактивните товари във ФвЕЦ.
Ключови думи: компенсация на реактивни товари, ФвЕЦ, фактор на мощността

Abstract: The implementation of photovoltaic power stations (PVPS) and their connection to the electricity network, provoke new problem, related to the compensation of the capacitive power, generated by the cable lines on medium voltage. This problem is well-known in electric distribution systems, but some specifics - dynamically changing source of energy through the day, required new approaches to the design, construction and control of compensating systems. The report presents researches in several photovoltaic plants, methods and technical equipment to achieve efficient and low-cost control of reactive power in PVPS.
Keywords: reactive power compensation, PVPS, Power Factor

I. ВЪВЕДЕНИЕ

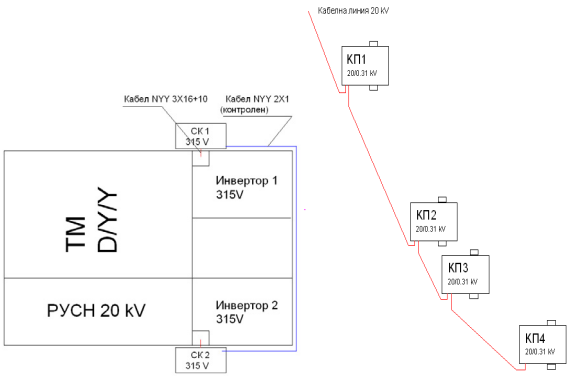
През последните години в Р. България бяха проектирани и изградени множество ФвЕЦ със средна и голяма мощност в порядъка на MW. Предпоставка за това бе приетото законодателство за насърчаване употребата на ВЕИ и високите преференциални цени за изкупуване на ел. енергия, гарантирани за над двадесет години. Основният инвеститорски интерес бе насочен към изграждането на големи ФвЕЦ, които в общия случай имат следната структура: полета от фотоволтаични модули; централизирани инвертори (един или няколко на брой), прилежащи към повишаващите подстанции и съоръжения за присъединяване на ниво средно напрежение към мрежата на електроразпределителните предприятия (ЕРП). Това предопредели наличието на дълги кабелни линии за средно напрежение в самите ФвЕЦ между отделните повишаващи подстанции и до мястото на присъединяване (обикновено преход от кабелна към въздушна линия на стълб), като общата им дължина е в порядъка на km, а сечението – 120, 185 или 240 mm^2. Последните, поради своя естествен капацитет се явяват източник на реактивна енергия с капацитивен характер, която се заплаща като наказателна глоба [3]. Дефинирането на този проблем и търсенето на средства за неговото решаване бе продиктувано основно от икономически съображения. Проблемът по същество е познат в електроснабдителните системи (ЕСС), но някои специфики на обекта – динамично изменящ се източник на енергия в рамките на денонощието с висок естествен фактор на мощността (PF), изискват нестандартни подходи при изграждането и управлението на компенсиращите мощности.

II. ПРАКТИЧЕСКО ИЗСЛЕДВАНЕ

1. Обект на изследването

Обект на изследването са три ФвЕЦ, условно именовани с А, Б и В. Централи А и Б са с мощност 2MW, а В е с мощност 4MW. Всички централи имат подобна структура – използват се няколко повишаващи подстанции на средно напрежение (4 бр.), като всяка от тях е съставена от един тринамотъчен трансформатор в схема D/Y/Y 20/0,315 kV. Компановката и разположението на повишаващите подстанции е показано на фиг. 1

Централи А и Б са изградени в радиална схема, а централа В в магистрална схема.



Фиг. 1. Компановка и разположение на повишаващи подстанции във ФвЕЦ

2. Определяне на необходимата компенсираща мощност

Капацитивната проводимост на 1 km кабелна линия се определя по формулата [1,2]:

$$b_0 = \omega \cdot C_0 \qquad (1)$$

Капацитивната проводимост за всяка фаза за кабелна линия с дължина l е :

$$B = b_0 \cdot l \qquad (2)$$

Тази проводимост предизвиква наличието на капацитивен ток Ic, който протича както в режим на работа, така и в режим на празен ход. Ако приемем, че напрежението не се изменя по дължината на линията:

$$Ic = b_0 \cdot l \cdot U\phi \qquad (3)$$

където Uф е фазното напрежение

В инверторните станции на практика имаме симетрична система токове. Капацитивната мощност Qc, предизвикана от капацитивната проводимост, се определя от израза :

$$Qc = 3 \cdot Ic \cdot U\phi = 3 \cdot b_0 \cdot l \cdot U\phi^2 = b_0 \cdot l \cdot Uн^2 \qquad (4)$$

В повечето кабелни линии средно напреже-ние, в зависимост от типовете използвани кабели, специфичният капацитет е в границите 80 ÷ 110 [pF/m]. Отчитайки факта, че дължината на кабелните линии е между 0,5 и 2 km, то в повечето случаи за Qc се получават стойности в границите 20 ÷ 60 kVAr. За да бъде компенсацията ефективна е необходимо да е изпълнено условието :

$$Q = P \cdot tg\varphi_{желан} \quad \text{и} \quad Q_K > Qc \qquad (5)$$

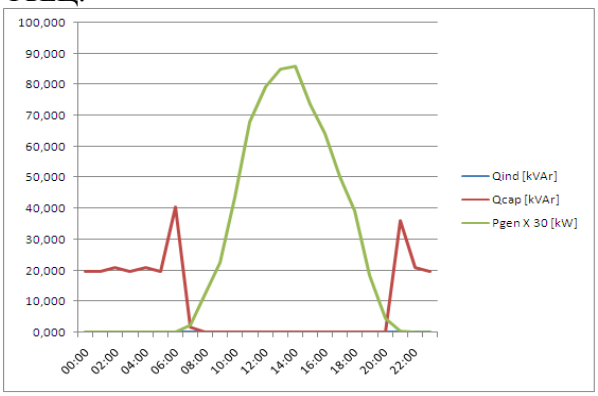
$$Q = Q_K - Qc \qquad (6)$$

където: P -трифазна активна мощност [kW]; Q -трифазна реактивна мощност с индуктивен характер [kVAr]; Q_K - компенсираща мощност [kVAr]; Qc - трифазна реактивна мощност с капацитивен характер [kVAr].

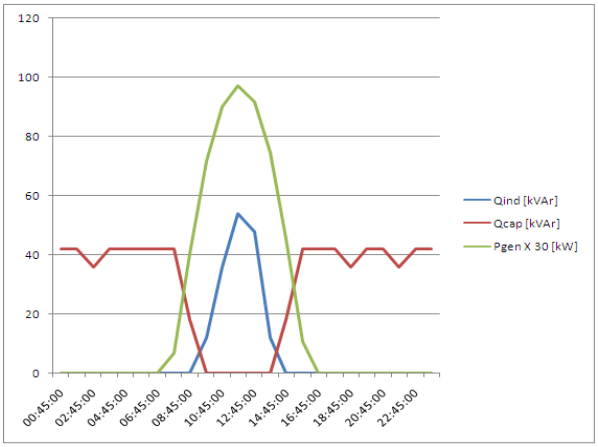
За инверторните станции на ФвЕЦ е очаквано да работят с висок PF близък до 1, но е възможно да имаме генерирана капацитивна енергия и при PF=1. Причина за това е голямата разлика (в порядъци) между активната и реактивната мощност, т.е. възможно е да има много висок PF>0.99, но също така и генерирана капацитивна енергия. Например, при генерация на 1MW активна мощност, капацитивна мощност 50 kVAr, и естествен PF=1 на ниска страна на силовите трансформатори, то в точката на присъединяване PF =0,9998 cap, но тази мощност 50 kVAr ще бъде таксувана като наказателна, в съответствие с действащата наредба за ценообразуване на електрическата енергия [3].

3. Практическо изследване във ФвЕЦ „А”, „Б” и „В”.

За определяне характера на електропотребление и режимите на реактивна мощност е извършено практическо изследване в трите ФвЕЦ.



Фиг. 2. Режими на електрогенерация за ФвЕЦ „А” преди компенсация



Фиг. 3. Режими на електрогенерация за ФвЕЦ „В” преди компенсация

Измерените показания са в точката на присъединяване на страна СН. Използвани са данните от търговските електромери и са съставени товарови графици. Характерът на изменение на електрогенерацията и режимите на реактивната мощност за ФвЕЦ „А” и „Б” са аналогични, което е очаквано, т.к. са от един и същи тип. От графиките е видно, че капацитивна мощност е налице само в тъмната част от денонощието. Причина за наличието на такава енергия е естественият капацитет на кабелните линии средно напрежение. Тя неизбежно ще се появява нощно време, т.к. кабелните линии са под напрежение и експлоатационно и технологично е необосновано тяхното спиране. През деня нейната поява зависи пряко от режимите на генерация и косвено от слънцегреенето – колкото по натоварени са силовите инвертори, толкова по-малка е капацитивната енергия, т.к. силовите трансформатори поради своята индуктивност на намотките се явяват естествен компенсатор. Това ясно е видно от приложените графики. Като следствие на това, може да се направи извода, че за да бъде една компенсираща система адекватна, тя трябва да е управляема и да следва обратнопропорционално натоварването на инверторите – колкото са по-натоварени, толкова по-малка мощност ще бъде включвана от компенсиращата система. От данните за двата типа централи се забелязва разлика в режимите им в часовете малко след изгрев и малко след залез. При ФвЕЦ тип „А” (аналогично „Б”) се появяват периоди, имащи продължителност около един час, в които генерираната капацитивна енергия се покачва около два пъти. Такова изменение не се дължи на естествения капацитет на кабелите, но се явява съществена особеност на процеса, т.к. двата периода могат да представляват от 10 до 20% от общата продължителност на периода на генерация на капацитивна енергия. За ФвЕЦ тип „В” такава особеност не се забелязва. В този случай обаче е налице реактивна енергия с индуктивен характер в светлата част от денонощието. Разликата в порядъците на генерираната активна и консумираната реактивна с индуктивен характер мощности е около 30 пъти, т.е. поддържаният PF е много близък до 1, и наличието й не следва да се отчита като проблем.

III. РАЗРАБОТВАНЕ И ВНЕДРЯВАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКО РЕШЕНИЕ

1. Разработване на техническо решение

При разработването на техническото решение са постигнати следните цели, които се явяват специфични изисквания:

1. Компенсиращата система да работи независимо от инверторите и да не влияе на режимите им на работа.
2. Компенсиращата система да бъде проектирана и изградена по такъв начин, че да не води до конструктивни изменения на помещенията на инверторните станции.
3. Компенсиращата система да не използва измервателни сигнали от инверторите и/или системите за измерване.

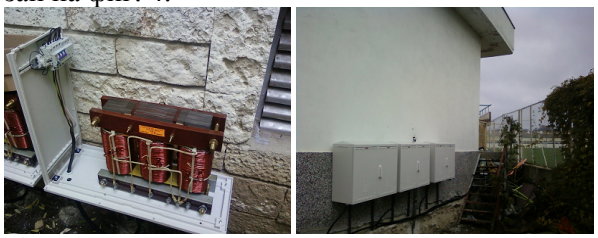
Тези изисквания се предопределят от технически съображения – гаранционни условия на инверторите и ФвЕЦ като цяло.

Най-прост, евтин и надежден начин е използването на силови компенсатори от индуктивен тип. Те могат да бъдат изградени от една управляема стъпка, когато нямаме изменения на генерираната активна мощност (ФвЕЦ тип „В”) или от няколко стъпки, когато искаме да компенсираме и пиковете преди изгрев и след залез. За управление на компенсаторите, предвид изисквания т.3, най-целесъобразни се явяват два начина:

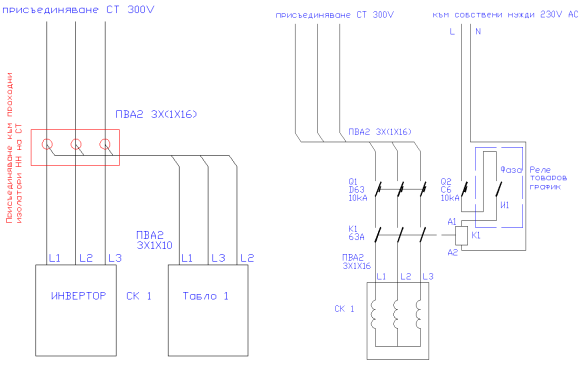
- Управление по критерий натоварване (ток) на инверторите. Може да бъде реализирано с добавяне на Split-Core токов измервателен трансформатор към променливотоковата страна на инверторите и токово реле с отстройка. При достигане на даден минимален ток, токовото реле изключва компенсатора (режим в светлата част на деня). За реализиране на повече от една управляеми стъпки е необходим контролер;
- Управление по зададен календарен график. Този метод е нестандартен за случая, но много прост, евтин и надежден. В светлата част на деня нямаме генерация на реактивна енергия с капацитивен характер. Известно е, че продължителността на светлата част, зависи от деня в годината и географското местоположение на обекта. През последните години бяха разработени и намериха широко пазарно приложение програмируеми релета с вграден календар. Те се използват масово в нискоценовите системи за управление на улично осветление, а също така и като тарифни часовници от електроразпределителните предприятия

При реализиране на компенсиращите системи в ФвЕЦ „А” и „Б” е използван този подход.

Силовите компенсатори се реализират като отделни външни съоръжения, които се присъединяват директно към проходните изолатори на силовите трансформатори. По този начин не се нарушават гаранционните изисквания наложени от фирмите производителки на компонентите във ФвЕЦ. Такъв тип компенсатор е показан на фиг. 4.



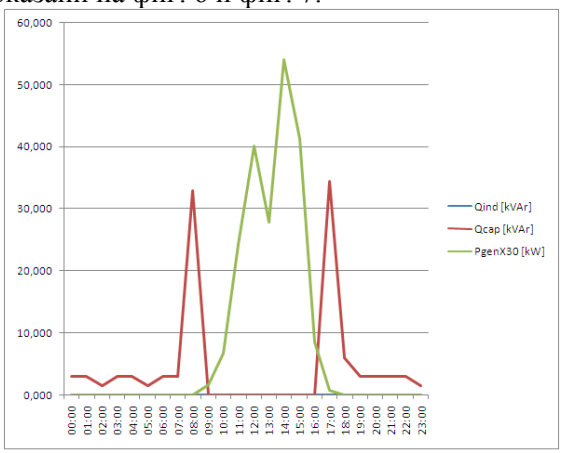
Фиг. 4. Изглед на силов компенсатор 25 kVAr Yo



Фиг. 5. Силовата схема и схемата за управление на силов компенсатор 25 kVAr Yo

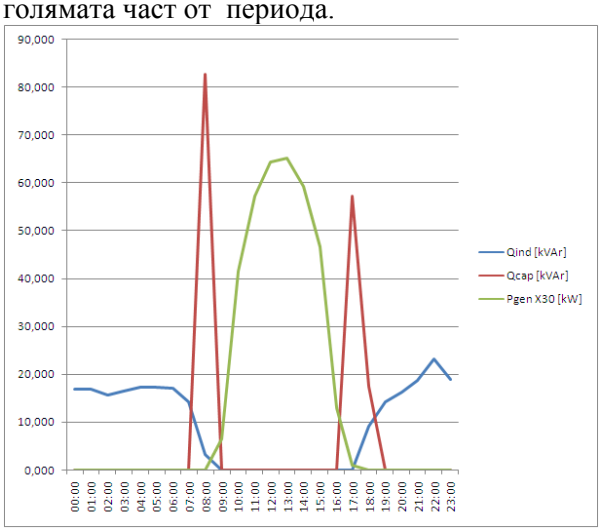
2. Резултати от внедряването

Такъв тип компенсиращи системи са внедрени във ФвЕЦ „А” и „Б”. Използвани са единични компенсатори 315V/20 kVAr/Yo. Извършен е повторен анализ на електропотреблението, като резултатите за характерни дни са показани на фиг. 6 и фиг. 7.



Фиг. 6. Режими на електрогенерация за ФвЕЦ „А” след компенсация

За ФвЕЦ „А” инсталираната компенсираща мощност е 1Х20 kVAr, а за ФвЕЦ „Б” – 2Х20 kVAr. След изграждането на системите, за „А” е налице малък недостиг на компенсираща мощност (около 2,5 kVAr) за по-голямата част от периода.



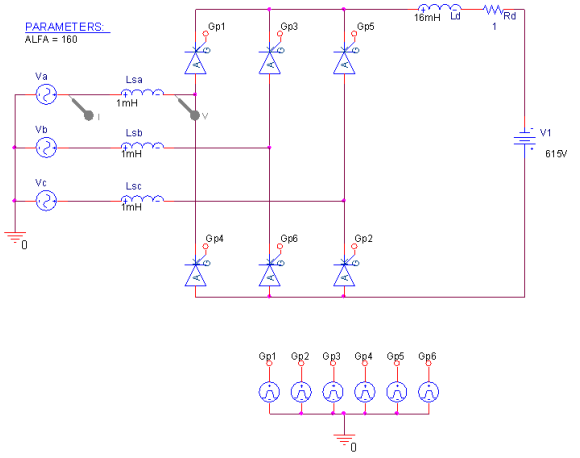
Фиг. 7. Режими на електрогенерация за ФвЕЦ „Б” след компенсация

Пиковете остават некомпенсирани. За „Б”е налице преминаване в индуктивен режим, като пиковете също остават некомпенсирани. От резултатите се вижда, че по абсолютна стойност пиковете превишават реактивната мощност генерирана от кабелната линия няколко пъти (от 2 до 4 пъти) и компенсирането и със силови дросели ще изисква значително оскъпяване на компенсиращата система чрез добавяне на по-голяма мощност. Компенсираща система оразмерена само по теоретичния капацитет на кабела не е достатъчно ефективна от гледна точка краен ефект. По критерий управление, избраното решение работи надеждно и ефективно. Проблемът с недостиг на компенсираща мощност преди изгрев и след залез във ФвЕЦ тип „В” не съществува (фиг. 3), т.к. не са налице такива пикове. Тук трябва да бъдат потърсени причините за възникването им и начините за дефинирането им.

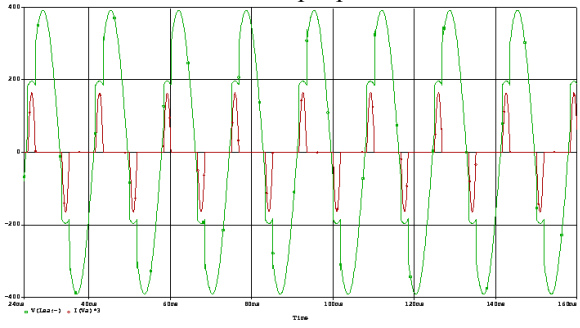
IV. СИМУЛАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ ЗА ДЕФИНИРАНЕ НА ПИКОВЕТЕ В КАПАЦИТИВНАТА МОЩНОСТ

Причина за възникването на пиковете може да бъдат особености в режима на електрогенерация преди изгрев и след залез, т.е. тогава, когато е налице слънчева светлина, но радиацията е слаба. Изхождайки от проведения анализ, проблемът е налице при ФвЕЦ „А” и „Б”, а във „В” отсъства. Последното се определя от разликите в избраните технически решения – ФвЕЦ „В” е изградена с модулни инвертори

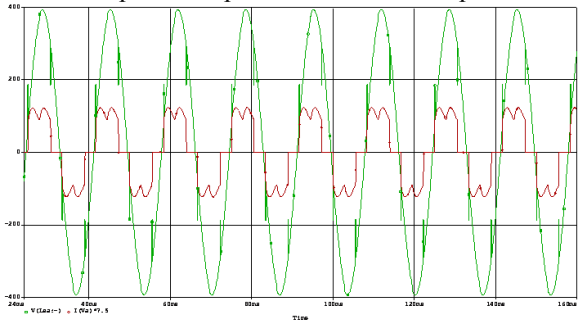
работещи в паралел, докато „А” и „Б” с моноблок силови инвертори с тиристорни ключове. За анализиране на проблема е извършено симулационно изследване на OrCAD PSICE. Опростена симулационна схема на такъв тип инвертори е показана на фиг. 8. Данните от симулацията са показани на фиг. 9 и фиг. 10.



Фиг. 8. Симулационна схема на Grid-Connected инвертор



Фиг. 9. Форма на напрежението и тока на една фаза на мрежата в режим на ниска генерация



Фиг. 10. Форма на напрежението и тока на една фаза на мрежата в режим близък до номинална генерация

В режим на ниска генерация е налице явно изразена безтокова пауза в рамките на полупериода. Тя се предизвиква от самозапушването на двойките силови тиристорни ключове. Тук може да бъде поставен въпроса какво предизвиква отчетения капацитивен характер, след като в нито един момент тока не изпреварва напрежението. Колкото по-ниско е напрежението от фотоволтаичните модули, толкова по-голям е периода на безтоковата пауза.

Класическите подходи за описанието на нелинейни режими съпроводени с наличие на висши хармоници в тока (какъвто е този случай), се базират на разложението на Фурие. В случая, разложението ще даде първи хармоник на тока, който чисто математически ще бъде дефиниран като изпреварващ спрямо напрежението. Показаният режим на ниско натоварване ще бъде отчетен като капацитивен и това ще предизвика разгледаните по-горе пикове. Съвременните измервателни средства работят ползвайки класическото разложение на Фурие, като този режим за тях се явява частен случай. Дали този режим трябва да бъде третиран като капацитивен (при положение че реалната форма на тока не изпреварва напрежението) или не, е въпрос на по-задълбочени изследвания, анализи и коментари.

При реализирането на компенсиращите системи във ФвЕЦ „А” и „Б” пиковете са оставени некомпенсирани, Премахването на пиковете се реализира с отстройване на долния праг на сработване на инверторите.

Използвайки оптимизираното ценово решение с опростено управление и външни компенсатори, началната инвестиция е сведена до около 6000 лв., като срока на откупуване е около 3 мес.

V. ИЗВОДИ

Компенсирането на капацитивната мощност с реактивен характер във ФвЕЦ е свързано с адекватното определяне на нужната компенсираща мощност. Проектирането на компенсиращи уредби само по капацитета на кабелните линии не е достатъчно точен подход. За постигане на ефективна компенсация е необходимо да бъдат отчитани спецификите на обекта – инвертори, режими на работа и др.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Николов, Д., Електрически мрежи и системи, Техника, София, 1994 г.

[2] Кирчев, В., К. Янев, М. Георгиев, Електрически мрежи. Средно и ниско напрежение, Техника, София, 2006 г.

[3] Наредба за регулиране на цените на електрическата енергия, №1, 18.03.2013 г.

За контакти:

д-р маг. инж. Валентин Гюров, гл. асистент в Катедра ”Електроснабдяване и електрообзавеждане” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 105бЕ, vgiurov@yahoo.com

д-р маг. инж. Владимир Чиков, гл. асистент в Катедра ”Електроснабдяване и електрообзавеждане” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 108бЕ, vladimir_128@abv.bg

Рецензент: доц. д-р Ангел Врангов, ТУ-Варна

СЕКЦИЯ

- **ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, МИКРО И НАНОИНЖЕНЕРИНГ**

SECTION

- **ELECTRICAL TECHNOLOGIES, MICRO AND NANO ENGINEERING**

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА КОНТАКТИТЕ НА КОНТАКТОРИ К6Е С ОТЛОЖЕНИ НАНОСТРУКТУРИРАНИ ПОКРИТИЯ В УСТАНОВЕН РЕЖИМ

STUDY OF THE TEMPERATURE OF THE CONTACTS OF THE CONTACTORS K6E WITH NANOSTRUCTURED COATINGS IN A STEADY STATE

Александър В. Гайдарджиев

Резюме: Публикацията представя резултати от изследване на температурата на контакти на електрически апарати, контактори К6Е, в установен режим с и без наноструктурирани покрития върху контактните тела. Покритията са образувани от редуващи се слоеве Ti, TiN и TiC, чрез електродъгово отлагане. Поради по-ниската електропроводимост на материалите на покритията, спрямо тази на основния материал (Ag-CdO), сравнението дава представа за промените настъпващи в температурата на контактните тела в установен режим. Използваният метод за сравнение дава възможност за създаване на еднакви условия при провеждане на изследването.
Ключови думи: електрически контакти, наноструктурирани покрития, температура в установен режим

Abstract: This publication presents the results of a study of the temperature of the contacts of electrical apparatus, contactors K6E in steady state with and without nanostructured coatings on contact bodies. The coatings are formed by alternating layers of Ti, TiN and TiC, by arc deposition. Due to the low conductivity of the materials of the coatings, compared to that of the base material (Ag-CdO), the comparison gives an idea of changes occurring in the temperature of the contact bodies in the steady state. The method used for comparison allows for the creation of equal conditions for conducting The research.
Keywords: electrical contacts, nanostructured coatings, temperature in steady-state

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Голяма част от повредите в електрическите апарати се дължи на повреда в контактната система, а температурата на контактните тела оказва съществено влияние върху тяхната работоспособността. [3] Последната е от съществено значение за осигуряване на надеждната работа на електрическите апарати.

Известно е, че електрическата проводимост на материалите на контактните тела оказва пряко въздействие върху преходното контактно съпротивление и топлината, която се отделя от протичащия през тях ток.

Покриването на контактните тела с Ti, TiN и TiC е направено с цел повишаване тяхната електрическа износоустойчивост. Поради твърде малката дебелина на отлаганите покрития се допуска, че по-ниската електропроводимост на използваните в покритията материали, няма да доведе в значителна степен до повишаване на преходното контактно съпротивление и топлината отделена в контактите. [1, 2]

Целта на изследването е да се определи изменението на температурата на контактите в установен режим, а не нейната абсолютна стойност, след определен брой комутационни цикли, проведени при номинални за контакторите параметри. Важно условие за това е провеждането на експеримента при еднакви условия (параметри на околна среда, електрическа верига).

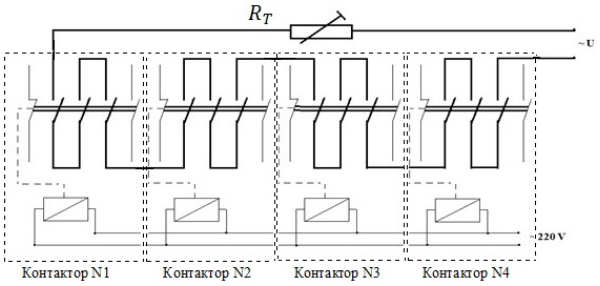
II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Използвани са контактни тела на електрически апарати – контактори К6Е, с номинална стойност на тока, съответно $I_н = 6A$ за главните контакти. За целите на експеримента са използвани четири контактора, като главните контакти на три от тях са с отложени наноструктурирани покрития – таблица 1.

Табл. 1. Покрития отложени върху контактните тела на контактори К6Е.

Режим	Състав на покритието	Газова среда в камерата	Обща дебелина на покритието [nm]
“0”	-	-	-
„21”	Ti/TiN/Ti/ TiN/Ti/TiN	Ti-100%Ar TiN-100% N_2	210
“22”	Ti/TiC/Ti TiC/Ti/TiC	Ti-100%Ar TiC-100% CH_4	210
“23”	Ti/TiN/Ti TiC/Ti/TiN	Ti-100%Ar TiN-100% N_2 TiC-100% CH_4	210

Условно означеният с режим „0” контактор К6Е е с главни контакти без отложени покрития. Отлагането на покритията е извършено във вакуумна камера, чрез електродъгово отлагане и газова среда съответно посочена в таблица 1. Схемата на опитната постановка е дадена на фиг. 1, осигуряваща еднакви условия на изпитване за всички контактори, едновременно.



Фиг. 1. Схема на свързване.

В таблица 2 са дадени някои свойства на използваните в покритията материали и тези на основния материал на контактните тела Ag-CdO. [4, 5]

Табл. 2. Свойства на материалите.

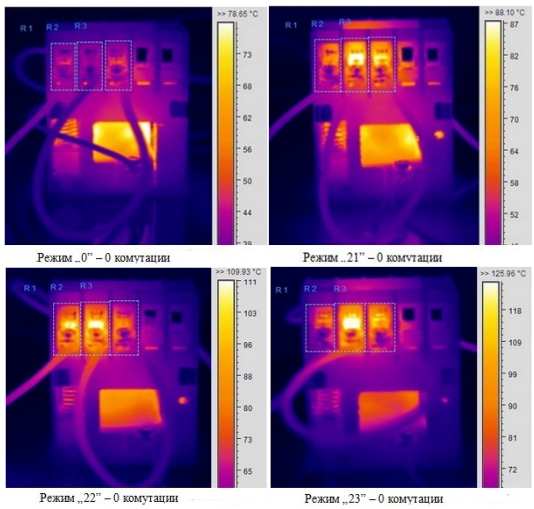
Вещество	Плътност g/cm^3	Електропроводимост $s.m^{-1}$
Ag-CdO	~10	$\sim 44x10^6$
Ti	4.54	$\sim 2.6x10^6$
TiN	~5.4	$\sim 5.1x10^6$
TiC	~4.9	$\sim 4.5x10^5$

В хода на експеримента, стойността на тока е избрана $I = 4A$, а времето за установяване на температурата $t_{уст} = 3600\,\text{sec}$. За сравняване на получените резултати и промяната на температурата настъпваща в хода на работа се правят термо снимки преди комутации, след 1000, 2000 и след 3000 комутационни цикъла.

Използвана е термо камера тип – Trotec IC 120 LV – фиг. 2., като измерванията са направени при околна температура $t_{ок.} \approx 22°C$. За коефициент на емисия на тоководещите части е приет $\varepsilon = 0.77$. [6]

Фиг. 2. Термо камера Trotec IC 120 LV.

Резултатите от изследването са дадени съответно визуално на термо снимките, както и в таблиците.



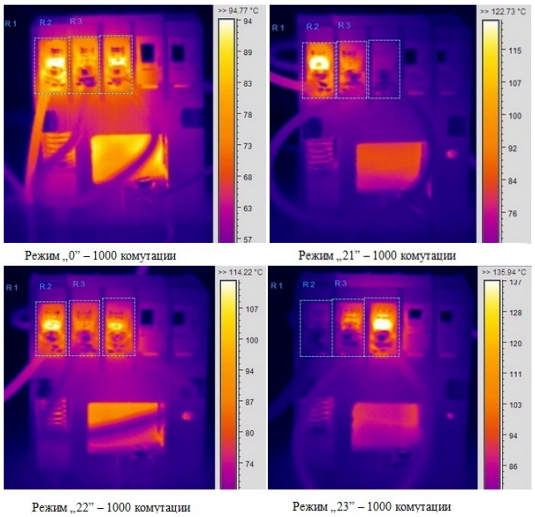
Фиг. 3. Термо снимки на контакторите при 0 комутации.

На фиг. 3 са показани термо снимки на контакторите преди отработване на комутационни цикли. В таблица 3 са дадени получените абсолютни стойности за температурата в заградените области – R1, R2, R3 заграждащи областите на контактните двойки. Стойностите са получени, чрез специализиран софтуер към използваната термо камера.

Табл. 3. Резултати от измерването с термо камера на контактите при 0 комутации.

Режим	Температура, ºС								
	R1			R2			R3		
	Макс	Мин	Средно	Макс	Мин	Средно	Макс	Мин	Средно
“0”	50	31	41	53	28	39	55	31	43
“21”	74	40	55	107	43	65	90	43	62
“22”	115	50	78	120	54	80	91	47	68
“23”	103	52	74	138	63	98	122	56	86

Тук, както и в таблиците по-долу, със средна стойност е отбелязана не средно аритметичната на максималната и минималната температури, а средната стойност на температурата в заградената (R1, R2, R3) област.



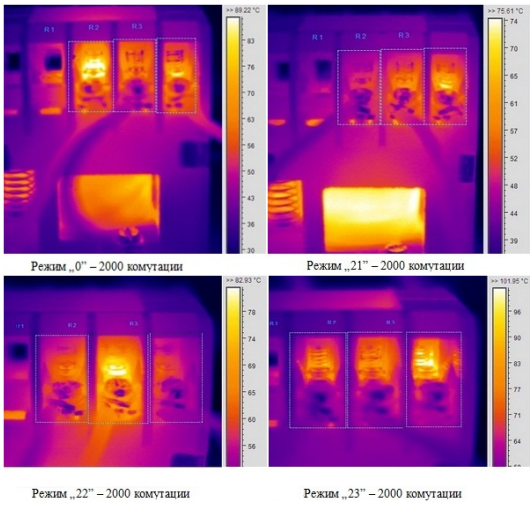
Фиг. 4. Термо снимки на контактите при 1000 комутации.

Фиг. 4. дава представа за температурата на контактите след отработване на 1000 комутации, при номинални за контактите условия и последващото им подлагане на изпитване за определяне на установената температура.

Табл. 4. Резултати от измерването с термо камера на контактите при 1000 комутации.

Режим	Температура, ºС								
	R1			R2			R3		
	Макс	Мин	Средно	Макс	Мин	Средно	Макс	Мин	Средно
“0”	111	55	78	88	56	74	102	57	75
“21”	140	63	93	107	60	82	78	54	68
“22”	120	59	85	95	61	80	117	62	81
“23”	80	55	67	127	62	85	154	66	99

Абсолютните стойности от термо снимките на фиг. 4 са посочени в таблица 4.



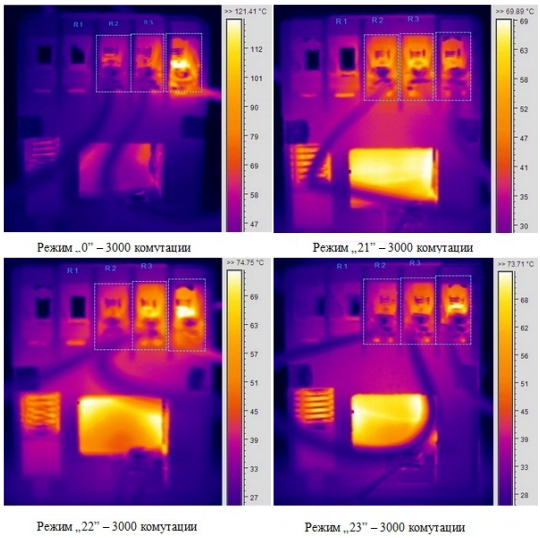
Фиг. 5. Термо снимки на контактите при 2000 комутации.

Фиг. 5. дава информация за направените снимки на контактите след 2000 комутации. Получените резултати могат да бъдат сравнени със снимките при 0 и 1000 комутации и да се направи извод за изменението им в хода на работа на контакторите.

Табл. 5. Резултати от измерването с термо камера на контактите при 2000 комутации.

Режим	Температура, ºС								
	R1			R2			R3		
	Макс	Мин	Средно	Макс	Мин	Средно	Макс	Мин	Средно
“0”	103	38	63	71	35	56	87	39	57
“21”	61	37	47	64	41	51	75	40	52
“22”	70	44	58	88	47	64	64	41	54
“23”	93	44	63	86	49	66	110	48	59

В таблица 5. са посочени стойностите намерени, чрез програмния продукт към термо камерата, на снимките от фиг. 5. Трябва да се отбележи, че при всички снимки и резултати, интерес представляват максималните стойности на измерените температури за дадена област – R1, R2, R3 на даден контактор. Това е така, поради смущаващите измерванията фактори, като – температура на управляващата намотка, различия в площта на заградената област и др.



Фиг. 6. Термо снимки на контактите при 3000 комутации.

На фиг. 6. са дадени снимки от последните извършени експерименти за намиране на температурата на контактите, при 3000 комутации.

Табл. 6. Резултати от измерването с термо камера на контактите при 3000 комутации.

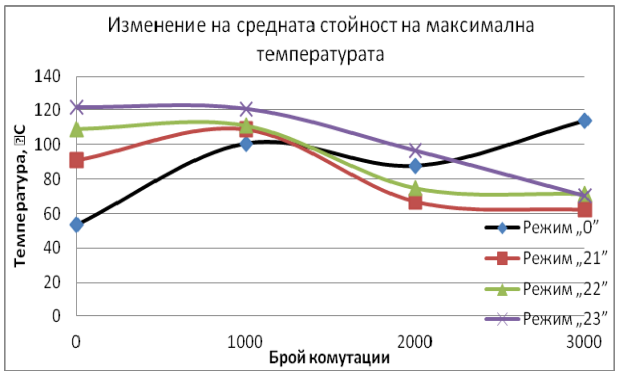
Режим	Температура, ºС								
	R1			R2			R3		
	Макс	Мин	Средно	Макс	Мин	Средно	Макс	Мин	Средно
“0”	85	28	53	91	31	63	163	31	77
“21”	60	23	42	66	29	44	59	18	37
“22”	54	27	40	71	28	48	87	20	47
“23”	53	23	38	61	24	41	96	22	41

В таблица 6 са посочени абсолютните стойности на температурите от фиг. 6. След приключване на експериментите, са определени средните стойности на максималните температури за даден режим, при съответния брой комутации. Последните представляват средно аритметична стойност на максималните температури за трите двойки главни контакти (области R1, R2, R3), за даден режим. Данните са посочени в таблица 7.

Табл. 7. Средна стойност на максималната температура за отделните режими.

	Средна стойност на максималната температура, ºС			
	0 цикъла	1000 цикъла	2000 цикъла	3000 цикъла
„0”	53	100	87	113
„21”	91	108	67	62
„22”	109	111	74	71
„23”	121	120	96	70

На база обобщените в таблица 7 данни, е построена графиката на изменение на средната стойност на максималните температури за всеки режим – фиг. 7.



Фиг. 7. Обобщени графични резултати от изследването.

III. ИЗВОДИ

• Разработена е методика и лабораторна установка за сравняване на температурата на контактите на електрически апарати в установено работно състояние. Апаратите се изпитват едновременно за получаване на достоверност при сравняване.

• В първия момент получените опитни образци с отложени наноструктурирани покрития показват повишена работна температура в установено състояние, спрямо тези без покрития.

• В хода на работа, за разглеждания диапазон (0-3000 комутации) с нарастване на отработените комутации, температурата на контактите с покритие намалява, докато тази на контакти без покритие нараства.

• От получените резултати и фиг. 7 може да се заключи, че при последващо нарастване на броя отработени комутации, температурата на контактите с и без покритие ще се установи условно в два полюса, като преимуществено по-ниска температура ще заемат тези с отложено наноструктурирано покритие. При допълнително увеличение на отработените комутационни цикли, се очаква да започне процес на изравняване на температурите на образците с и без покритие.

БЛАГОДАРНОСТИ:

Разработката е по проект МУ03163 към Фонд Научни изследвания на тема "Повишаване на енергийната ефективност и оптимизация на електротехнологични процеси и устройства”.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Aprahamian B., A. Gaydardzhiev, Improvement the durability of contact rivets of ship electrical apparatus by use of multilayer titanium nitride coatings, Journal of Marine Technology and Environment, Constanta Maritime University, Romania, vol. 2, 2011, p. 17 - 24
[2]. Aprahamian B., V. Zaharieva, A. Gaydardzhiev, Application of nanostructured Ti / TiN superlattices to improve the durability of contacts of electrical apparatus, Nanoscience and Nanotechnology – Nanostructured Materials, Application and Innovation Transfer, issue 12, 2011, p. 178 - 181
[3]. Сафонов Л. и др., Прямоугольные злектрические соединители. Расчет контактов злектрических соединителей на износ, Техноложии в злектронной промышленности, №8 Россия 2008
[4]. Liu X., S. Wu, P. Chu, C. Chung, J. Zheng, S. Li, Effects of coating process on the characteristics of contact materials, Materials Chemistry and Physics, China 2005
[5]. Ryabkov Y., P. Istomin, N. Chezhina, Structural design and properties of layered nanocomposite titanium carbide-silicide materials, Institute of Chemistry of the Komi Science Center, Russia 2000
[6]. http://www.trotec.de

За контакти:

Инж. Александър Веселинов Гайдарджиев, редовен докторант, катедра: ЕТЕТ, Технически университет – Варна, e-mail: aleves@rambler.ru

Рецензент:
доц. д-р инж. Маринела Йорданова - ТУ-Варна

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВРЕМЕТО ЗА ГОРЕНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ДЪГА ПРИ ОТВАРЯНЕ НА КОНТАКТИТЕ НА КОНТАКТОРИ К6Е С ОТЛОЖЕНИ НАНОСТРУКТУРИРАНИ ПОКРИТИЯ

STUDY OF THE BURNING TIME OF THE ARC WHEN OPENING CONTACTORS K6E WITH NANOSTRUCTURED COATINGS

Бохос Р. Апрахамян, Александър В. Гайдарджиев, Майк Ю. Щреблау

Резюме: Обект на настоящата публикация е изследване влиянието на наноструктурираните покрития върху времето за горене на електрическата дъга, при отваряне на контактите на контактори К6Е. Използвани са тънкослойни покрития на базата на Ti, TiN и TiC, отложени във вакуумна среда, чрез електродъгово изпаряване. Изследването представлява част от по-задълбочено изследване на електрически контакти с отложени наноструктурирани покрития, разработка целяща повишаване на електрическата износоустойчивост, при незначително изменение на останалите характеристики на контактите.
Ключови думи: електрическа дъга, електрически контакти, наноструктурирани покрития

Abstract: The object of this publication is the study of the influence of nanostructured coatings on burning time of the arc in the opening contacts of contactors K6E. Used are thin coatings based on Ti, TiN and TiC, deposited in a vacuum environment by arc evaporation. The study is part of a more in-depth study of electrical contacts with deposited nanostructured coatings. The development aims at improving the electrical durability, with minor modification of the other characteristics of the contacts.
Keywords: arc, electrical outlets, nanostructured coatings)

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Гасенето на дъгата практически представлява изменение на съпротивлението ѝ от нула до безкрайност. Контактори К6-Е използвани при експериментите са предназначени за комутация на променливотокови вериги. Характерно за променливотоковата електрическа дъга е нейното угасване при нормално преминаване на тока през нулата (благоприятният случай) или при угасване в рамките на полупериода, така нареченото „срязване на тока" (неблагоприятният случай). Заедно с това протича и процес на възстановяване на напрежението на източника, който се характеризира с голямо възстановяващо се напрежение и скорост на възстановяване. За избягване на последиците от горенето на дъгата и евентуалното заваряване на контактите на контакторите, гасенето на дъгата трябва да става за възможно най-кратко време. [1] Когато контактите на контактора се разделят, започва горене на дъга в средата на металните изпарения и газове от разтопения метал на контактните тела, до момента на първото преминаване на тока през нулевата му стойност. След това дъгата угасва и проводимите метални пари кондензират върху металните повърхности в рамките на няколко микросекунди. В следствие, диелектрическата якост на междуконтактното пространство се възстановява много бързо. Свойствата на въздушните контактори в голяма степен зависят от материала и формата на контактите им. [3] За периода на тяхното развитие са били използвани различни видове материали. От практиката е прието, че сплав $Ag-CdO$ е материал с много добри качества за контактори ниско напрежение, макар и неговото използване да се измества от други материали поради високата токсичност. Този материал съчетава добра дъгогасителна характеристика с намалена тенденция за заваряване на контактите и нисък ток на срязване при превключване на индуктивен товар.

При изследване на времето на горене на дъгата при отваряне на контактите при променлив ток влияние върху точността при измерванията, оказват редица фактори. Такъв е например момента на отваряне на контактите спрямо синусоидата на протичащия ток.

Интерес в настоящата публикация представлява сравняването на времето за горене на дъгата, което налага необходимостта да се създадат еднакви условия при изпитване. Поради тази причина изпитването се провежда при постоянен ток $I = 5A$ и понижено напрежение $U = 18.5V$, достатъчно за възникване на дъгов процес. Чрез следене, на неизменни параметрите в електрическата верига, се дава възможност за сравняване на времето за горене на дъгата спрямо отделните контакти - с и без покритие, както и изменението на последното в процеса на експлоатация на контактите.

II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

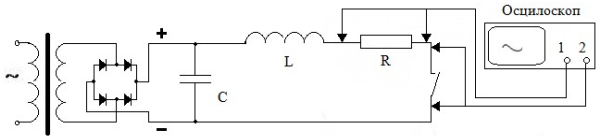
Във вакуумна среда, чрез електродъгово отлагане, върху електрическите контакти на контактори К6Е са нанесени наноструктурирани покрития от Ti, TiN и TiC. Видът на покритията и реализираните режими са дадени в таблица 1. [5, 6]

Табл. 1. Отложени покрития върху контактните тела на контактори К6Е.

Режим	Състав на покритието	Газова среда в камерата	Обща дебелина на покритието [nm]
“0”	-	-	-
„21”	Ti/TiN/Ti/ TiN/Ti/TiN	Ti-100%Ar TiN-100% N_2	210
“22”	Ti/TiC/Ti TiC/Ti/TiC	Ti-100%Ar TiC-100% CH_4	210
“23”	Ti/TiN/Ti TiC/Ti/TiN	Ti-100%Ar TiN-100% N_2 TiC-100% CH_4	210

В сравнението са използвани четири контактора (таблица 1), като условно означеният с режим „0” представлява контактор, чийто главни контакти са без отложени покрития.

С помощта на двуканален осцилоскоп по схемата показана на фиг. 1 са заснети по 18 процеса на горене на дъга за всеки контактор, преди комутация, както и след 1000, 2000 и 3000 комутации. Последните са реализирани съгласно номиналните параметри на използваните контактори и стандарта за тяхното натоварване при изпитване. [2, 7] Данните са записани под формата на таблични и снимкови резултати. В опитната постановка е използван автотрансформатор. Напрежението е изправено и филтрирано посредством кондензатори с общ капацитет $C = 0.11F$. На схемата от фиг. 1 с R е обозначен включеният във веригата шунт.



Фиг. 1. Схема за записване преходния процес при отваряне на контактите на контактор К6Е.

На фиг. 2 е показан общият вид на установката.

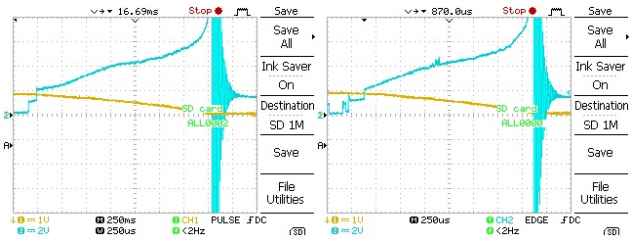
Фиг. 2. Общ вид на установката за заснемане на преходния процес при отваряне на контактите.

Имайки предвид значителния обем от получени данни, се налага софтуерна обработка на последните. За целта, при изчисляване на времето за горена на дъгата от получените табличните данни, е използван програмния продукт Matlab. [4] Съставена е проста програма – фиг. 3, чиято задача е да открои в обема от данни началото и края на процеса на горене на дъгата, извеждайки абсолютната му стойност.

$$A = [n_1 \dots n_{4000}]$$
$$B = [m_1 \dots m_{4000}]$$
$$C = A.* B$$
$$I = find(C == 0)$$
$$H = length(I)$$
$$for\ X = 2{:}H$$
$$K = X - 1$$
$$S(K,1) = I(X,1) - I(K,1)$$
$$end$$
$$Result = \max(S)$$

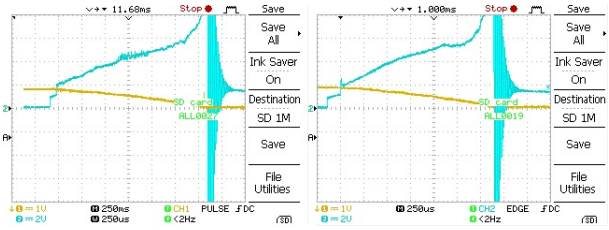
Фиг. 3. Програма използвана за намиране на времето за горене на дъгата.

На фиг. 4 – 7 са дадени примерни осцилограми за всеки от изследваните режими след извършване на 1000 комутации и след отработване на 3000 комутационни цикъла.



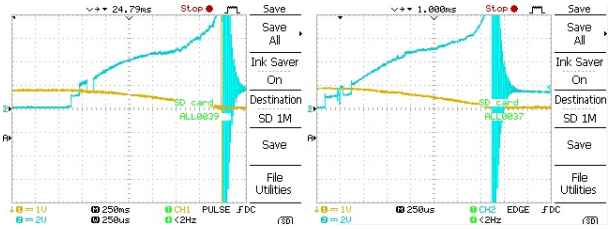
Фиг. 4. Време за горене на електрическата дъга при отваряне на контактите за контактор режим „0”.

На фиг. 4 в ляво е показана примерна осцилограма на преходния процес за образци от режим 0 при 1000 комутации, а в дясно при 3000. Вижда се нарастването на времето за горене на дъгата.



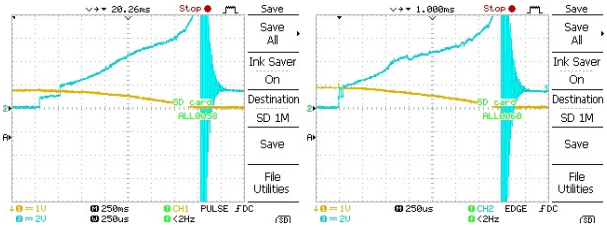
Фиг. 5. Време за горене на електрическата дъга при отваряне на контактите за контактор режим „21”.

От примерните графики на фиг 5. се вижда изменението в хода на работа на времето за горене на дъгата за режим 21 след 1000 комутации (ляво) и след 3000 комутации (дясно).



Фиг. 6. Време за горене на електрическата дъга при отваряне на контактите за контактор режим „22”.

На фиг. 6 са показани осцилограми за режим 22, след 1000 цикъла (ляво) и след 3000 (дясно).Очаквано, времето за горене на дъгата отново нараства.



Фиг. 7. Време за горене на електрическата дъга при отваряне на контактите за контактор режим „23”.

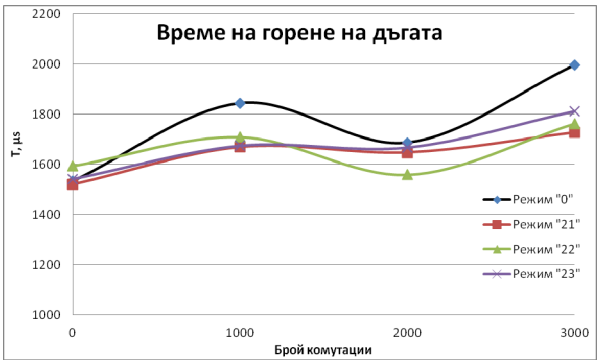
За последният от режимите – режим 23, изменението във времето за горене на дъгата в хода на работа е видно на фиг. 7. Тук отново в ляво е дадена примерна осцилограма след 1000 комутации, а в дясно след 3000.

Обобщените резултати за измерените абсолютни стойности на времето за горене на дъгата определени, чрез програмата на фиг. 3, са дадени съответно в таблица 2.

Табл. 2. Обобщени резултати от проведените експерименти.

	Средна стойност на времето на горене на дъгата при отваряне на контактите, μs			
	0 цикъла	1000 цикъла	2000 цикъла	3000 цикъла
„0”	1533	1844	1686	1995
„21”	1519	1669	1648	1728
„22”	1594	1710	1559	1763
„23”	1540	1674	1667	1813

Графично резултатите от таблица 2 са дадени на фиг. 8. От фигурата се вижда ясно нарастването на времето за горене на дъгата, успоредно с нарастване на броя отработени комутации.



Фиг. 8. Графика на усреднените стойности на времето за горене на дъгата на контакти с различен материал на покритието в зависимост от броя на отработените комутационни цикли.

III. ИЗВОДИ

• Разработени са методика и опитна установка за изследване на времето за горене на електрическата дъга, при отваряне на контактите на контактори К6Е.

• Електрическите контакти с нанесени наноструктурирани покрития показват по-слаба зависимост на времето за горене на дъгата от броя отработени комутационни цикли, спрямо тези без покритие.

• Най-добри резултати са получени при свръхрешетки от типа Ti/TiN – режим 21, показващи най-малка зависимост на времето за горене на дъгата, при нарастване на броя комутации.

• Най-слабо относителното намаляване в продължителността на горене на дъгата, спрямо контактите с отложени покрития, се наблюдава при карбонитридните свръхрешетки от типа Ti/TiN/TiC – режим 23.

БЛАГОДАРНОСТИ:

Разработката е по проект МУ03163 към Фонд Научни изследвания на тема "Повишаване на енергийната ефективност и оптимизация на електротехнологични процеси и устройства”.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Александров А. и др., Електрически апарати, Авангард Прима, София 2004

[2]. Апрахамян Б., А. Гайдарджиев, Изследване на електрическата износоустойчивост на контактни тела на електромагнитни контактори с нанесени многослойни износоустойчиви наноструктурирани покрития, Сборник доклади на 13-та международна конференция по електрически машини, задвижвания и енергийни системи ЕЛМА 2011, ТУ-Варна, 2011, с. 289 – 294

[3]. Сафонов Л., Фреттинг-коррозия в электрических контактах, Технологии в электронной промышлености, № 3’ 2009

[4]. Ануфриев И., А. Смирнов, Е. Смирнова, Matlab 7, БХВ-Петербург, Санкт-Петербург 2005

[5]. Aprahamian B., A.Gaydardzhiev, Improvement the durability of contact rivets of ship electrical apparatus by use of multilayer titanium nitride coatings, Journal of Marine Technology and Environment, Constanta Maritime University, Romania, vol. 2, 2011, p. 17 - 24

[6]. Aprahamian B., V. Zaharieva, A. Gaydardzhiev, Application of nanostructured Ti / TiN superlattices to improve the durability of contacts of electrical apparatus, Nanoscience and Nanotechnology – Nanostructured Materials, Application and Innovation Transfer, issue 12, 2011, p. 178 - 181

[7]. Апарати комутационни за ниско напрежение (Стандарт: БДС 4004:84)

За контакти:

Доц. д-р инж. Бохос Рупен Апрахамян, катедра: ЕТЕТ, Технически университет – Варна, e-mail: bohos@abv.bg;

Инж. Александър Веселинов Гайдарджиев, редовен докторант, катедра: ЕТЕТ, Технически университет – Варна, e-mail: aleves@rambler.ru;

Ас. д-р инж. Майк Юрген Щреблау, катедра ЕТЕТ, Технически университет – Варна, e-mail: streblau@yahoo.com

Рецензент:

доц. д-р инж. Марин Маринов, ТУ-Варна

НАСТРОЙВАНЕ РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА ТЕМПЕРАТУРНОТО ПОЛЕ В НЕФЕРОМАГНИТНИ ДЕТАЙЛИ

ADJUSTMENT OF THE TEMPERATURE FIELD DISTRIBUTION IN NON-FERROMAGNETIC DETAILS

Илонка Т. Лилянова

Резюме: Зададено разпределение на температурата в плоски изделия (дискове) е възможно чрез използване на секциониран индуктор. В статията се анализира изменението на плътността на мощността и на установената температура в детайла при промяна на редица фактори: брой и поредност на включените секции на индуктора; начин на включване на секциите; изменение на захранващото напрежение. Представен е подход за настройване броя и радиалното местоположение на температурните максимуми в детайла в съответствие с дадени технологични изисквания.
Ключови думи: индукционно нагряване, плосък индуктор, неферомагнитен детайл

Abstract: A set-up adjustment of the temperature distribution in flat products (discs) is possible through sectional inductor. The changing of the power density and the changing of the established temperature in the detail have been analyzed in this paper while changing different factors such as number and connection of the switched on sections of the inductor; switching on method of the sections; variations of the supplying voltage. It is also introduced a way of adjustment of the number and the radial placements of the temperature maximums in the detail in confirmation with established technology requirements.
Keywords: induction heating, flat inductor, non-ferromagnetic detail

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Индукционното нагряване се използва за термообработка на метали. Поради все по-широкото му приложение [1] се повишават технологичните изисквания относно постигането на зададено температурно разпределение (с един или няколко максимума в съответни зони или равномерност) в съответствие с формата на детайла. Настройването на температурното поле е една от сложните задачи при индукционното нагряване, тъй като видът и зоната на нагряване зависят не само от модела (вида) на индуктора, но и от формата на детайла, и неговите електрически и топлинни параметри.

Решението е свързано с генерирането на електромагнитно поле с такава структура, че да се гарантира получаването на температурно поле със зададено разпределение и интензитет. Моделирането изисква комплексното разглеждане на двата процеса – електрически и топлинен [2].

Целта на разработката е да се предложи подход за настройване броя и радиалното местоположение на температурните максимуми в детайла в съответствие с дадени технологични изисквания чрез използване на секциониран индуктор и (или) регулиране на захранващото напрежение.

II. АНАЛИЗ

1. Система секциониран индуктор-детайл

Конструктивната форма на индуктора трябва да отговаря на технологично изискване за разпределение на температурите. Така чрез видоизменение модела на индуктора може да се получи съответствие между неговата конструкция и температурите в детайла.

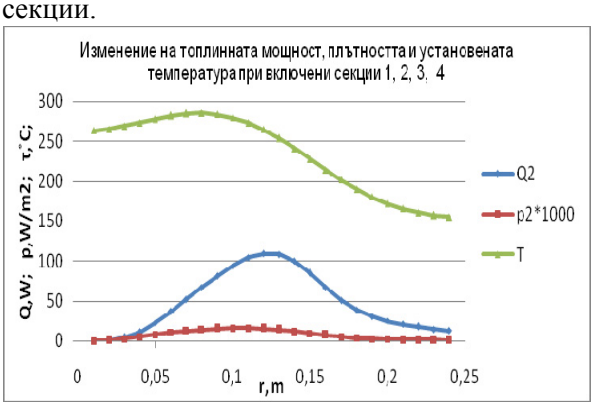
Разглежданият плосък индуктор е с кръгла форма с вътрешен диаметър 6.10^{-2} m и външен 48.10^{-2} m, навит с проводник ПСД 1,2x10 mm. Има седем секции, разположени радиално с размер 0,03 m. Всяка секция има по 13 навивки. Изследваният детайл е диск от алуминий с дебелина 2.10^{-3} m и радиус равен на външния радиус на индуктора. При анализа детайлът, в съответствие с индуктора, е разделен на концентрични елементи (температурни зони) през 0.01 m.

За описаната индукционна уредба е изследвано теоретично и експериментално разпределението на електрическото поле на базата на заместващи схеми с индуктивно свързани контури [3] и разпределението на температурното поле с топлинни заместващи схеми [4]. Чрез използването на тези модели е възможно настройването на зададено температурно поле.

2. Настройване разпределението на температурното поле.

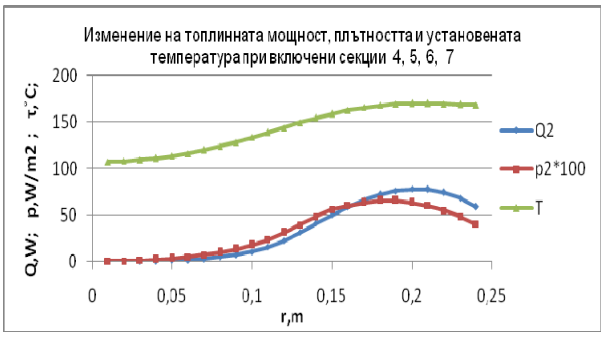
2.1.Генериране на температурно поле с един максимум, разположен радиално в точно определена зона на детайла. Изследване изменението на плътността на потока на топлинната мощност по радиуса на детайла, а също и на топлинната мощност в зависимост от местоположението на включените секции, показва че при установена температура τ, т.е. температурата при стационарен режим след приключване на преходния процес, радиалното разположение на температурния максимум се променя.

На Фиг.1 е показано при установен температурен режим радиалното разпределение на топлинната мощност $Q2$, на плътността на потока на топлинната мощност $p2$ и на установената температура τ в детайла при включени централните секции 1, 2, 3, 4. На Фиг.2 са представени изменението на топлинната мощност $Q2$, плътността на потока на топлинната мощност $p2$ и установената температура τ по радиуса на детайла при включени периферните секции 4, 5, 6, 7 от индуктора. Установява се, че радиалното разположение на максимума на установената температура и този на плътността на потока на топлинната мощност съвпадат. Променя се само местоположението им в зависимост от местоположението на включените секции.



Фиг. 1. Радиално разпределение при включени секции 1,2,3,4

В зависимост от броя и местоположението на включените секции от индуктора температурният максимум, в съответствие с технологичните изисквания, може да е центриран радиално, където е необходимо.



Фиг. 2. Радиално разпределение при включени секции 4,5,6,7

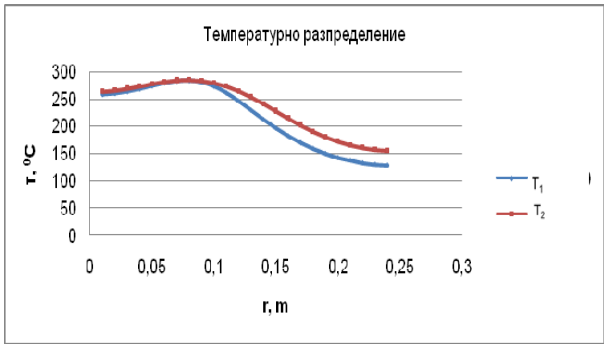
Когато желаното местоположение на температурния максимум съвпада с това на дадена секция от индуктора, включва се само тя. Ако местоположението на търсения температурен максимум е на границата между две секции на индуктора, включват се и двете. Ако се изисква отсъствие на напрежения в метала, необходимо е да се включват съседни секции:

– *максимум на температурата на 8-я ст радиално от центъра към периферията.(Фиг.3)*

За достигане на максимум на установената температура около 8-я cm радиално от центъра към периферията на детайла съществуват две възможности:

-при включени секции 2 и 3, и напрежение на индуктора $U = 15{,}3V$, при ток през индуктора $I = 290\,A$ - графика τ_1.

-при включени секции 1, 2, 3, 4, напрежение на индуктора $U = 20V$ и ток през индуктора $I = 165{,}9\,A$ - графика τ_2



Фиг. 3. Температурен максимум на 8-я см

– *максимум на температурата на 9-я-10-я ст радиално от центъра към периферията.(Фиг.4)*

За да се получи такова разпределение на температурата е необходимо да бъде изпълнено едно от следните три условия:

- включена секция 3 и напрежение на индуктора $U = 20V$ при ток през индуктора $I = 104{,}4\,A$ - графика τ_1.

-включени секции 2, 3, 4 и напрежение на индуктора $U = 16V$, при ток през индуктора $I = 155{,}4\,A$ - графика τ_2.

-включени секции 1, 2, 3, 4, 5 и напрежение на индуктора $U = 11{,}5V$, при ток през индуктора $I = 413{,}2\,A$ - графика τ_3.

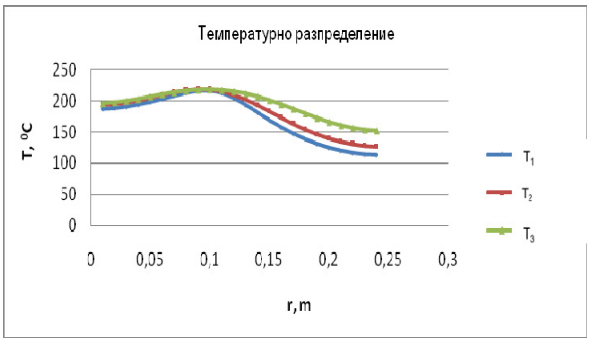
_ *максимум на температурата на 11-я ст радиално от центъра към периферията. (Фиг.5)*

За достигане на максимум на установената температура около 11-я cm радиално от центъра към периферията на детайла съществуват три възможности:

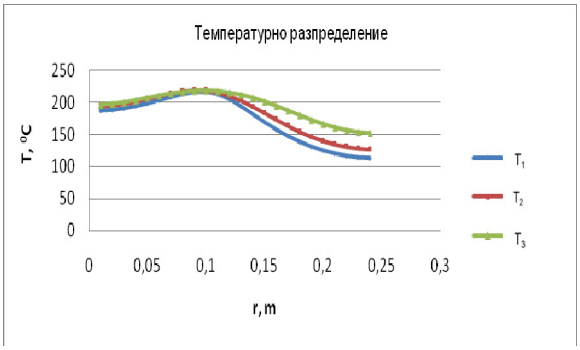
-при включени секции 3, 4 и напрежение на индуктора $U = 15{,}5V$, с ток през него $I = 209\,A$ - графика τ_1.

-при включени секции 2, 3, 4, 5 и напрежение на индуктора $U = 20V$, с ток през него $I = 115{,}3\,A$ - графика τ_2.

-при включени секции 1, 2, 3, 4, 5, 6 и напрежение на индуктора $U = 25V$, като токът през индуктора е $I = 86{,}8\,A$ - графика τ_3.



Фиг. 4. Температурен максимум на 9-10-я см



Фиг. 5. Температурен максимум на 11-я см

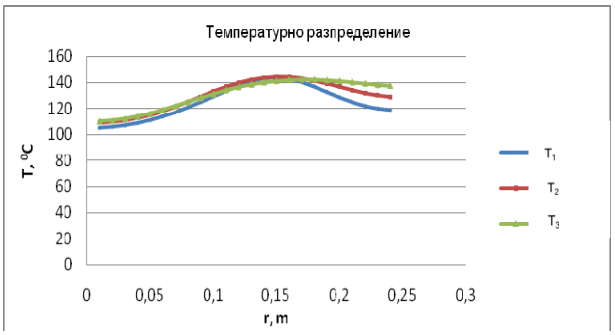
_ *максимум на температурата на 15-я ст радиално от центъра към периферията.(Фиг.6)*

За достигане на максимум на установената температура около 15-я cm радиално от центъра към периферията на детайла съществуват три възможности:

-при включени секции 4, 5 и напрежение на индуктора $U = 12{,}5V$, при ток през индуктора $I = 131\,A$ - графика τ_1.

-при включени секции 3, 4, 5, 6 и напрежение на индуктора $U = 16{,}4V$, при ток през индуктора $I = 72\,A$ - графика τ_2.

-при включени секции 2, 3, 4, 5, 6, 7 и напрежение на индуктора $U = 20V$, при ток през индуктора $I = 52{,}7\,A$ - графика τ_3.



Фиг. 6. Температурен максимум на 15-я см

_ *максимум на температурата около 17-я ст радиално от центъра към периферията.(Фиг.7)*

За да се достигне максимум на 17-я cm радиално от центъра към периферията може да се постъпи по следния начин :

-при включена секция 5 и напрежение на индуктора $U = 11{,}4V$, при ток през индуктора $I = 247\,A$ - графика τ_1.

-при включени секции 4, 5, 6 и напрежение на индуктора $U = 15{,}8V$, при ток през индуктора $I = 88{,}6\,A$ - графика τ_2.

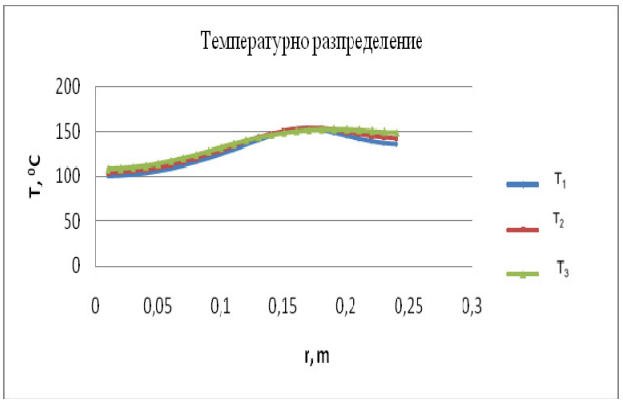
-при включени секции 3, 4, 5, 6, 7 и напрежение на индуктора $U = 20V$, при ток през индуктора $I = 58{,}3\,A$ - графика τ_3.

_ *максимум на температурата около 19-я ст радиално, от центъра към периферията.(Фиг.8)*

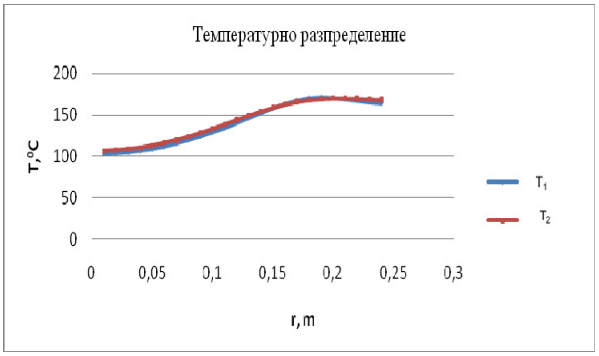
За достигане на максимум на установената температура около 19-я cm радиално от центъра към периферията на детайла съществуват две възможности:

-при включени секции 5, 6 и напрежение на индуктора $U = 16{,}8V$, при ток през индуктора $I = 144\,A$ - графика τ_1.

-при включени секции 4, 5, 6, 7 при напрежение на индуктора $U = 20V$ и ток през индуктора $I = 69\,A$ - графика τ_2



Фиг. 7. Температурен максимум на 17-я см



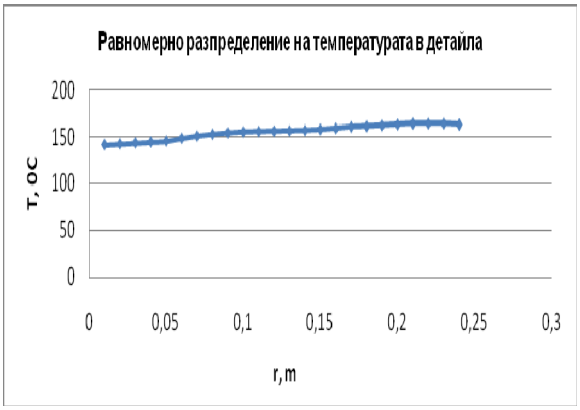
Фиг. 8. Температурен максимум на 19-я см

2.2.Настройване на равномерно температурно поле

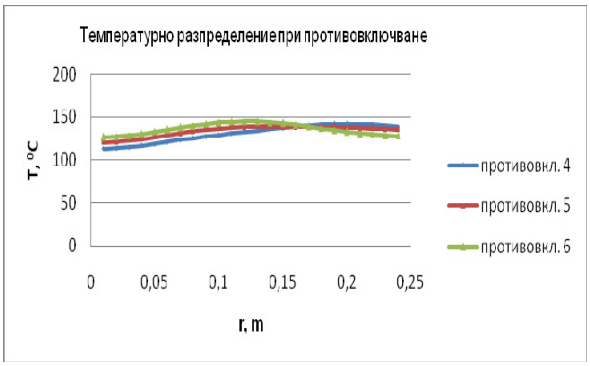
Равномерно нагряване на детайла е възможно при изключване на част от секциите или чрез противовключване на една или повече секции.

-При изключване на средните секции 4 и 5 и захранващо напрежение на индуктора $U = 20V$ се получава температурното разпределение, показано на Фиг.9, което е близко до равномерното. Токът през индуктора е $I = 87{,}6\,A$.

-При противовключване на секция 5, захранващо напрежение на индуктора $U = 20V$ и ток през индуктора $I = 63{,}8\,A$. Графиката е показана на Фиг.10. За сравнение на нея са показани графиките при противовключена секция 4 и противовключена секция 6.



Фиг. 9. Равномерно нагряване при изключени секции 4, 5.



Фиг. 10. Равномерно нагряване при противовключени секции.

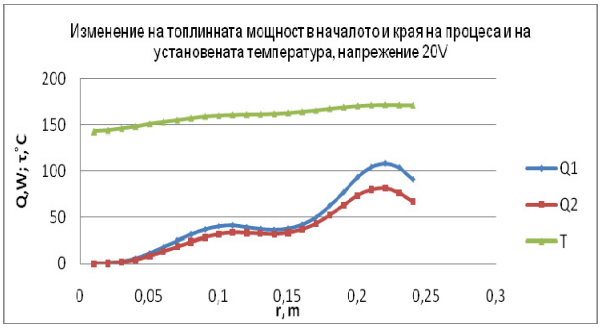
2.3. Изследване при увеличаване напрежението на индуктора

След като се включат съответните секции така че да се получи желаното температурно разпределение, за да се достигне необходимата температура, трябва да се регулира захранващото напрежение.

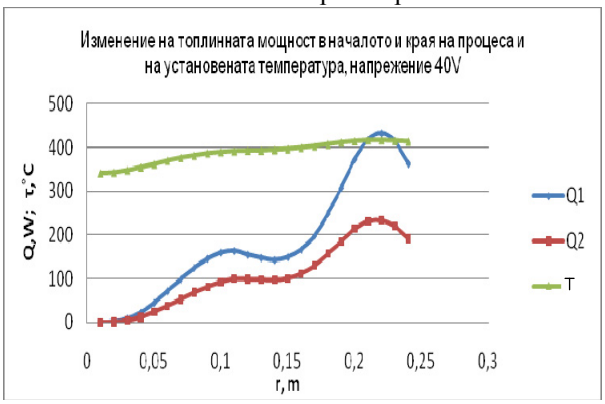
Влиянието на увеличеното захранващо напрежение върху разпределението на температурите в детайла се изследва при включени последователно секции 1, 2, 3, 6, 7.

На Фиг.11, Фиг.12 и Фиг.13 са представени радиалните изменения на топлинната мощност в началото – $Q1$ и в края на преходния процес – $Q2$, а също и установената температура τ при напрежения 20V, 40V и 80V на захранване на индуктора.

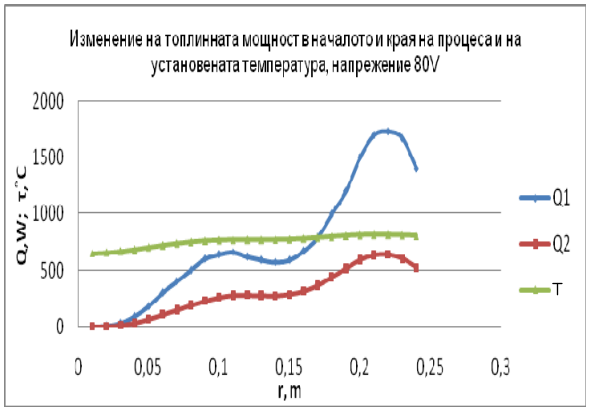
Трябва да се има предвид, че разстоянието между индуктора и детайла, както и дебелината на детайла също оказват влияние върху стойността на достигнатата температура.



Фиг. 11. Изменения при напрежение 20V



Фиг. 12. Изменения при напрежение 40V



Фиг. 13. Изменения при напрежение 80V

III. ПРЕПОРЪЧИТЕЛЕН ПОДХОД ЗА ПОСТИГАНЕ НА ЗАДАДЕНО ТЕМПЕРАТУРНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ В ДЕТАЙЛА

Препоръчва се настройката да включва следните етапи:

- първоначално се включват една или две секции от индуктора в съответствие с изискванията за радиалното разположение на температурния максимум;

- впоследствие се включват допълнителни секции от индуктора в зависимост от изискванията за разпределение на температурата в останалите части от детайла;

- променя се захранващото напрежение до достигане на зададената скорост на нагряване и желаната максимална температура.

- при конструктивна възможност може да се използва и промяна на разстоянията между секциите и детайла.

За конкретна система индуктор-детайл препоръчваната схема на настройка може да бъде представена таблично.

IV. ИЗВОДИ

Показано е, че зададено разпределение на температурата в плоски изделия (дискове) е възможно чрез използване на секциониран индуктор.

Предложен е подход за настройване броя, радиалното местоположение и стойността на температурните максимуми в детайла в съответствие с предварително наложени технологични изисквания.

Формулирани са препоръчителни инструкции за постигане на зададено температурно разпределение в детайла.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. А. Базаров, А. Данилушкин, Р. Латыпов, Расчет индукторов для систем индукционного нагрева дисков и формирования механических колебаний в процессе испытаний, Электротехника, 8, 2008, с.34-38.

[2]. B. Aprahamian, M. Streblau, Modeling of Electromagnetic and Thermal Processes of High-Frequency Induction Heating of Internal Cylindrical Surfaces of Ferromagnetic Details, Proceedings of XLVI-th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies - ICEST 2011, Niš, Serbia, vol. 3, p. 981 - 984.

[3]. I. Lilyanova., Hr. Trahrilov, Matematichesko opisanie na trisloen model na elektromagnitna sistema “plosuk inductor-detail”, mg.”Elektrotehnika i elektronika”, 7-8, p.22-27, 2006

[4]. И. Лилянова, Х. Тахрилов, Температурен модел и експерименти на система плосък индуктор-детайл, Трети международен научен конгрес, Варна, ч.3, с.140-144, 4-6 октомври, 2012.

За контакти:

д-р инж. Илонка Лилянова, гл. асистент в Катедра ”Теоретична и измервателна електротехника” на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, 306АЕ. e-mail: iltl@mail.bg

Рецензент: доц. д-р инж. Маринела Йорданова

МЕТОДИКА ЗА ОЦЕНКА НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТТА НА ЕЛЕКТРОТЕРМИЧНИ УРЕДИ ЗА ПРИГОТВЯНЕ НА ХРАНА

METHODS FOR EVALUATION THE ENERGY EFFICIENCY ON ELECTROTHERMAL EQUIPMENTS

Янита С. Славова, Мария И. Маринова

Резюме: 11% от електроенергията на всяко домакинство се изразходва за приготвяне на храна. Най – често използвана за целта е електрическата готварска фурна. Затова и въпросите свързани с определянето на нейната енергийна ефективност са изключително актуални. В разработката е предложен теоретичен подход за оценяване на ефективността на електрически готварски фурни, като е базиран на електросъоръжения с подобни режими на експлоатация. Предложения подход е тестван експериментално. Направен е анализ на получените резултати на различните методики за определяне на енергоефективност на такъв тип електрически уреди.
Ключови думи: енергоефективност, електрическа фурна, коефициент на полезно действие.

Abstract: 11% of electricity for each household is spent on food preparation. For this purpose frequently used electric oven. Therefore, the issues related to the determination of its energy efficiency is particularly relevant. The paper has proposed a theoretical approach to evaluate the effectiveness of electric cooking ovens, it is based on electrical equipment with similar modes of operation. Proposed approach has been tested experimentally. The results analyze are the various methods for determining the energy efficiency of such appliances.
Keywords: energy efficiency, electric oven, coefficient of efficiency.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Жилищният и обслужващият сектор са отговорни за почти 40% от крайното енергийно потребление в Европейския съюз и този процент се покачва постоянно. Домакинствата в България консумират 36% от произведената електрическа енергия [5,22]. В доклад на Европейския съюз [15] се откроява енергийната ефективност като една съществена част от цялостната стратегия относно климатичните промени и се подчертава необходимостта да се достигне намаляване с 20% на потреблението на енергия от ЕС до 2020г. В съответствие с Директивата [16] държавите членки на ЕС приемат за цел да се намали с 9% консумацията на енергия от крайните потребители до 2016г. и да въведат законодателни мерки необходими за отстраняването на бариерите пред ефективното крайно потребление[11].

Електротермичните уреди за приготвяне на храна се употребяват най-често в бита, обществените кухни, но имат широко приложение и в лабораторната практика и промишлеността. Съвременното оборудване за приготвяне на храна е непосредствено свързано с удовлетворяването на изискванията за качество, икономическа ефективност и екологичност. Тенденцията е насочена към намаляване на консумацията на електрическа енергия. Има голямо разнообразие от БЕУ за приготвяне на храна – електрически фурни, електронагревателни плочи, грилове, тостери, фритюрници и др.

Във всяко домакинство се среща електротермичен уред за приготвяне на храна, затова и въпросите свързани с определянето на тяхната енергийна ефективност са изключително актуални. По последни данни 93,2% от домакинствата в България притежават електрическа готварска печка [8], а 11% от електроенергията на всяко домакинство се изразходва за приготвяне на храна [10,23].

Годишната консумация на електрическа енергия от домакинствата е 200 KWh за едночленно домакинство и 580 KWh за четири членно домакинство. Има се в предвид че в домакинството са използвани електрическа фурна с мощност 2000 W и два електрически котлона с мощност 1000÷1500 W и 2000 W [10].

По данни на Евростат за 2008г. на енергийната консумация в домакинствата се пада 25% от крайната енергийна консумация на Европейския съюз, което е почти колкото тази на индустрията (27%) и само със 7% по-малко от тази на транспорта[9].

Тези факти определят важността на мерките за енергийна ефективност в бита.

II. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТ НА ЕЛЕКТРОТЕРМИЧЕНИ УРЕДИ ЗА ПРИГОТВЯНЕ НА ХРАНА

1. Методика за оценка на енергоефективността на електрическа фурна

Една най-важните характеристика на електрическата фурна (ЕФ) това е консумацията на електрическа енергия. До края на 90-те години на миналия век, ефективността на потреблението на електрическа фурна, се измерва с така нареченият тест за "празни" фурна при работа в равновесно състояние [13,14]. Този тест се основава на измерване на консумацията на енергията, след като фурната е достигнала стабилно състояние за период от 2 часа (общо), при достигане на температура до 175 °C за принудително конвекторни печки и я поддържа в продължение на един час. Този тест е заменен с друг стандарт [17], и се измерва с помощта на "охладена тухла", като данните от него се считат за по- достоверни за действителната консумация на енергия при използването на фурната. За определяне на потреблението на електроенергия при натоварване тухлата за теста се подготвя чрез поставяне във водосъдържател за минимум 8 часа в хладилник. Целта е да се измери разхода на енергия и времето за загряване при натоварването. Крайното потребление на енергия за съответния режим на работа се изчислява математически чрез регресия. Това дава крайното потребление на енергия в kWh и според обема на фурната може да се определи нейният клас от A до G клас. Тази информация става достъпна до потребителите чрез етикети и информационни листове [7].

Енергийната ефективност е въпрос, който има изключително голяма актуалност през последните години. Настоящата разработка има за цел да се предложи подход за определяне на енергийната ефективност на електрическа фурна. Основния проблем при електрическите фурни произтича от големите загуби, обусловени от конструктивната им реализация. Съществуват теоретични разработки [6], позволяващи да се оцени работата на тези уреди, но те не позволяват да се определи най важната експлоатационна характеристика на един термичен уред – коефициента на полезно действие (КПД). Този коефициент може да се използва и като характеристика, определяща техническата ефективност на домакинския уред. В стандартите за фурни [1,2,3,17,18], както и в този за пещи [4] (които могат да се използват като аналог на електрическите фурни) не е посочен начин за стандартизирано определяне на КПД.

Базирайки се на класическата теория и сравнявайки електрическата фурна с една електрическа пещ може да се приеме, че КПД [3,18] може да се изчисли по следната зависимост:

$$\eta = k_n . \frac{P_{пол}}{P_{инс}} = k_n . \frac{m.c.(\tau_{раб} - \tau_{нач})}{60.t_H . P_{инс}}, \quad (1)$$

Където:

k_n е коефициент;

m – маса на нагрявания обект [kg];

c – специфична топлина на обекта [kJ/kgK];

$\tau_{раб}$ – температура на нагрятия обект [°C];

$\tau_{нач}$ – начална температура [°C];

t_H – време за нагряване на стандартен товар [min];

$P_{инс}$ – инсталирана мощност[Wh];

$P_{пол}$ – полезна мощност (отива за нагряване на обекта)[Wh].

$$P_{пол} = \frac{m.c.(\tau_{раб} - \tau_{нач})}{60.t_H}, \quad (2)$$

Според стандартен тест на САЩ- „ANSI – тест“, [12,20] процедурата предвижда метод за изчисляване на термичната ефективност на електрическата фурна. Изпитвания товар е цилиндричен блок от алуминиева сплав тип 6061, диаметър 158mm, височина 71mm и е с черно анодно покритие. Блокът се поставя в студена фурна и се загрява до достигане на превишаване на определената температура (например 181±3K за конвекторен режим или прегряване $\Delta\tau = \tau_{раб} - \tau_{нач} = 130$K). КПД е:

$$\eta = \frac{E_{Bl}}{E_f} = \frac{m.c_p.\Delta\tau}{E_f}, \quad (3)$$

E_{Bl} – енергията за отопление на блока;

E_f – енергията която се консумира от електрическата фурна;

$m.c_p = 3224\ JK^{-1}$ - топлинна маса на блока;

Идеята на предлаганата методика за определяне на КПД се базира на подхода използван в битовите електрически котлони[3,18] и за определяне на КПД при оризови печки [21]. Затова и експериментът се провежда аналогично на предложения в стандарт[3,18] начин.

✓ В съд от емайлирано (йенско) стъкло се налива вода. Електрическите готварски фурни са с различен обем и което е по важно за разлика от електрическите котлони има голямо разнообразието от домакински съдове които могат да се използват – тави, гювечета, с кръгла, с правоъгълна, овална или дори квадратна форма. Съдовете могат да бъдат много разнообразни по своята форма и големина. Изследването на процесите при различни съдове и продуктите, които могат да се нагряват във фурната е свързано с много средства и време, (като същото се отнася и за стандартния товар – тухла или цилиндричния блок [3,18,21]). Затова опитите са ограничени по отношение на вида на съда като се избира съд от йенско стъкло с различни стандартни обеми -1л., 1,5л., 2л. и 3литра (подобно на електронагревателните плочи).

✓ Измерва се началната температура на водата, чрез помощта на термодвойка, която се поставя в центъра на съда;

✓ Съдът се поставя в студена фурна;

✓ Фурната се включва на желания режим на работа:

- за метод на конвенционално загряване (“ic”) - нагряването става само чрез облъчване и естествена конвекция.

- за метод на принудителна циркулация на въздуха (“if”)- т.е. с помощта на вентилатор

- нагряване само с нагревател - грил (“ig”).

✓ Следи се температурата на водата и след нарастването ѝ с 80°C се засича времето на нагряване и изразходваната енергия с помощта на измервателна апаратура (електромер и часовник).

✓ Изчислява се КПД по следната зависимост :

$$\eta = \frac{1{,}16.m_1.(\tau_2 - \tau_1).100\%}{E} + \frac{c_2.m_2.(\tau_2 - \tau_1).100\%}{3{,}6.E} \qquad (4)$$

Където:

m_1 – маса на водата [kg];

τ_1 – температура на водата преди теста [°C];

τ_2 – температура на водата в края на теста [°C];

c_2 – специфична топлина на домакинския съд [kJ/kgK];

m_2 – маса на домакинския съд [kg];

E – консумираната енергия [Wh];

За потвърждаване на методиката са проведени експериментални изследвания върху електрическа готварска фурна „Zanussi” модел „BMX316’’ за вграждане със следните технически данни:

-Номинално напрежение: 230 V
-Мощност на фурната: 1850 W
-Мощност на горен нагревател: 800W.
-Мощност на долен нагревател:1000 W
-Мощност на грила: 1650 W
-Мощност на лампа: 25 W
-Мощност на вентилатора: 25 W
-Размери на фурната: височина - 335mm, ширина - 405mm, дълбочина - 400 mm.
-Габаритни размери на печката: височина - 590 mm, ширина - 560mm, дълбочина - 540mm.

Експериментите са проведени като решетката е на средата в обема на електрическата фурна, а при опитите е използван съд с обем 3л с количество нагрявана вода 1л. Изследвани са и трите режима на работа и е изчислен КПД, а получените резултати са показани в таблица.1.

Табл. 1. Електрическа фурна за вграждане „Zanussi” модел „BMX316’’

Режим на нагряване	Време	E	КПД
	(sec.)	(Wh)	(%)
ic	2069	867	20,04
if	1994	927	18,75
ig	3630	882	19,70

От литературата са известни резултати за КПД от направени експерименти като е използвана стандартната процедура „ANSI – тест“ т.е. използвания товар е цилиндричен блок [19]. Данните за електрическа фурна за вграждане „LEO“, която е аналогична по конфигурация и технически параметри със „Zanussi” са показани в таблица.2. Резултатите при конвекционалния режим са с много малка разлика -0,86%, при двете процедури.

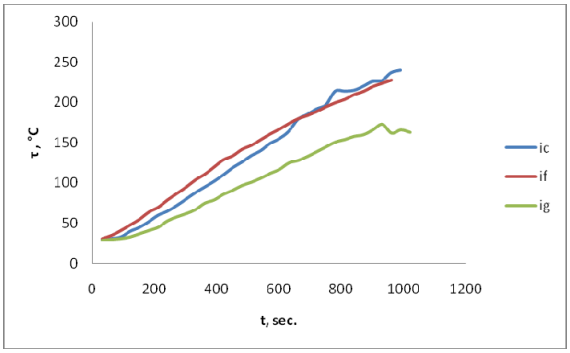
Табл. 2. Електрическа фурна „LEO“ тест процедура ANSI

Режим на нагряване	Време	E	КПД
	(sec.)	(Wh)	(%)
ic	2160	530	21,9
if	1680	545	21,3

Разхода за енергия както и времето за всичките отделни режими за предварително нагряване на празна фурна - са показани на фиг.1 и таблица.3.

Табл. 3.

Режим на нагряване	Време	E
	(sec.)	(Wh)
ic	990	463
if	960	452
ig	2190	655



Фиг. 1.Предварително нагряване на празна фурна – τ=f(t).

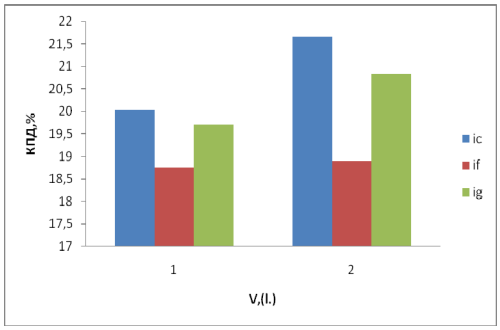
Получените резултати дават основание да се използва предложената методика за оценка на енергоефективността на готварски фурни

2. Оценка на факторите влияещи върху енергоефективността на електрическа фурна

Поради голямото разнообразие от съдове по форма (кръгли, правоъгълни, елипси), големина и материали (мед, емайлиран-метал, чугун, глина и стъкло) анализът става много сложен. Експериментите са проведени с най-често използваните в момента два вида съда от емайлирано стъкло както е и в предложената по-горе методика. Диаметърът на големия съд е 240 mm, обемът (V) е 3 литра, а на малкия съд диаметърът е 200 mm, като обемът му е 2 литра. В таблица.4. и фиг.2 са показани резултатите от експериментите при използването на тези два съда, като нивото на решетката е в средата на работното пространство на фурната, количеството нагрявана течност е 1 литър.

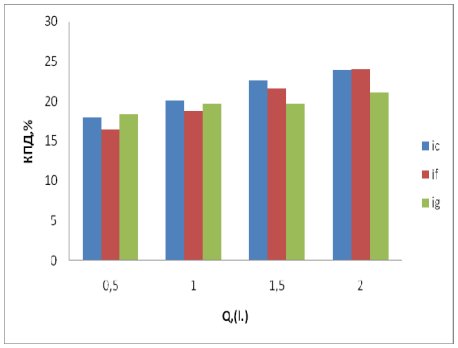
Табл. 4.

Режим на нагряв.	Обем на съда(л.)	Време	E	КПД
		(sec.)	(Wh)	(%)
ic	3	2069	867	20,04
	2	1940	802	21,66
if	3	1994	927	18,75
	2	1880	919	18,9
ig	3	3630	882	19,7
	2	3325	834	20,83



Фиг. 2. Зависимостта на КПД от обема на използвания съд при различните режими на работа. (1) – съд с обем 3л; (2)- съд с обем 2л.

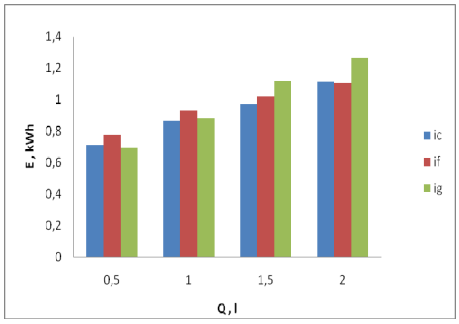
Проведени са експерименти за да се оцени влиянието на количеството нагрявана вода - Q върху КПД на електрическа фурна. Количеството вода, с което се провеждат опитите е съответно 0,5л., 1л., 1,5л. и 2 литра в съд с обем 3 литра, като съда е поставен на средно ниво на решетката, а резултатите от експериментите са в таблица.5. Зависимостта на КПД от количеството нагрявана течност- Q е показана на фигура.3, а за изразходваната енергия на фигура.4.



Фиг. 3. Зависимостта на КПД от обема на нагряваното количество вода при различните режими на работа – за средно ниво на решетката и обем на съда 3л.

Табл. 5.

Режим на нагряв.	Q литри	Време (sec.)	E (Wh)	КПД (%)
ic	0,5	1609	710	17,93
	1,0	2069	867	20,04
	1,5	2560	974	22,60
	2,0	2820	1114	23,92
if	0,5	1662	776	16,41
	1,0	1994	927	18,75
	1,5	2220	1021	21,56
	2,0	2407	1108	24,05
ig	0,5	2620	694	18,35
	1,0	3630	882	19,70
	1,5	4740	1120	19,65
	2,0	5430	1265	21,07



Фиг. 4. Зависимостта на изразходванат енергия от обема на нагряваното количество вода при различните режими на работа – за средно ниво на решетката и обем на съда 3л.

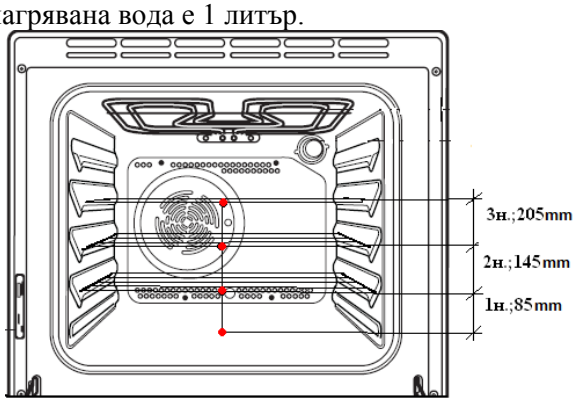
Съдът може да бъде поставен на различни места във фурната. Може да се постави в средата на пода на фурната, на решетката, която може да се мести на определено ниво според носачите. При проведените експерименти съдът се поставя в средата на пространството на електрическата фурна. Интерес представлява изменението на положението на поставения съд в пространството на електрическата фурна. Използват се три нива на решетката(фиг.5), а именно :

-долно ниво на 85mm от дъното на електрическата фурна – 1н;

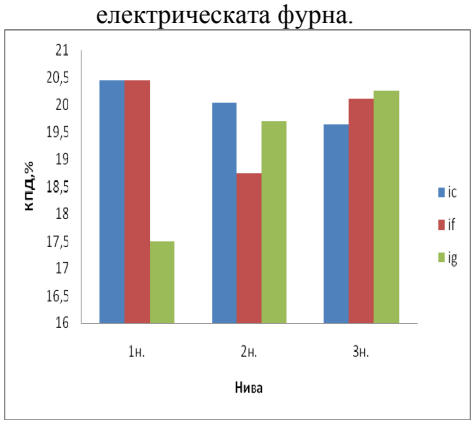
-средно ниво на 145mm от дъното на електрическата фурна-2н;

-горно ниво на 205mm от дъното на електрическата фурна-3н.

Резултатите от проведените експерименти - за оценка на влиянието на местоположението на съда в пространството на електрическата фурна - са показани на фиг.6. Използваният съд при тези експерименти е с обем 3 литра, а количеството нагрявана вода е 1 литър.



Фиг.5. Местоположението на скарата в обема на електрическата фурна.



Фиг. 6. Зависимостта на КПД от местоположението на съда (по вертикала) при различните режими на работа – за количество нагрявана течност 1л. и обем на съда 3л.

III. ИЗВОДИ

Направеното сравнение между предлаганата методика и съществуващите („тухла-тест“ и „ANSI-тест“) показва близки резултати , което ни позволява да считаме че методът може да се използва с достатъчна достоверност за определяне на коефициента на полезно действие на електрически фурни. Предимствата на методиката са:

1.Достъпен за практиката товар (съд от емайлирано стъкло) със стандартно количество течност- 0,5л.,1л., 1,5л. и 2л.(за разлика от специалната тухла и цилиндричния блок при стандартните тестове).

2.Лесно поставяне на диагностична апаратура –сонди за следене на прегряването.

3.Процедурата за провеждане на експериментите е по- опростена – няма предварителна подготовка на използвания товар за разлика от „тест – тухлата“ и е съкратено времето за провеждане на самия експеримент за разлика от „ANSI-тест“.

От проведените експериментални изследвания могат да се направят следните изводи :

✓ При принудителна циркулация на въздуха – разхода на енергия при нагряване на празна фурна е 452 Wh. При загряване с нагревателен елемент грил е с 44,9 % по-голям. А при метода с конвенционално загряване е по –голям с 2,4%.

✓ Времето на загряване при празна фурна в режим принудителна циркулация на въздуха е 960 секунди. Разликата между този режим и конвенционалния режим е 3 %.

✓ Коефициентът на полезно действие се получава най – голям - 24,05% при режим принудителна циркулация на въздуха в съд с обем 3 литра, с количество нагрявана течност 2 литра и при ниво на скарата в средата.

✓ Влиянието на количеството нагрявана течност – с увеличаване на количеството нагрявана течност с 25 % се увеличава на коефициента на полезно действие средно с 11,4 % при режим конвенционално загряване и 13,6% при за принудителна циркулация.

✓ При намаляване на обема (с 33%) на използвания съд разходът на енергия намаля с 8,1%.

Предложената методика ще послужи за получаване на експериментални резултати с които могат да се разработят стохастични модели за оценка на енергоефективността и оптимизация на разхода на енергия на термични уреди за приготвяне на храна.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. БДС 63/1 - 90, Уреди електрически битови – общи електрически изисквания за безопасност и методи за изпитване.
[2]. БДС 63/4 - 94, Уреди електрически битови – общи електрически изисквания за безопасност и методи за изпитване.
[3]. БДС 1732-85, Печки готварски и котлони електрически битови.
[4]. БДС 12805-84, Пещи електрически съпротивителни.
[5]. Енергиен профил на България 2005, Национален комитет на България в Световния енергиен съвет.
[6]. Контров, С. И., Създаване и изследване на математичен модел за работа на електрическа фурна, Сборник доклади, Научна конференция с международно участие ТУ-Габрово, 151-157, 1995г.
[7]. Наредба за изискванията за етикиране и предоставяне на стандартна информация за продукти, свързани с енергопотреблението, по отношение на консумацията на енергия и други ресурси, Държавен вестник, брой 41, 31 май 2011г.
[8]. Национален статистически институт, Преброяване 2011 (окончателни данни).
[9]. Пандалеева Иванка, Пестене на енергията в домакинствата вследствие на промяна поведението на потребителя, Енергетика, №6, 47-50, 2011.
[10]. ACHIEVE, Actions in low income Households to Improve energy efficiency, Training Module for Multiplicators Severn Wye Energy Agency, IEE/10/431/SI2.589429, last revised 02/16/2012.
[11]. Action plan for Energy Efficiency, COM, 2006.
[12]. Association of home appliance manufacturers. American National Standard, household electric ranges, ANSI/AHAM ER – 1-1986, Chicago, IL, USA. 1986.
[13]. Comitė Europėen de Normalisation Electotechnique (CENELEC), Electric ovens for household use-methods for measuring energy consumption, prEN 50304, May 1998.
[14]. Comitė Europėen de Normalisation Electotechnique (CENELEC), Methods to be used for measuring the energy consumption of electric ovens for household use and for the purporse of informing consumers of it, HD 376 S2, 1984.
[15]. Council document 7224/07.
[16]. Directive 2006/32/EC on energy end- use efficiency and energy services, Art 14.
[17]. EN 50304:2009, Electric ovens for household use. Methods for measuring the energy consumption.
[18]. EN 60350:2009, Electric cooking ranges, hobs, ovens, and grills for household use, Methods for measuring performance.
[19]. Shaughnessy B.M., M. Newborough, Energy performance of a low-emissivity electrically heated oven, Applied Thermal Engineering 20, 813-830, 2000.
[20]. US Department of Energy report 10 CFR part 430 part III, “Energy Conservation Program for Consumer Products: Energy Conservation Standards for Electric Cooking Products (Electric Cooktops, Electric Self-Cleaning-Ovens, and Microwave Ovens)”, 8 September 1998.
[21]. Zhou Nan, International Experience in Standards and Labeling Programs for Rice Cookers, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008.
[22]. http://www.climamarket.bg/
[23]. http://www.monitor.bg/

За контакти:
инж. Янита Славова, главен асистент в Катедра ”Електротехника и електротехнологии” при ЕФ на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, 835Е. e-mail: slaw_jan@abv.bg
инж. Мария Маринова, доцент в Катедра”Електротехника и електротехнологии” при ЕФ на ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, 835Е. e-mail: m_i_m@abv.bg

Рецензент:
доц. д-р инж. Маринела Йорданова - ТУ-Варна

ЗАРЕЖДАНЕ, ТЕСТВАНЕ, РЕЦИКЛИРАНЕ И ИЗПИТАНИЯ НА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

ACUMULATOR BATTERIES CHARGING, TESTING AND RECYCLING

Стоян С. Гишин

Резюме: В доклада са показани патентно защитените методи и устройства за основните електрохимични процеси при акумулаторните батерии, които имат огромно гражданско и индустриално приложение. Проведени са зареждане, тестване, рециклиране и изпитания на различни акумулаторни батерии, съгласно изискванията на Наредба 3, БДС EN и др. Показани са в табличен и графичен вид получените резултати от експерименталните изследвания.
Ключови думи: акумулатори, батерии, заряд, разряд, тестване

Abstract: Patented methods and devices for the main electrochemical processes of accumulator batteries with enormous civil and industrial application are shown in this paper. Charging, testing and recycling of different accumulator batteries in accordance with Ordinance 5 and BSS EN were conducted. The experimental tests' results are shown in tabular and graphic form.
Keywords: batteries, charge, discharge, testing

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е, че през последните години акумулаторните батерии (АБ) намират много и разнообразно индустриално приложение в енергетиката, железопътния, въздушния, морския, автомобилния и електрокарния транспорт, телекомуникации и други. АБ според индустриалното си приложение са стартерни, стационарни и тягови. Широко използваните АБ според електрохимичната система са оловно киселинни и алкални никел кадмиеви и сребърно цинкови, литиеви, никел водородни и други. Едно от основните приложение на стационарните АБ е за собствени нужди (СН) в тягови подстанции (ТПС) на енергетиката и железопътната инфраструктура др., съгласно изискванията на действащите наредби на закона за енергетика и Наредба 3 (1,2).

II. ОСНОВЕН ТЕКСТ

През последните години значително се измениха изискванията към по-рано използваните АБ спрямо изискванията към съвременните обслужваеми и не обслужваеми АБ [1-3].

Основният електрохимичен процес, който основно гарантира електрическите параметри на АБ е зареждането (1-2).

За преодоляването на недостатъците на основните и известни методи, е разработен и се използва методът на постепенно изменение на тока, както и комбинирани методи при постоянен ток първоначално и постоянно напрежение след това. При други комбинирани методи първоначално заряда започва при постоянно напрежение, а след това при постоянен ток (1).

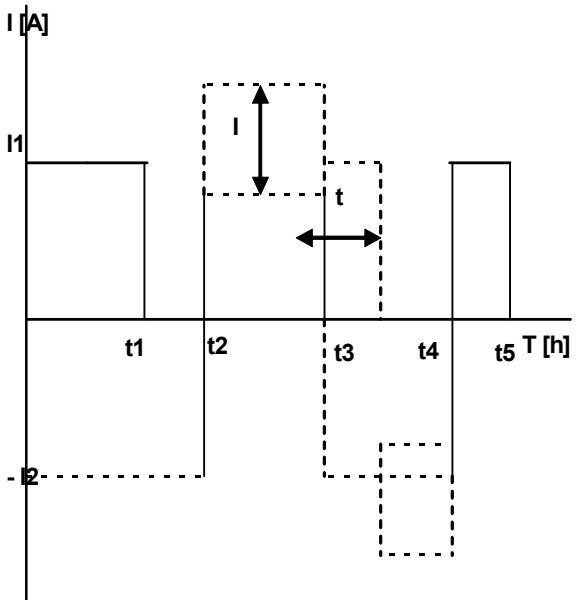
В Техническите университети във Варна и София са създадени под ръководството на проф. д.т.н. инж. Петър Рашков Пенчев, методи и електротехнологии за електроформиране на активната маса на оловни акумулаторни плочи с постоянен ток, периодично променящ полярността си (ПТППП), които са защитени с патенти у нас и в чужбина - фиг. 1.

Анализирайки предимствата и недостатъците на разработените методи и електротехнологии за електроформиране на активната маса на оловни акумулаторни плочи с ПТППП са разработени и се реализират ПТИ за импулсен ток с компютърен контрол и управление на електрохимичните процеси (ПТИ с ККУ) - фиг. 2 и 3. Разработени са и са реализират програмируеми разрядни генератори на ток (ПРГТ) с компютърен контрол и управление на процесите (ККУ).

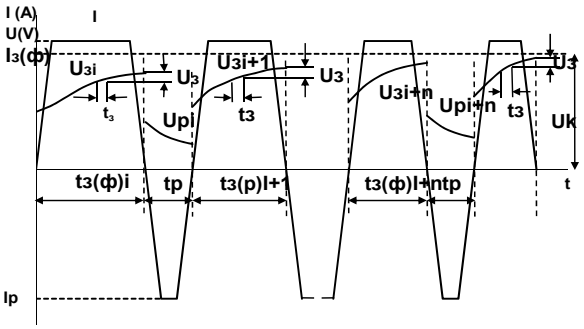
Управлението на програмируемите токоизточници за електроформиране, заряд, тестване и изпитания на ХИТ се осъществява с използване на модул АЦП и ЦАП. Модулът включва многоканално АЦП с 12-битова разрядност, два ЦАП, цифрови изходи и таймер.

Модулът е вграден в персонален компютър и управлението му се осъществява от програма, която се управлява (чете и записва) в регистрите на ЦАП и АЦП. Предимство на това решение е също възможността за използване на програмното осигуряване на персоналния

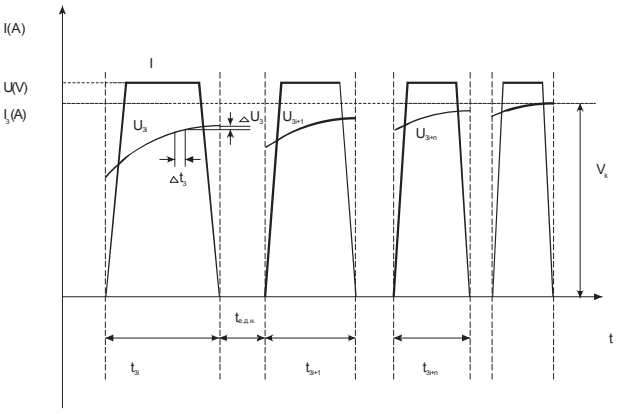
компютър. Формата на използваните токови импулси и блоковата схема на ПТИ с МПУ са дадени на фиг. 1- 4 .



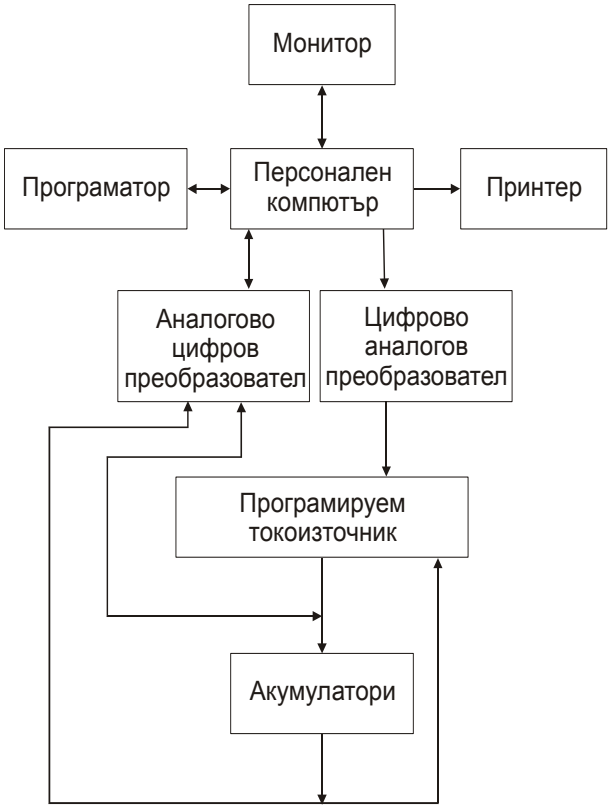
Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

Основните предимства на ПТИ за импулсен ток с МКУ при електроформиране, заряд и изпитания, ПРГТ с ККУ при разряд и тестване на акумулаторни батерии са:

1. Всички параметри за електротехнологичния процес (ток, напрежение, времетраене на токовите импулси с положителна и отрицателна полярност, времетраене на безтоковата пауза, измерваната разлика на електрическото напрежение по време на всеки токов импулс, периоди на измерване и др.) се задават предварително и по време на процесите се управляват, измерват регистрират в табличен и графичен вид от преносим компютър, което е показано на лицевия панел на ПТИ с ККУ.

2. Всички параметри за тестване на акумулаторни батерии (разряден ток, времетраене на разрядния ток, форма на разрядния ток, минимално допустимо разрядно електрическо напрежение и други) се задават предварително и по време на тестването се управляват, измерват, регистрират в табличен и графичен вид от преносим компютър.

3. Зададената конкретна програма за даден електротехнологичен процес може да бъде записана в паметта на компютъра и да бъде многократно реализирана при различни състави на електролитите, при електрохимически източници на ток от различни фирми и други условия.

4. Стойностите на токовите импулси с положителна и отрицателна полярност могат да бъдат задавани еднакви или различни.

4. Стойността на токовия импулс с отрицателна полярност може да бъде задавана и като нулева.

5. Времетраенето на токовия импулс с положителна полярност може да бъде определяно автоматично по време на електротехнологичните процеси чрез непрекъснато следене и измерване на някои основни параметри на процеса - изменението на зарядното и разрядно напрежение, във функция от времето, изменението на температурата на електролита, изменението на активното вътрешно съпротивление на активната маса и електролита и други.

6. Времетраенето на токовите импулси с положителна и отрицателна полярност и времетраенето на безтоковата пауза могат да бъдат задавани с желана продължителност.

7. Всички основни параметри на електрохимичния процес се записват и могат да бъдат наблюдавани във вид на таблици и графики.

8. Основните параметри, които могат да бъдат автоматично следени и записвани по време на електрохимичните процеси са:

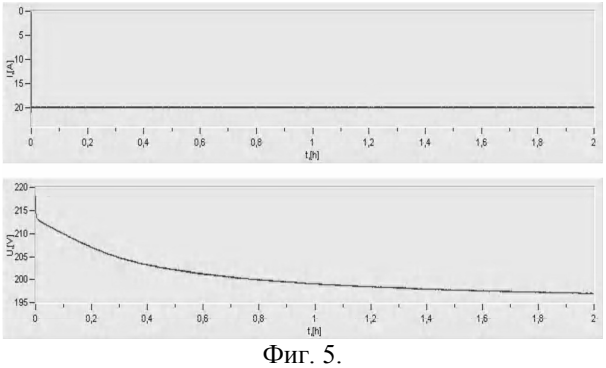
- ток с положителна полярност
- времетраене на тока с положителна полярност
- ток с отрицателна полярност
- времетраене на тока с отрицателна полярност
- електрическо напрежение по време на всеки период на тока с положителна или отрицателна полярност или по време на безтоковата пауза
- времетраене на безтоковата пауза
- температура на електролита по време на електрохимичния процес за всеки период на токовите импулси и безтоковата пауза
- количество електричество и електроенергия по време на всеки период на тока с положителна и отрицателна полярност
- сумиране на количеството електричество и електроенергия след всеки период на тока с положителна и отрицателна полярност
- автоматично изчисляване на номиналния капацитет на изпитваните химически източници на ток в амперчасове и в проценти
- корекция на номиналния капацитет на химическите източници на ток в зависимост от температурата на електролита по време на изпитанието
- автоматично изчисляване на активното вътрешно съпротивление на различните химически източници на енергия при различни зарядни или разрядни процеси.
- възможност за таблично представяне на горепосочените данни
- възможност за графично представяне на някои основни параметри на електрохимичния процес- електрически ток, електрическо зарядно или разрядно напрежение, активно вътрешно съпротивление при заряд, разряд или тестване на различни акумулаторни батерии и други.
- общо времетраене на процеса

Провежданите процеси може автоматично да бъдат изключени при:

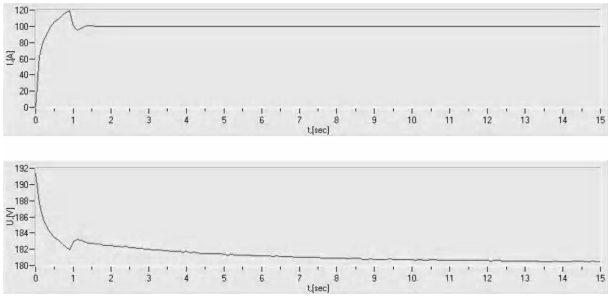
- предварително зададено времетраене на процеса
- предварително зададено количество електричество или електроенергия за процеса
- при достигане на предварително зададена стойност на зарядното електрическо напрежение
- при достигане на предварително зададена стойност на разрядното електрическо напрежение.

Проведени са изследвания и изпитания на действащи АБ в НЕК изработен програмируем разряден генератор на ток (ПРГТ) с компютърен контрол и управление (ККУ) на разрядния процес.

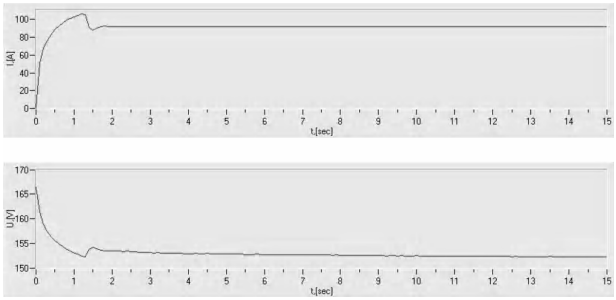
Всички параметри по време на тестване на АБ при продължителен режим от 2 часа с 20 А, както при кратковременен режим от 15 секунди с 100 А, на различни батерии, са показани в табличен и графичен вид от преносим компютър – фиг. 5-7.



Фиг. 5.



Фиг. 6.



Фиг. 7.

III. ИЗВОДИ

От извършеният анализ на получените резултати може да бъдат направени следните по-важни изводи:

1. Стационарните АБ тип Gro E 2x110 V/300 Ah на фирмата Hoppecke - Германия напълно отговарят на изискванията към САБ в системите СН на НЕК.

2. Измереното напрежение на елемент 1.142 V за никел-кадмиева САБ тип SBM 2x110 V/184 Ah в края на втория час при разряд, последвано от IУД =92 A за tУД =15 сек. в края на разряда при 20ºC, не отговаря на изискванията на стандартизационните документи.

На основание проведените изпитания и от разпечатките на преносимия компютър, получените резултати и направените изводи и анализ можем да направим следната препоръка:

Необходимо е да се провеждат периодично рециклиращи цикли заряд-разряд с компютърен контрол, управление и регистрация на зарядно-разрядния ток, зарядно и разрядно напрежение, автоматично изчисление на количество електричество и електроенергия на АБ, което ще доведе до намаляване на вътрешното съпротивление на клетките, удължаване и гарантиране на експлоатационния живот на АБ.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Гишин С. Акумулатори. Издателство на Технически Университет - София, 2012 г.

[2]. Гишин С. Електрохимични процеси с импулсен ток с компютърно управление. Издателство на Технически Университет - София, 2012 г.

[3]. Наредба № 3 Устройство на електрическите уредби и електропроводните линии. София, АВС техника ООД, 2004 г.

[4]. Пенчев П. Р., С. С. Гишин, Нестационарната електрохимия и електродно-акустимния ефект, Издателство на Технически университет - София, 2011 г.

За контакти: Стоян Гишин, химик, д-р по електрохимически източници на енергия, ст.н.с. по Електротехнологии, катедра „Електрически апарати", Електротехнически факултет, Технически университет - София, сл. тел. 9653167, факс 8686719, моб. тел. 0888457022, e-mail: gishin@tu-sofia.bg

Рецензент:
доц. д-р инж. Марин Маринов - ТУ-Варна

МОБИЛЕН ПРОГРАМИРУЕМ РАЗРЯДЕН ТЕСТЕР С МИКРОПРОЦЕСОРНО УПРАВЛЕНИЕ, КОНТРОЛ И РЕГИСТРАЦИЯ ЗА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

MOBILE PROGRAMMABLE DISCHARGE TESTER WITH MICROPROCESSOR MANAGEMENT, CONTROL AND REGISTRATION OF ACCUMULATOR BATTERIES

Стоян С. Гишин

Резюме: Разработен и произведен е иновативен мобилен програмируем разряден тестер. Тестерът е с микропроцесорно управление, контрол и регистрация на стартерната способност на 2, 6 и 12 V акумулаторни батерии с 200 до 1200 A разряден ток.
Ключови думи: батерии, разряд, тестване

Abstract: An innovative mobile programmable discharge tester is developed and made. The tester has microprocessor management, control and registration of starter ability of 2, 6 and 12 V accumulator batteries with 200 to 1200 A discharge current.
Keywords: batteries, discharge, testing

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е, че основен електрически параметър на акумулаторите е стартерната способност при минус 18ºC, съгласно изискванията на всички производители и Европейските норми (EN).

Известни са много тестери на различни известни и неизвестни фирми. Необходимо е да отбележим, че при някои от тестерите акумулаторите се изпитват под товар, както е и изискванията на БДС EN 50342, а при други електронни тестери акумулаторите не се натоварват с разряден ток.

Основните недостатъци на електронни тестери на акумулатори, които не се натоварват с разряден ток.са:

- не различават нормално срещаните дефекти късо съединение в клетка и прекъсната връзка.

- не отчитат реално динамичното състояние (стартерна способност) на акумулаторите, понеже при заложените софтуерни изчисления не може реално да отчете параметри, които основно лимитират стартерната способност, а именно:

1. концентрацията и количество на електролита
2. състоянието на положителната и отрицателна активна маса
3. замърсеност на електролита
4. температура на активната маса и електролита
5. химичен състав и съответно зареденост на активната маса

Основните недостатъци на разрядните тестери на акумулатори, които се натоварват с разряден ток.са:

- няма хартиена регистрация на електрическото напрежение и разряден ток и съответно изменението им по време на тестването.

- не могат и не се отчитат реални параметри на акумулаторите, които лимитират динамичното им състояние (стартерна способност), а именно:

1. концентрацията и количество на електролита
2. състоянието на положителната и отрицателна активна маса
3. замърсеност на електролита
4. температура на активната маса и електролита
5. зареденост на активната маса

Всички тези недостатъци на тестерите водят до много сериозни спорове между производители, търговци и потребители на акумулаторите и съответно оплакване и занимаване на много държавни институции - комисия за защита на потребителя (КЗП), комисия по защита на конкуренцията (КЗК) и други.

Необходимо е да отбележим, че много от акумулаторите престояват продължително време (месеци) в търговската мрежа, влошават им се електрическите параметри (саморазряд, загуба на вода, номинален капацитет, стартерна способност и други).

II. ОСНОВЕН ТЕКСТ

За преодоляване на тези недостатъци на тестерите с токово натоварване и без товар разработихме, изработихме МПРТ с МПУКР.

Основните параметри на МПРТ с МПУКР са:

I. Номинални данни на МПРТ с МПУКР - от 2 , 6 и 12 V /от 200-1200 А

1. Номинален разряден ток - кратък режим - 100 до 1200 А

2. Времетраене на краткия разряд - до 6 сек.

3. Номинално ел. напрежение - от 2,0 до 12 V

4. Точност на стабилизация - 2 %

5. Управление , контрол и регистрация с МПУКР

II. Основни параметри за управление, контрол и регистрация при изследвания и изпитания на акумулаторни батерии с МПРТ с МПУКР

1. Всички параметри за разрядния процес (ток, напрежение, времетраене на процеса и др.) се задават предварително със разработени софтуерни програми и по време на процесите се управляват от МПУКР.

2. Зададената конкретна софтуерна програма за даден разряден процес може да бъде записана в паметта на МПРТ с МПУКР и да бъде многократно реализирана при различни акумулаторни батерии от различни фирми и други условия.

3. Времетраенето на токовите импулси с отрицателна полярност могат да бъдат задавани до 6 секунди.

4. Всички основни параметри на разрядния процес на АБ се наблюдават и регистрират автоматично във вид на таблици и графики върху хартиен носител.

5. Основните параметри, които могат да бъдат автоматично следени и записвани по време на електрохимичните процеси са:

- електродвижещо напрежение на 1-ва секунда
- разряден ток
- времетраене на разрядния ток до 6 секунци
- електрическо напрежение на 2-ра, 4-та и 6-та секунда по време на разрядния ток.
- таблично представяне на електродвижещо напрежение на 1-ва секунда, разрядното електрическо напрежение, времетраене на процеса, стойност на разрядния ток, активно вътрешно съпротивление на 2-ва, 4-та и 6-та секунда, дата и подпис, съгласно приложена таблица и графики.

Табл. 1. Надпис над таблица

№ по ред -	секунда s	е.д.н. V	разряден ток Ip, A	разрядно напрежение Up, V	вътр. съпротив-ление Rp, ома
1	1	6	22	-	-
2	2	-	200	5,55	0,0033
3	4	-	201	5,12	0,0055
4	6	-	198	5,01	0,0061

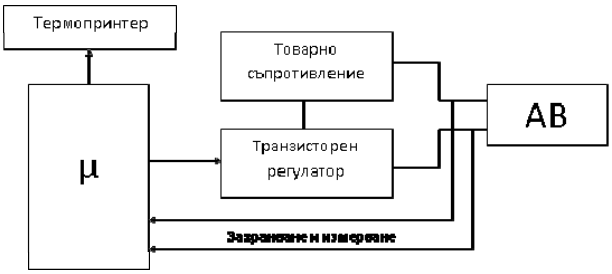
Отговаря: ДА/НЕ

Дата: Подпис:

6. Провежданите разрядни процеси при изследвания и изпитания на акумулаторни батерии може автоматично да бъдат изключени при:

- предварително зададено времетраене на процеса.
- при достигане на предварително зададена стойност на разрядното електрическо напрежение - от 1 до 9 V.

Блоковата схема на МПРТ с МПУКР е показана на фиг. 1.



Фиг. 1.

III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ТЕСТВАНИЯ

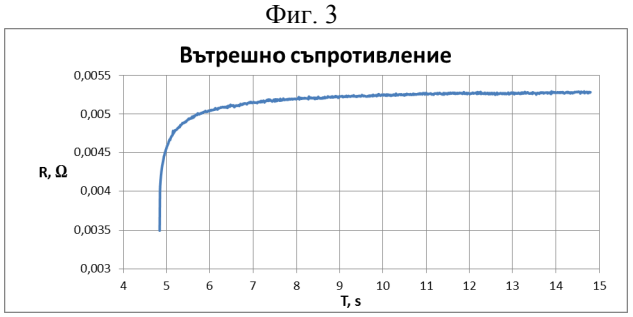
Някои от експерименталните изследвания за динамичното състояние на различни стартерни и стационарни (херметични) акумулатори и батерии на различни производители от цял свят - е.д.н., разряден ток, разрядно напрежение, изчислено вътрешно съпротивление и други са показани в графичен вид – фиг. 2 – 16.

АВ1 ТЕСТ 2 - 500А

Параметри: Капацитет: 44Ah; Стартов ток: 450А EN; ЕДН измерено: 12,702

Фиг. 2

Фиг. 3

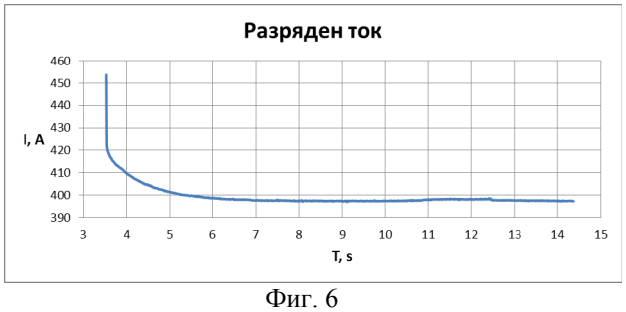


Фиг. 4

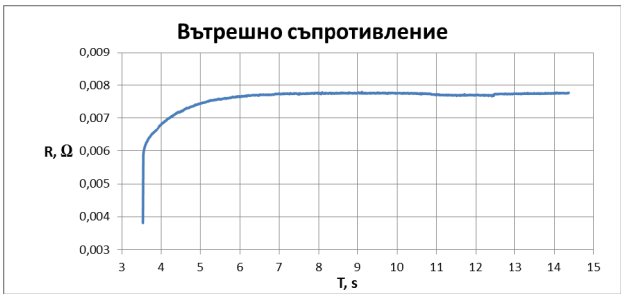
АВ2 ТЕСТ 1 - 500А

Параметри: Капацитет: 77Ah; Стартов ток: 700А EN; ЕДН измерено: 12,618

Фиг. 5



Фиг. 6



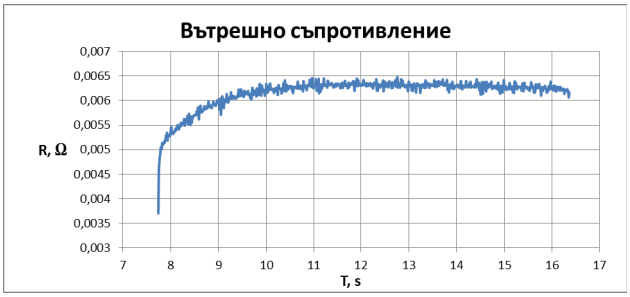
Фиг. 7

АВ3 ТЕСТ 1 - 250А

Параметри: Капацитет: 120Ah; Стартов ток: 820А EN; ЕДН измерено: 12,515

Фиг. 8

Фиг. 9



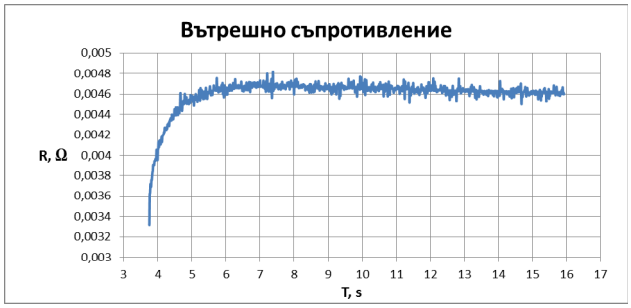
Фиг. 10

АВ3 ТЕСТ 2 - 500А

Параметри: Капацитет: 120Ah; Стартов ток: 820А EN; ЕДН измерено: 12,485

Фиг. 11

Фиг. 12



Фиг. 13

АВ3 ТЕСТ 3 - 750А

Параметри: Капацитет: 120Ah; Стартов ток: 820A EN; ЕДН измерено: 12,454

Фиг. 14

Фиг. 15

Фиг. 16

Някои от акумулаторните батерии не отговориха на изискванията и съответно бяха отворени и анализирани.

Анализът на експерименталните резултати показва:

1. стартерната способност на батериите е пряко свързана с активното вътрешно съпротивление.

2. неотговарянето на някои херметични акумулаторни батерии се дължи:

- продължителен престои, което води до загуба на вода и повишаване на вътрешното съпротивление.

- сулфатизация на активната маса на електродите.

- по-малко тегло на активната маса (по-малко оловни плочи или замяна с неоловни материали).

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработени и изработени са иновативни мобилни програмируеми разрядни тестери под товар с микропроцесорно управление, контрол и регистрация на динамичното състояние на акумулаторни батерии с различно номинално напрежение и капацитет.

За контакти: Стоян Гишин, химик, д-р по електрохимически източници на енергия, ст.н.с. по Електротехнологии, катедра „Електрически апарати", Електротехнически факултет, Технически университет - София, сл. тел. 9653167, факс 8686719, моб. тел. 0888457022, e-mail: gishin@tu-sofia.bg

Иновативните мобилни програмируеми разрядни тестери (МПРТ) под товар с микропроцесорно управление, контрол и регистрация (МПУКР) на динамичното състояние на акумулаторни батерии с различно номинално напрежение и капацитет са разработени и изработени с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на конкурентността на българската икономика" 2007 – 2013 г., договор BG 161PO0003-1.1.05-0068-C0001 и Министерството на икономиката, енергетиката и туризма, за което сме изключително благодарни.

Рецензент:
доц. д-р инж. Марин Маринов - ТУ-Варна

SOME NANOSTRUCTURES IN THE PRESENCE OF A LONGITUDINAL CONSTANT ELECTRIC FIELD

Adelina Miteva Miteva

Abstract: We have calculated the main energies and the spatial distributions of the electronic bound states of some $Al_xGa_{1-x}As$ graded-gap quantum wells in the presence of a longitudinal constant electric field. The calculated quantum wells are with parabolic concentration profiles with different widths. The numerical calculations are carried out within the semi-empirical sp^3s^* tight-binding model including spin and the surface Green function matching method. A comparison of the electronic spectra in the presence of a constant electric field for the quantum wells with these concentration profiles is made. We compare our results with the experimental and theoretical data available in the literature.
Keywords: AlGaAs, graded gap quantum wells, electric field effect, parabolic quantum wells, Stark effect.

I. INTRODUCTION

This work is motivated by the present tremendous interest in the semiconductor nanostructures [1-3]. This interest is connected with their potential applications in various electro-optical devices. The effect of an external constant electric field on electron states (quantum confined Stark effect) in semiconductor quantum well (QW) structures and its many manifestations are of great interest due to the fact that most of the devices based on QWs work under application of an electric field. Of particular interest for device applications are the magnitude of the field induced changes in the energy levels and localization of the wave function in QWs. The aim of the present study is to carry out realistic semi-empirical tight-binding (TB) calculations for the longitudinal quantum confined Stark effect in parabolic quantum wells (PQWs) with different thicknesses. We compare our results with those obtained by us previously for rectangular QWs (RQWs) [4] The comparison of the results is made also with the experimental data the QWs with similar parameters [5].

II. MODEL AND METHOD

We study graded-gap PQWs of $Al_xGa_{1-x}As$ with three different thicknesses of 11 MLs, 22 MLs and 44 MLs. One ML (monolayer) equals two atomic layers and 1ML equals $2.825.10^{-10}$m. We compare our results for PQWs with our previously obtained results for rectangular QWs (RQWs) of the same width. The Al concentration x in the barriers $Al_xGa_{1-x}As$ is x = 0.36 for all QWs. In the RQW Al concentration x is x=0. In the PQWs x varies parabolically from 0.02 at the barriers to 0.12 in the middle of the well. The Al concentration x is a constant in every layer, but is a function of n. The calculations are made for the temperature T = 0 K. We calculate the electron bound states and the hole bound states without and with applying a constant electric field *F*. The electric field *F* is applied parallel to the growth axis [001]. The cation is in n = 1. In the barrier regions the field is *F* = 0 for all QWs. We calculate also the energies of the optical transitions E(C1-HH1), E(C1-LH1), E(C2-HH2) and their Stark (electric field) shifts. The Stark shift consists of a decrease of the energy of a given optical transition in a QW when an electric field is applied.

Numerical calculations are made by the semi-empirical tight-binding approximation in the spin dependent sp^3s^* basis, the virtual crystal approximation and the surface Green function matching method. We use it as it is described in [6,7]. We define the presence of an external static electric field by adding a linearly varying with the distance term Δ_n to the diagonal elements of the TB Hamiltonian matrix:

$$TB(n, x) = TB(x) + \Delta_n ,$$

$$\Delta_n = (n - 1) . F . a /4,$$ where

a is the lattice constant, *F* - the intensity of the longitudinal constant electric field, TB(x) - the diagonal TB parameters without an electric field for the bulk material with Al concentration x, n - the number of the layer (i.e. layer index) in QW. We define the TB parameters TB(x) of the alloy $Al_xGa_{1-x}As$ by the virtual crystal approximation:

$$TB(x) = x . TB(AlAs) + (1-x) . TB(GaAs).$$

The electric field is applied between the two sides of the QW. It is positive if it moves down the right side of the conduction band edge.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 displays the schematic band diagram of the concentration profile of PQWs (see Figure 1 for the case of a PQW with N=11 MLs) without and with the application of a constant electric field *F*. The values of electric field *F* are

respectively: 70.8 kV/cm; 0.0 kV/cm and –70.8 kV/cm from top to bottom.

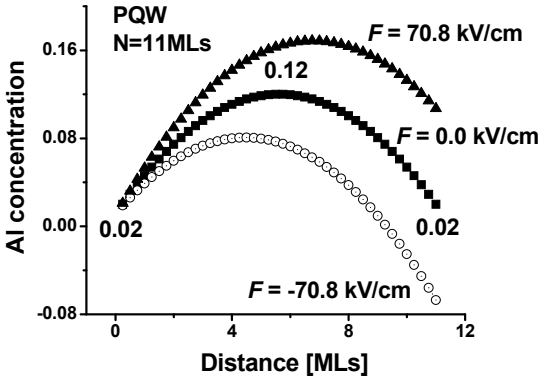


Figure 1. Schematic band diagram of one of the PQWs under study, which consists of N=11 MLs. PQW has Al concentration x = 0.02 at the ends and x = 0.12 in the center. For all QWs we have at the barriers the Al concentration of the alloy composition x = 0.36.

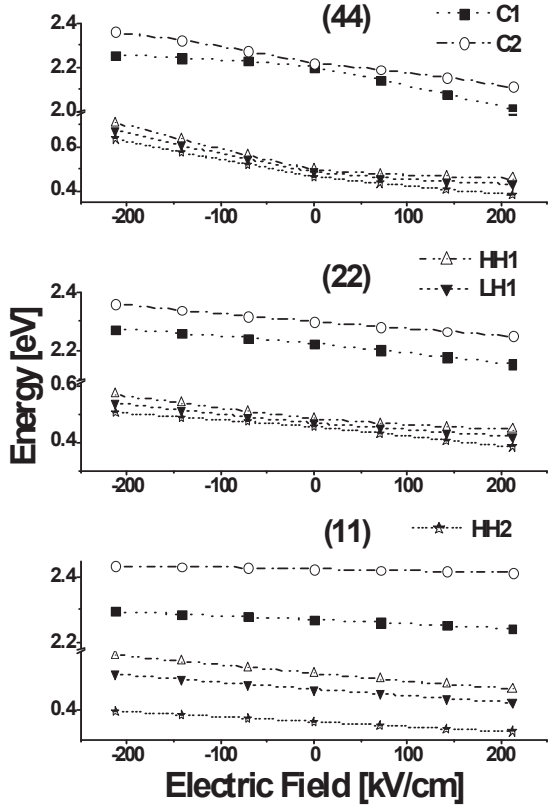


Figure 2. The ground state energies of the conduction C1 (squares), C2(circles) and valence HH1 (open triangles), LH1 (full triangles), HH2 (stars) states in PQWs with different widths: 11 MLs PQW, 22 MLs PQW and 44 MLs PQW, respectively from bottom to top.

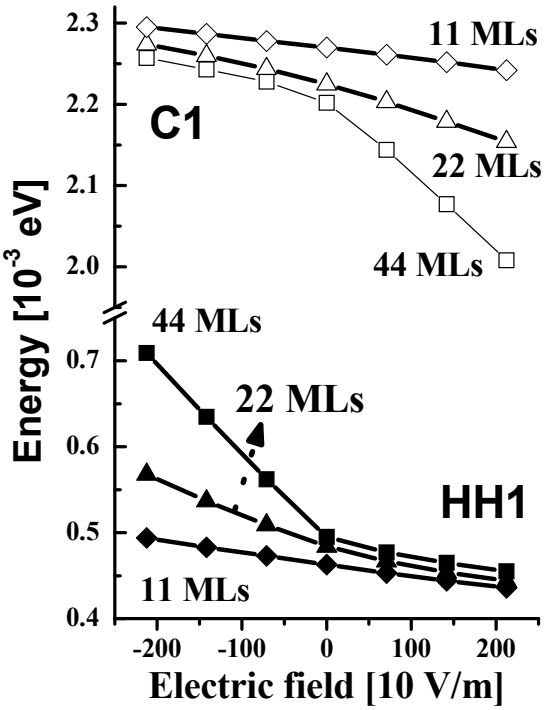


Figure 3. The ground state energies of the conduction C1 (open symbols; above on the figure) and valence HH1 (full symbols; down on the figure) states in PQWs with different widths: 11 MLs PQW - diamonds, 22 MLs PQW - triangles, 44 MLs PQW - squares.

Figure 2 displays all of the calculated ground state energies of the conductioH1, HH2 states in the three parabolic QWs versus the applied constant electric field. We notice that the electric field effects depend on the well width: at the same value of the electric field *F*, the Stark shift increases with the width of the PQW.

Figure 3 displays the calculated ground state energies of the conduction C1 and valence HH1 states in the three parabolic QWs versus the applied constant electric field. We notice that the electric field effects depend significantly on the well width: at the same value of the electric field *F*, the Stark shift increases with the width of the PQW.

Figures 4, 5 and 6 show the dependence of the main optical transition energies respectively E(C1-HH1), E(C1-LH1) and E(C2-HH2) from the applied electric field for the three widths of the PQWs. We found the same dependence as in Figure 3. Here the similar dependence is observed: wider QW is, stronger influence of the electric field is. For all PQWs under study with increasing the applied electric field, the transition energies decrease. The transition energies are larger in the PQWs with greater width, than in the

PQWs with smaller width under application of the same electric field. We notice that the electric field effects depend significantly on the well width: at the same value of the electric field *F*, the Stark shift increases with the width of the QW. We also notice that the dependence on electric field is more pronounced for (C1-HH1) and for (C1-LH1), than for (C2-HH2) transition energies. The comparison of our calculations with the calculations, obtained by us previously [4] for RQWs shows the same dependence of the QW width on applied electric field. The comparison also gives: the transition energy E(C1-HH1) is larger in RQW than in PQW under application of the same electric field *F*. The transition energies E(C1-LH1) and E(C2-HH2) are larger in the parabolic than in the rectangular QWs at the same value of the applied electric field F. The available experimental data for similar PQW [5] are in a satisfactory agreement with our calculations

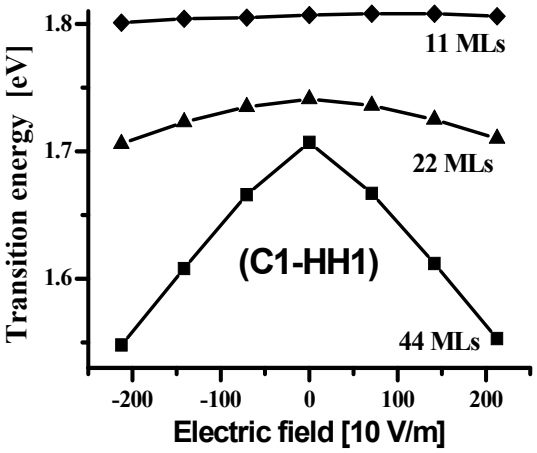


Figure 4. The dependence of the main optical transition energy E(C1-HH1) for the three PQWs (widths: 11 - diamonds, 22 – triangles and 44 MLs - squares, respectively form top to bottom) on the applied electric field intensity.

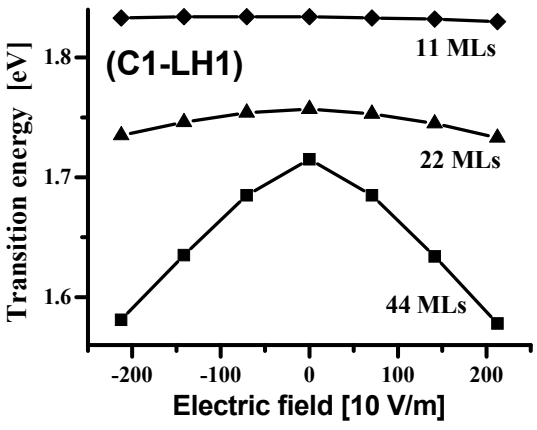


Figure 5. The dependence of the main optical transition energy E(C1-LH1) for the three PQWs (widths: 11 - diamonds, 22 – triangles and 44 MLs - squares, respectively form top to bottom) on the applied electric field intensity.

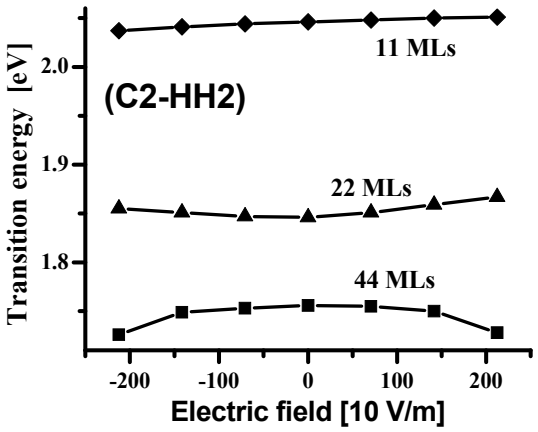


Figure 6. The dependence of the main optical transition energy E(C2-HH2) for the three PQWs (widths: 11 - diamonds, 22 – triangles and 44 MLs - squares, respectively form top to bottom) on the applied electric field intensity.

Some discrepancies can be due to the differences in the QW parameters (widths, barrier concentration profiles), temperature and excitonic effects. Note that our calculations do not include either temperature or excitonic effects.

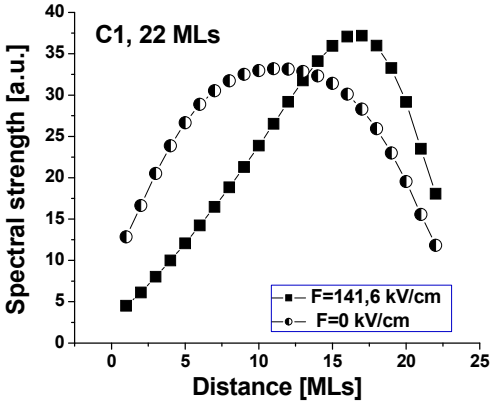


Figure 7. Spectral strength for C1 of PQW with 22 MLs width, with $F = 0$ (circles) and with $F = 141{,}6$ kV/cm (squares).

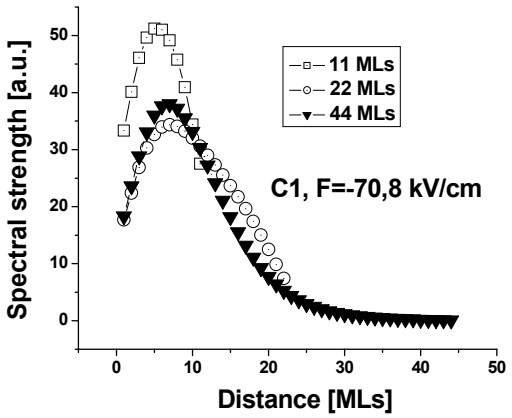


Figure 8. Spectral strength spatial distributions for C1 state of PQW with 11 (squares), 22 (circles) and 44 (triangles) MLs widths, with applied F = -70,8 kV/cm.

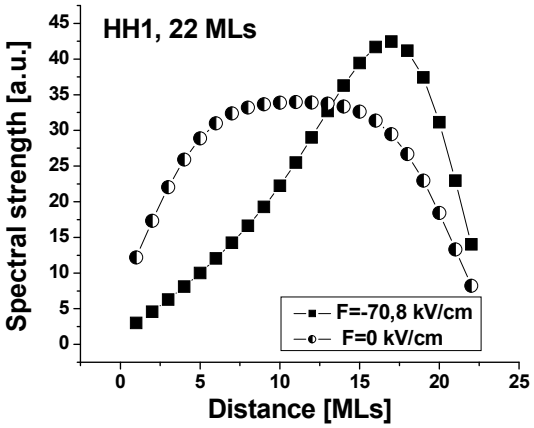


Figure 9. Spectral strength spatial distributions for HH1 state of PQW with 22 MLs width, without F and with applied F = -70,8 kV/cm.

We have calculated the spatial distributions of the spectral strength for each well state and its orbital components in the QWs under study. Figure 7 shows the spatial distributions of the total spectral strength for the conduction C1 bound states in PQW of 22 MLs, without and in the presence of the constant electric field F = 141,6 kV/cm. In all QWs the corresponding distributions for all bound states are symmetrically positioned around the centre of QWs without application of F. In the presence of the applied constant electric field we have the amplitudes of the bound states (electron and hole) displaced in the opposite directions (see Figures 8 and 9). The displacement is larger for the PQW, which is with a larger width.

III. CONCLUSIONS

We present the TB calculations of the quantum confined Stark effect in PQWs with three different widths. It is shown that the width of the QW plays an important role in the Stark effects. We can say that the detailed results from the TB calculations, such in this work, help to study the physics of the Stark effect at different concentration profiles and electric field intensities. Such investigations that make possible to study in details the Stark shifts of the electronic states and their spatial distributions, are very promising in looking for PQW structures that provides good Stark effect characteristics for potential device applications. Such investigations will help us to find QW potential profiles with better Stark effect characteristics for applications in QW-based devices.

REFERENCES:

[1]. Alferov Z. I., Rev. Mod. Phys., v. 73, 2001, 769-782.
[2]. Di Carlo A., Semicond. Sci. Technol. 18, 2003, R1-R31.
[3]. Bastard G., Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, 1988, Les Ulis Cedex: Les Edition de Physique.
[Alferov Z. I., Rev. Mod. Phys., 73, 2001, 769-782.
[4]. Miteva A. M., 1998, C. R. Acad. Bulg. Sci., v. S 51, 69-72.
[5]. Chen W. Q., Wang S. M., Andersson T. G., Thordson J., 1993-I, Phys. Rev. B, v. 48, 14264-14268.
[6]. Vlaev S. J., Velasco V. R., Garcia-Moliner F., 1994, Phys. Rev. B, v. 49, 11222-11229.
[7]. Miteva A. M., Vlaev S. J., Donchev V., Gaggero-Sager L. M., 2007, Rev. Mex. Fis., v. S 53, 74-77.

Contacts:

Adelina Miteva, Department of Material Science, Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., bl. 1, 1113 Sofia, Bulgaria
Phone: +359-2-979-56-68,
E-mail: ad.miteva@gmail.com

Reviewer:

Assoc. Prof. Dr. Eng. Bohos Aprahamian - TU-Varna

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТАЛОКЕРАМИЧНИ ПОКРИТИЯ, ПОЛУЧЕНИ ЧРЕЗ ПЛАЗМЕНО НАПЛАСТЯВАНЕ, В ЕЛЕКТРОТЕХНИКАТА

APPLICATION OF METAL CERAMIC COATINGS PRODUCED BY PLASMA SPRAYING, IN ELECTRICAL ENGINEERING

Божидар Дяков, Бохос Апрахамян

Резюме: В настоящата статия се прави оценка на свойствата на покрития от Al_2O_3, получени чрез плазмено напластяване с плазмообразуващи газове въздух и водна пара. Тези покрития са перспективни за приложение в електротехниката и електрониката за производство на изолационни конструкционни детайли, които традиционно се произвеждат чрез скъпи металокерамични технологии.
Ключови думи: плазма, керамични покрития, водна пара, изолационни детайли

Abstract: This paper assesses the properties of the coatings of Al2O3, obtained by plasma spraying using plasma forming gases air and water vapor. These coatings are promising for use in electrical engineering and electronics, for producing insulating constructional details, which are traditionally produced by expensive metal ceramic technology.
Keywords: plasma, ceramic coatings, water vapor, insulating details

I. ВЪВЕДЕНИЕ

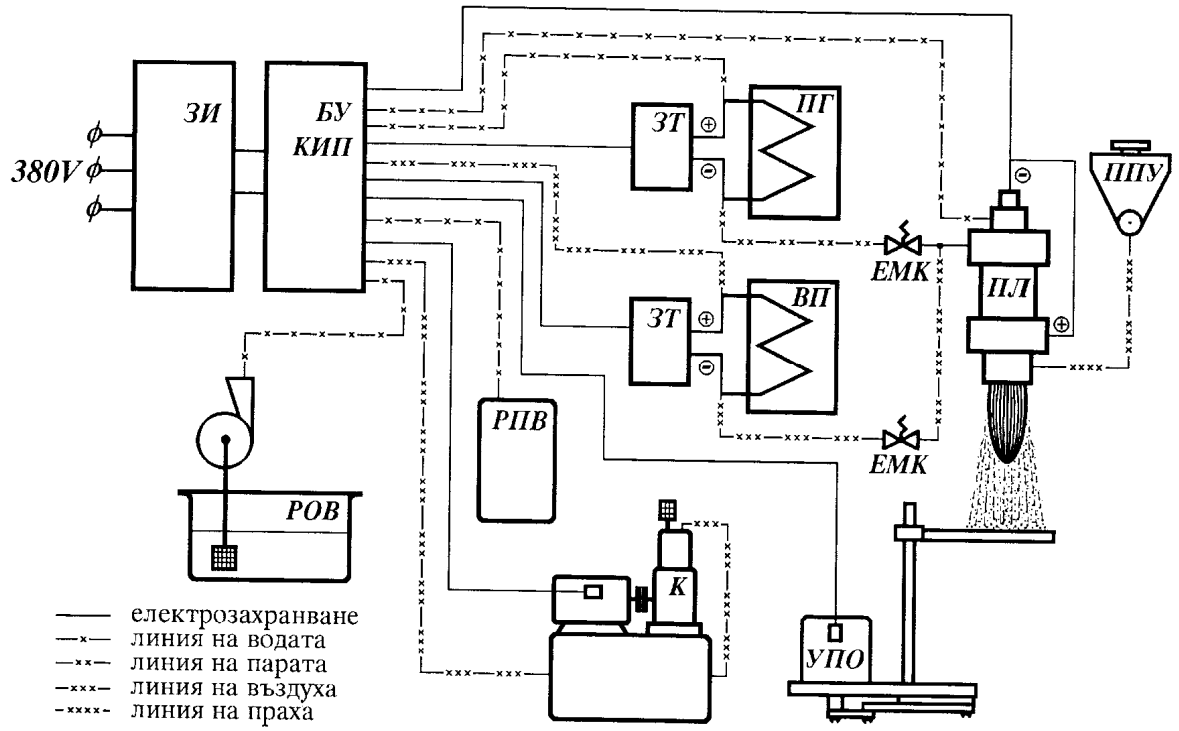
Плазменото напластяване като технология е известна отдавна, но все още недостатъчно разпространена в машиностроенето и ремонта. Основна причина за това са високата цена на апаратурата, използването на скъпоструващи плазмообразуващи газове, малката стойност на адхезията на нанесените покрития. Въпреки това тази технология се използва в отделни области на науката и производството, защото получаването слоеве от металокерамични прахове с добри адхезионни свойства към основата към настоящия момент се осигурява основно чрез плазменото напластяване.

Основните насоки, в които се провеждат изследванията по проблемите на плазменото напластяване са: намаляване на цената на покрития и подобряване на адхезията им. За тази цел се използват или свръхзвукови плазмотрони, които са скъпи и сложни като конструкция или използване на високоенталпийни газове [1], [2], [3], [4], [5].

II. МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА

За предстоящото изследване ще се направи оценка на свойствата на покрития от Al_2O_3, получени чрез плазмено напластяване с плазмообразуващи газове въздух и водна пара. Двата газа са в групата на газовете с голяма енталпия, което трябва да повиши адхезията на покритията и намали тяхната себестойност. Основните критерии, по които ще се оценява качеството на покритията са стойност на адхезията $\boldsymbol{F_a}$, твърдост по Викерс ($\boldsymbol{HV}$) и пористост $\boldsymbol{P_{потк}}$. По време на експеримента се променят следните параметри, от които зависят качеството на покритията: разход на плазмообразуващ газ $\boldsymbol{G_{пл}}$; сила на тока $\boldsymbol{I_д}$; дистанция на напластяване $\boldsymbol{L}$; разход на прах $\boldsymbol{G_п}$; скорост на преместване на образеца $\boldsymbol{V_{пр}}$.

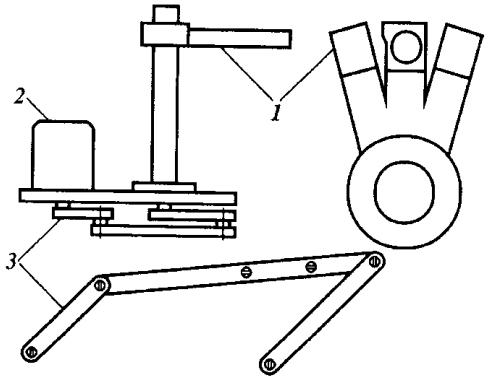
За провеждане на експеримента е използван плазмотрон ЭДП-166, който позволява работа с двата плазмообразуващи газа-водна пара и въздух. Той е стермична стабилизация на дължината дъгата, а катодът му е изработен Hf. Средномасовата темепература на плазмената струя при мощност на плазмотрона 10 kW е 6000K за водната пара и 3500K за въздуха. Подаването на праха се извършва с помощта на прахоподаващо устройство шнеков тип, а за транспортен газ и в двата случая се използва въздух. Разходът на транспортен газ е определен експериментално на 0.15kg/h, с цел да се осигури стабилна работа на плазмотрона и качествено нагряване на праха. Схема на опитната уредба е показана на фиг.1.



Фиг.1. Блок схема на уредбата за плазмено напластяване

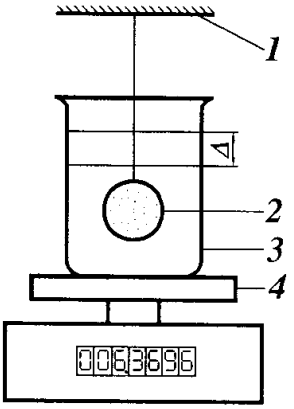
ЗИ - захранващ източник за постоянен ток; *БУ* - блок за управление (пулт за контрол и управление на електрическата част на оборудването; управление на разхода на плазмообразуващия газ- управление на транспортния газ; система за запалване на дъгата в плазмотрона; управление на системата за автоматично блокиране на работата в аварийни ситуации; управление на система за подаване на прегрятата пара в плазмотрона; управление на система за захранване на парогенератора с питателна вода; управление на системите за водно охлаждане на изправителя и плазмотрона)- *КИП* - контролно-измервателни прибори за следене на нормалната работа на уредбата; *ПЛ* - плазмотрон; *ПГ* - парогенератор за захранване на плазмотрона със суха прегрята водна пара - подгревател на въздуха преди подаването му в плазмотрона; К - компресор за сгъстен въздух *ППУ* - прахоподаващо устройство с приводен електродвигател; *УПО* - устройство за преместване на образеца спрямо плазмотрона; *ЕМК* - електромагнитен клапан; *ЗТ*- захранващ трансформатор

Образците за напластяване са изработени от Ст45. Това е една от най-използваните конструкционни стомани. От нея се изработват валове на електродвигатели, оси и др. Предвид на това, че за определяне на адхезията ще се използва методът на залепване с епоксидна смола за напластяване на образците е разработено специално устройство с екран, фиг.2. Чрез него директно могат да се получават покрития с необходимия диаметър от 25 mm. Това е необходимо, за да се отстрани влиянието на остатъчните напрежения, появяващи се при изрязване на покритието с необходимия размер. Дебелината на покритието е 0.2 mm. Преди напластяване образците се подлагат на абразивно-струйна обработка. След залепването на контраобразеца, определянето на стойността на адхезията става на машина за опън.



Фиг.2. Схема на устройството за преместване на образеца
1-поставка за образците; 2- електродвигател; 3-кулисен механизъм.

За определянето на пористостта на покритията са направени специални образци, получени заедно с образците за определяне на адхезията. Пористостта се определя чрез метода на хидростатичното претегляне, който е най-точен и рационален. Образците предварително се изсушават в пещ при температура 120°C. Претеглят се на електронна везна на въздух за определяне на масата m_1, а след това се пропиват с вазелин при температура 40°C за време от 3 min и се теглят отново за определяне на масата m_2. После образецът се потапя в чаша с дестилирана вода, без да се допира до стените й, фиг.3. Определя се масата на чашата с вода преди потапяне на покритието $m_{в1}$ и след потапянето $m_{в2}$.



Фиг. 3. Схема на опитната уредба за определяне на пористостта на покритията
1 - неподвижна опора; 2 - покритие; 3 - стъклена чаша; 4 - аналитична везна Δ - разлика в нивата на водата преди и след потапяне на образеца.

Пористостта се определя по формулата:

$$P_{потк} = \frac{(m_1 - m_2)\gamma_{дв}}{(m_{в1} - m_{в2})\gamma_{ваз}}$$

където $\gamma_{дв}$ и $\gamma_{ваз}$ са съответно плътността на дестилираната вода и вазелина.

Особеност при определянето на твърдостта на покритието е необходимостта от предварително разяждане в разтвор на солна киселина в продължение на 30h. Това е необходимо, за да се очертаят границите на зърната. Самото измерване се извършва съгласно изискванията на стандарта.

III. РЕЗУЛТАТИ

За определянето на границите на изменение на параметрите са проведени редица експерименти. Основните критерии при техния избор са свързани с осигуряване на стабилна работа на плазмотрона и процеса на напластяване. Разходът на плазмообразуващ газ се контролира с

помощта на ротаметър. Разходът на прах се определя предварително, преди напластяване, чрез претегляне на количеството прах и тариране на прахоподаващото устройство.

Резултатите от проведените експерименти са отразени в табл.1 за плазмообразуващ газ водна пара и табл.2 за плазмообразуващ газ въздух.

Табл. 1. Експериментални стойности при напластяване с плазмообразуващ газ водна пара.

Стойности на параметрите на режима на напластяване с плазмообразуващ газ водна пара и резултати за свойствата на покритията								
№	***Разход на плазмо-образуващ газ*** $G_{пл}$[kg/h]	***Сила на тока на дъгата*** $I_д$[A]	***Дистанция на напластя-ване*** ***L [m]***	***Разход на прах*** ***Gn*** [kg/h]	***Скорост на преместване на образеца*** ***Vпр*** [m/s]	***Адхезия на покритието*** ***Fa*** [MPa]	***Микро-твърдост на покритието*** ***HV*** -	***Порис-тост на покритието*** $P_{потк}$ [%]
1.	3.0	150	0.12	0.48	0.02	5.01	1396	1.0
2.	5.0	150	0.16	0.96	0.04	6.21	1401	3.0
3.	5.0	190	0.16	0.96	0.02	6.36	1489	1.5
4.	3.0	190	0.12	0.96	0.02	6.75	1663	2.5
5.	4.0	170	0.16	0.72	0.03	5.35	1430	3.0
6.	4.0	170	0.14	0.72	0.04	7.65	1109	2.0

Табл. 2. Експериментални стойности при напластяване с плазмообразуващ газ въздух.

Стойности на параметрите на режима на напластяване с плазмообразуващ газ въздух и резултати за свйствата на покритията								
№	***Разход на плазмо-образуващ газ*** $G_{пл}$[kg/h]	***Сила на тока на дъгата*** $I_д$[A]	***Дистан-ция на напластя-ване*** ***L [m]***	***Разход на прах*** ***Gn*** [kg/h]	***Скорост на преместване на образеца*** ***Vпр*** [m/s]	***Адхезия на покритието*** ***Fa*** [MPa]	***Микро-твърдост на покритието*** ***HV*** -	***Порис-тост на покритието*** $P_{потк}$ [%]
1.	3.0	120	0.08	0.48	0.02	4.15	1176	2.0
2.	5.0	120	0.10	0.96	0.04	4.68	1118	4.0
3.	5.0	180	0.10	0.96	0.02	6.01	1269	3.0
4.	3.0	180	0.08	0.96	0.02	6.87	932	2.0
5.	4.0	150	0.10	0.72	0.03	4.75	983	3.0
6.	4.0	150	0.09	0.72	0.04	5.85	907	3.0

IV. ИЗВОДИ

От получените резултати се вижда, че качеството на покритията, напластени с плазмообразуващ газ водна пара е по-добро от тези, получени с въздух. Причина за това е по-голямата дължина на плазмената струя на водната пара. Това дава възможност за по-дълго пребиваване на частиците прах в плазмената струя, което подобрява тяхното нагряване и ускоряване. Освен това по-голямата дистанция на напластяване намалява степента на нагряване на образците, което снижава стойността на остатъчните напрежения в покритието и сколонността му към самоотслояване. Независимо, че водната пара е активен газ, нейното влияние върху адхезията е положително. Твърденията, че този тип газове водят до окисление на частиците прах, а оттам и до намаляване на адхезията на покритията не са основателни при условия, че процеса на напластяване се провежда в открита въздушна среда. В тези случаи дори използването на инертни газове не предпазва покритието от окисление, защото дори само на 2-3 cm от среза на дюзата на анода започва смесване на плазмената струя с въздуха.

V. ПРИЛОЖЕНИЕ

Покритията от Al_2O_3, получени чрез плазмено напластяване с плазмообразуващи газове въздух и водна пара могат да намерят приложение в електротехническата и електронната промишленост за изработка на изолационни конструктивни детайли. По-специално детайлите с изолационни покрития могат да намерят приложение като директен заместител на синтеровани изолационни детайли при:

- производството на почти всички видове ръчни електроинструменти (пробивни и режещи и др.) и техните колекторни двигатели;
- производството на всички видове постоянно-токови двигатели (полюсни детайли, колекторни и вентилаторни втулки и др.) – фиг. 4;
- производството на електрически апарати (изолационни детайли за магнитопроводи и др.);
- в силовата електроника (изолационни втулки, изолационни подложки и др.) – фиг. 5.

Фиг. 4. Електроизолационни детайли за постоянно-токови двигатели и електрически апарати.

Фиг. 5. Изолационна втулка и изолационна подложка за силовата електроника

В заключение може да се каже, че независимо от проблемите в експлоатацията на палзмотрони, работещи с водна пара използването за плазмообразуващ газ е перспективно. Освен това при този тип плазмотрони може да се повиши кпд на уредбата чрез утилизация на топлината от охлаждането и като цяло да се подобри икономичността. За тази цел е необходимо да се задълбочат изследванията в посока приложение на водната пара за плазмено напластяване.

БЛАГОДАРНОСТИ:

Разработката е по проект МУ03163 към Фонд Научни изследвания на тема "Повишаване на енергийната ефективност и оптимизация на електротехнологични процеси и устройства".

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Варгафтик Н. Б., Справочник по теплофиззическим свойствам газов и жидкостей, Москва, Наука, 1972

[2]. Донской А. С., Клубникин В. С., Электроплазменные процесы и остановки в машиностроении, Ленинград, Машиностроение, 1979

[3]. Майсел Р, Гленг М., Технология тонких пленок, Москва, Сов. радио, 1977

[4]. Хасуй А., Моригаки О., Наплавка и напыление, Москва, Машиностроение, 1985

[5]. Хасуй А. Техника напыления. Москва, Машиностроение, 1975

За контакти:

Доц. д-р инж. Божидар Дяков, катедра КУТОЧВП, Технически университет – Варна, e-mail: bndyakov@abv.bg

Доц. д-р инж. Бохос Апрахамян, катедра ЕТЕТ, Технически университет – Варна, e-mail: bohos@abv.bg

Рецензент: доц. д-р инж. Марин Маринов, ТУ-Варна

ИЗСЛЕДВАНЕ ТЕРМОМЕХАНИЧНА УСТОЙЧИВОСТ НА СИСТЕМАТА АНОДЕН ОКСИД/АЛУМИНИЙ

INVESTIGATION OF THERMOMECHANICAL STABILITY OF A SYSTEM ANODE OXIDE/ALUMINUM

Ана Г. Банкова, Валентин Хр. Видеков, Боряна Р. Цанева

Резюме: В зависимост от приложението на наноматериалите от значение са определени техни свойства. В случаите на работа при високи и променящи се температури е необходимо познаване на тяхната физико-механична устойчивост.В настоящия доклад са представени резултати от термомеханични изпитвания на наноструктуриран аноден оксид на алуминия, изграден върху алуминий. Върху образци на оксид с различна дебелина е въздействано механично и температурно. Част от образците са отгрети предварително при температура 550 – 600 °C и след това са подложени на механични, температурни и комбинирани въздействия. Изследвани са образци с едностранно и двустранно анодиране при използване на алуминий с различна чистота, както и след различен брой циклични въздействия. Представени са резултатите за появата на механични дефекти в оксидното покритие. Контролът за наличие на дефекти е извършван чрез оптично наблюдение и контрол проводимостта на оксидното покритие.
Ключови думи: алуминий, аноден оксид, термомеханична стабилност

Abstract: Depending on the application of the nanomaterials certain properties of them are of importance. In the case of operation at high and varying temperatures is required knowledge of their physical and mechanical durbility. This report presents the results of thermomechanical testing of nanostructured anode oxide of aluminum, built on aluminum. Samples of oxide of different thicknesses are impacted mechanically and thermally. Part of the samples are annealed at 550 – 600 °C before the oxide is grown and then they are subjected to mechanical, thermal and combined impacts. The samples examined were anodized on one or both of their sides. The aluminum used for the samples is with different purities. The samles were subjected to different number of cyclic impacts. The results for the emergence of mechanical defects in the oxide coating are presented. Control of deffect appearance is performed by optical monitoring and conductivity control of oxide coating.
Keywords: aluminum, anode oxide, thermomechanical stability

I. ВЪВЕДЕНИЕ

През последното десетилетие алуминият и неговият оксид представляват голям научен интерес поради специфичния им характер и намират все по-широко приложение в съвременната техника. Анодното получаване на алуминиев оксид е технология известна от десетилетия. Характерното за него е, че същият изгражда самоструктурирана нанорешетка [1].

Съществуват различни устройства, в които се използва системата аноден оксид/алуминий. Едно от първите ѝ приложения е като диелектрик в хибридните интегрални схеми и модули. Използват се изолационните ѝ свойства при реализиране на пасивни компоненти - електролитни кондензатори [2] и резистори. Известни са приложения като подложка за светодиодни модули [3] или като изграждащо звено от мултичипни модули [4], а също така може да изпълнява чисто конструктивна роля по фиксиране на други елементи. Такъв пример е газовият сензор, реализиран върху мембрана от аноден оксид, която се подгрява за повишаване на чувствителността и химическата адсорбция [5]. При циклична промяна на температурата и линейно разширение на структурата аноден оксид/алуминий е необходимо познаване на термомеханичната устройчивост на системата аноден оксид/алуминий.

1. Анодиране на алуминий

В последните години особено актуално стана прилагането на структури на основата на алуминий и неговия оксид при разработване на различни видове наносензори, оптични и микромеханични устройства. Оксидните слоеве могат да бъдат получени по различни методи, например чрез отлагане, изпаряване, разпрашване, а също и чрез директна анодна

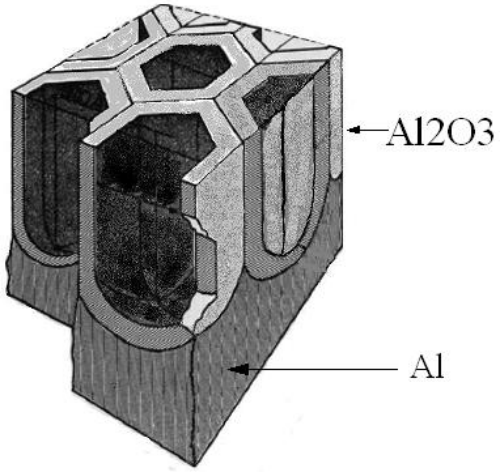
оксидация на алуминиеви повърхности [6]. Анодният оксид на алуминия може да се раздели на два типа: бариерен и порест слой, които се отличават съответно с различна структура [7].

Анодното получаване на алуминиев оксид се извършва чрез електрохимично оксидиране на алуминий в кисели, агресивни по отношение на оксида среди. При анодна обработка алуминият сравнително бързо се покрива с тънък и плътен оксиден слой, наречен бариерен слой. Отделящият се кислород прониква през слоя и определя по-нататъшното окисление на метала. С увеличаване дебелината на бариерния слой, се затруднява проникването на кислорода и се достига до момент, в който завършва неговото изграждане. Образуваният бариерен слой е с дебелина между 0,01-0,1 μm и химичен състав γAl_2O_3.

С повишаване на прилаганото напрежение на ваната, върху бариерния слой започва образуването на втори оксиден слой (до 500 μm), който се отличава с подчертана порьозност. Порестият слой има регулярна клетъчна структура, състояща се от разположени перпендикулярно на повърхността цилиндрични пори с диаметър от няколко десетки до стотици нанометри [8].

При анодизирането могат да се променят основните параметрите на електролизния процес, което дава възможност за прецизно регулиране на дебелината на слоя, размера на порите, както и на свързаните с тях електрофизични и оптични свойства. Порестата наноструктура е електрически изолационен, оптически прозрачен или полупрозрачен, биосъвместим материал.

На фигура 1 схематично е представена идеализирана система аноден оксид/алуминий:



Фиг. 1. Структура на системата аноден оксид/алуминий

II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Изследването на термомеханичната устойчивост на системата аноден оксид/алуминий е извършено чрез определяне на критични температури, при които, в следствие на механичните деформации се получават структурни макродефекти в лента от наноструктуриран аноден оксид на алуминия, изграден върху алуминий. Израстнатите слоеве са с дебелини в диапазона от 5 до 25 μm. Размерът на експерименталните образци е 20х5мм. Част от образците са отгрети предварително при температура 550 – 600 °C.

На фигура 2 е представена експерименталната постановка за температурно въздействие.

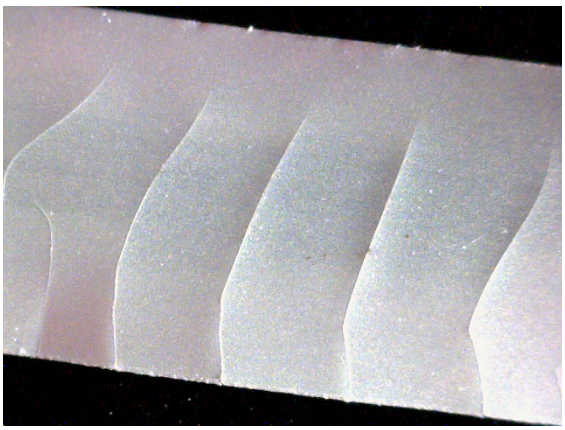
Фиг. 2. Експериментална постановка за температурно въздействие

За технологичните експерименти е използван бондер за спояване на полупроводникови кристали тип 8-157-02 Mullen Equipment Company САЩ с максимална температура на загряване до 800 ºC. Върху масичката на бондера се поставя изследваният образец и се загрява до различна температура (от 100 ºC до 500 ºC), след което се охлажда (до 25 ºC). Върху работната масичка се поставят и контролни образци от сплави с известна температура на топене – евтектичен припой Sn63Pb с температура на топене 183 ºC, SAC с температура 217 ºC и Sn. Предназначението на тези еталонни образци е проверка на отчетената температура от системата преди всеки цикъл експерименти.

Проведени са опити с различни образци при 200 цикъла на деформация – загряване на образеца до избраната температура и последващото му охлаждане. При температури под 350 ºC, вследствие на термичното въздействие върху образците, независимо от броя цикли, целостта на оксидното покритие не се нарушава. При температура 355 ºC започва да

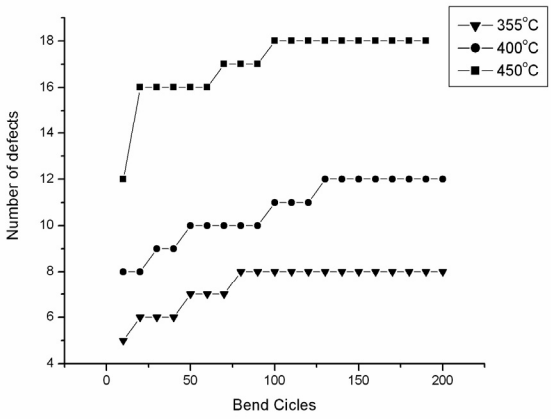
се наблюдава структурно нарушаване на целостта на оксида (макропукнатини). Тези макропукнатини, в зависимост от дебелината на оксида, се наблюдават след 15-ия цикъл. От тук можем да направим извод, че за изследваните образци 350 ºС е граничната температура, до която можем да твърдим, че в следствие на температурната деформация не настъпва механично разрушаване на оксида.

След първоначалната поява на механични дефекти в оксида с всеки следващ температурен цикъл на деформация размера и броя на дефектите нарастват. Дефектите се наблюдават в направление перпендикулярно на равнината, в която се огъва образеца (фигура 3). Контролът за наличие на дефекти е извършван чрез микроскоп. Освен макропукнатините, не се наблюдава разслояване на оксида от алуминиевата подложка.



Фиг. 3. Макропукнатини

На фигура 4 е представена графика на скоростта на нарастване на дефектите от броя термомеханични цикли при три различни температури. Графиката се отнася за образец с 20 μm дебелина на оксида.



Фиг. 4. Скорост на нарастване на броя дефекти от броя термомеханични цикли

Вижда се, че при повишаване на температурата, очаквано се повишава и скоростта на нарастване броя на дефектите от броя термомеханични цикли.

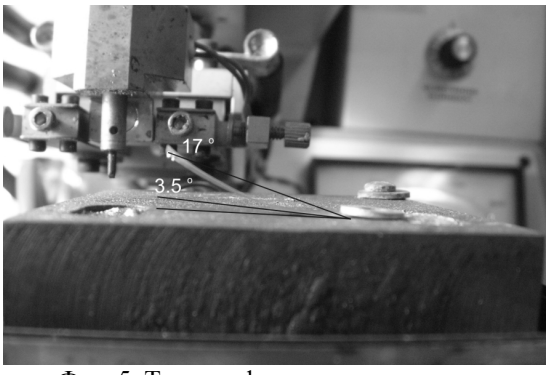
В таблица 1 е представен ъгълът на огъване на изследваните образци в зависимост от дебелината на оксидното покритие при температура 200 ºС.

Табл. 1. Зависимост на ъгъла на огъване от дебелината на оксидното покритие при температура 200 ºС

№	Образец	Дебелина (μм)	Неполиран	Полиран (min)	Ъгъл на огъване
1	5.0.1	5	✓	-	10 º
3	5.2.1	5	-	2	15,4 º
7	10.0.1	10	✓	-	15,5 º
9	10.1.1	10	-	1	19,8 º
12	10.2.1	10	-	2	20,8 º
17	10.3.1	10	-	3	28 º
21	15.0.1	15	✓	-	15,6 º
23	15.2.1	15	-	2	16,4º
24	20.2.1	20	-	2	16,3 º

Забелязва се, че неполираните образци имат по-малък ъгъл на огъване. Това се дължи на факта, че полираните образци имат по-голяма равномерност на оксидният слой, съответно по-голям ъгъл на огъване. Огъването е вследствие на различните коефициенти на линейно разширение на алуминиевата подложка и формирания на повърхността ѝ оксид.

На фигура 5 е представена лента от наноструктуриран аноден оксид на алуминия, огъната в следствие на загряването ѝ.

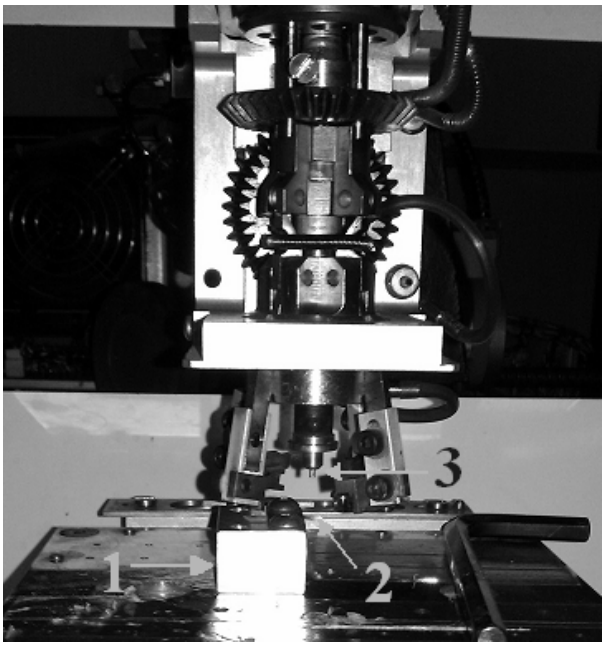


Фиг. 5. Термодеформация на лента от наноструктуриран аноден оксид на алуминия

Вторият експеримент е свързан с механично въздействие върху свободна лента. В единия си край, лентата е статично закрепена на специално изработен за целта държач, а в другия ѝ край се прилага натиск с помощта на насочена въздушна струя.

Поради спецификата на експеримента, за да останем в областта на еластични деформации на изпитваните образци, в този случай, радиусът

на огъване трябва да остане над 200мм. При подлагане на образците на описаното въздействие с честота 100Hz, след 360000 цикъла, не се забелязват макро дефекти в оксидния слой, както не се наблюдава и разслояване. На фигура 6 е представена експерименталната постановка за механично въздействие върху свободна лента.



Фиг. 6. Експерименталната постановка за механично въздействие.

1 е държач, 2 е лента от наноструктуриран аноден оксид на алуминия, 3 е дюза.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведени са експериментални изследвания за термомеханична устойчивост на свободни ленти аноден оксид/алуминий в широк температурен обхват. При температури до 350ºС в изследваните образци не се наблюдава поява на дефекти. Получените резултати показват, че системата аноден оксид/алуминий може успешно да се използва като материал с различни приложения в микро и наноелектрониката.

Експериментите са проведени с помощта на договор 122ПД0080-03 за подпомагане на докторанти, финансиран от Вътрешният конкурс на ТУ-София през 2012 г. и договор ДФНИ-Т01/6, на тема „Иновационен подход за получаване на структурирани катализатори за обезвреждане на емисии от метан“, финансиран от държавен фонд научни изследвания.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Grzegorz D. Sulka, Highly Ordered Anodic Porous Alumina Formation by
Self-Organized Anodizing
[2] Han-Jun Oh, Choong-Soo Chi, The Electrochemical Behaviors of Barrier Type Anodic Films on Aluminum in Ammonium Adipate Solution, 2000, Vol. 21, No. 2, pp. 193 – 199
[3] Igor Vrublevsky, Katerina Chernyakova, A. Tuchkovsky, Valentin Videkov, THERMAL CHARACTERISTICS OF THE LIGHT-EMITTING DIODE MODULES ON ANODIZED ALUMINUM AS CIRCUIT BOARDS, XX МНТК „АДП-2011”
[4] John E. Post, Microwave Performance of MCM-D Embedded Capacitors with Interconnects
[5] Jun-Wei Huang, Kevin Chih-Cheng Lu*, Yon-Sheng Huang and Sen-Po Wu, “Novel fabrication process using nanoporous anodic aluminum oxidation and MEMS technologies for gas detection”, Proceedings of the Eurosensors XXIII conference, 2009
[6] P. Padwal1 and S. Kulkarni, PREPARATION OF ALUMINUM OXIDE FILM BY ANODIC OXIDATION AND EFFECT OF PLASMA ETCHING ON ITS SURFACE, International Journal of Applied Engineering and Technology ISSN: 2277-212X, 2013 Vol. 3 (1) January-March, pp.69-72
[7] C.K. Chung, M.W. Liao, H.C. Chang, Effects of temperature and voltage mode on nanoporous anodic aluminum oxide films by one-step anodization
[8] Gerrard Eddy Jai Poinern, Nurshahidah Ali, Derek Fawcett, Progress in Nano-Engineered Anodic Aluminum Oxide Membrane Development, 2011, ISSN 1996-1944, pp. 487-526

За контакти:
Ана Габриелова Банкова, докторант в катедра „Микроелектроника” при ФЕТТ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: a_bankova@tu-sofia.bg
Боряна Цанева, гл. ас. д-р в катедра “Химия”, ФЕТТ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 965 3663, e-mail: borianatz@tu-sofia.bg
Валентин Христов Видеков, доц. д-р в катедра „Микроелектроника” при ФЕТТ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 965 3101, e-mail: videkov@tu-sofia.bg

Рецензент:
доц. д-р инж. Бохос Апрахамян - ТУ-Варна

COMPUTER SIMULATION STUDY OF THE ELECTRONIC STRUCTURE OF LINEAR QUANTUM WELLS IN AN ELECTRIC FIELD

Adelina Miteva Miteva

Abstract: This work is motivated by the tremendous interest in the semiconductor nanostructures. The effect of an external constant electric field on electron states (quantum confined Stark effect) in semiconductor quantum well structures and its many manifestations are of great interest due to the fact that most of the devices based on quantum wells work under application of an electric field. Electron and hole states in semiconductor nanostructures (quantum wells) exposed to electric field perpendicular to the layers have been calculated as well as the energies of the main optical transitions without and with applying a constant electric field. Numerical calculations are performed in a tight-binding framework. The quantum wells under study are of linear graded composition quantum well structures and with different widths. The aim of this study is the comparison of these quantum wells in the presence of an electric field. A comparison with the theoretical results and the experimental data available for these quantum wells has been made. This investigation is essential for the optimization of the quantum well-based devices.

Keywords: AlGaAs, linear graded gap quantum wells, constant electric field, Stark effect, electron states, tight-binding method.

I. INTRODUCTION

Semiconductor nanostructures (superlattices and quantum wells) are already employed in electronic and optoelectronic devices. The electric field effects (Stark effects) on the graded-gap quantum well (QW) structures are one of the most promising for applications of making various fast optoelectronic devices [1-3]. The modification of the well potential shape can create different optical properties and thus optimize nanostructure-based devices compared to conventional rectangular QWs (RQWs).

In this paper we present a realistic tight-binding (TB) numerical calculation of the energy values for the main bound electronic and hole states as well as their spatial distributions in graded-gap linear QWs (LQWs) of three different widths without and under application of a constant electric field. The Stark shifts of the main transition energies are also calculated. The aim of the study is to compare these QWs under an applied electric field, to show how the QW width influence the electronic spectra under constant electric field and the TB capabilities in solving this problem.

II. MODEL AND METHOD

We have used for numerical calculations the algorithm described in [4], which is then applied in [5,6] for detailed calculations of different graded composition QW's. This algorithm makes possible the application of the SGFM method [4] for matching a final nonhomogeneous region with semi-infinite homogeneous regions. This allows realistic tight-binding (TB) calculations for electronic states in rectangular and graded composition QW's in the presence of a constant electric field. We describe the presence of an external constant electric field (F) perpendicular to the interfaces with shifting of the diagonal terms of the empirical TB Hamiltonian matrix by the corresponding potential drop Δ (in meV) across one monolayer. An electric field of F=70.8 kV/cm corresponds to Δ = 1 meV. The field is applied between the first (n=1) and the last (n=N) monolayer (ML). The cation is in the n=1 state. In the barrier regions the electric field is F=0. The widths N of the QWs are 11, 22 and 44 MLs. And N=44 ML equals 12,43 nm. The growth direction is [100]. The Al concentration x in the barriers is x=0.36. In the rectangular QW (RQW) x is x=0. In the linear QWs (LQWs) x varies linearly from 0.02 at the left barrier to 0.12 at the right barrier for all LQWS under study (see Figure 1).

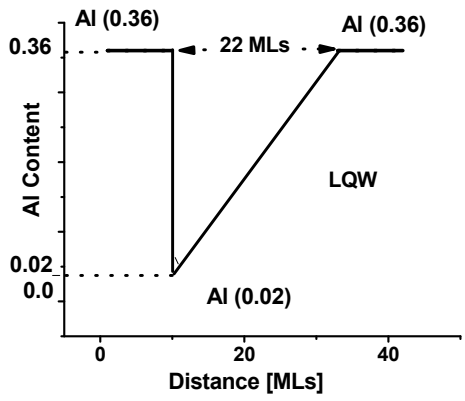


Figure 1. Schematic band diagram of the concentration profile of the LQW with N=22 MLs.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The influence of the applied electric field *F* on the concentration profile of the LQW follows: the electric field makes the concentration profile more or less inclined. The direction of the slope of this profile depends on the sign and the value of the applied electric field *F*. Main bound electron and hole energies of the three LQWs under study without and in the presence of a constant electric field were calculated. EC1 and EC2 are the conduction band bound states (see Figure 2), and EHH1, ELH1 and EHH2 are the valence band bound states (see Figure 3). For all three LQWs the behavior of these energies is similar: they decrease or increase with increasing or decreasing the applied electric field. And as we can see on Figure 2, the influence of *F* on electron energies in LQWs is more pronounced for wider QWs. As we see on Figure 3, the opposite is true for the hole energies. With increasing *F*, the shift in valence band bound states is larger for narrower LQWs. And if we compare these results with the results, obtained by as previously, for RQWs [6] with different widths, we notice some differences. The Stark shifts for all bound state energies in RQWs increase with increase the width of the QW.

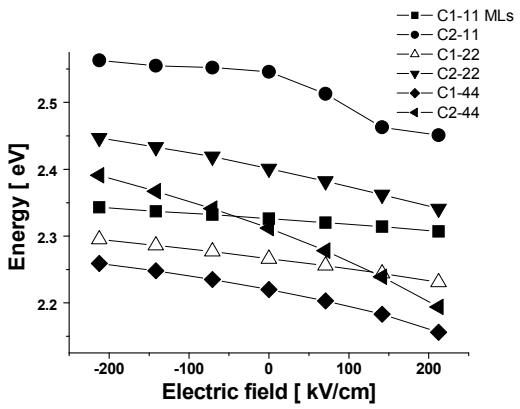


Figure 2. Main calculated bound electron energies of the states C1 and C2 in three LQWs without and with the application of a constant electric field *F*. The width for each LQW is indicated on the figure.

Figure 4 shows the dependence of the Stark shifts of the main optical transition energies E(C1-HH1) on the applied electric field intensity *F* for the three LQWs. As we can see the Stark shifts are larger for wider LQW at the same *F*. Here the similar dependence is observed: wider QW is, stronger influence of the electric field is. Increasing the applied electric field, the Stark shift of the transition energy decreases. And the same is true for RQWs [6]. When we compare Stark shifts of the transition energy E(C1-HH1) at the same value of *F* and the same width of the QWs,

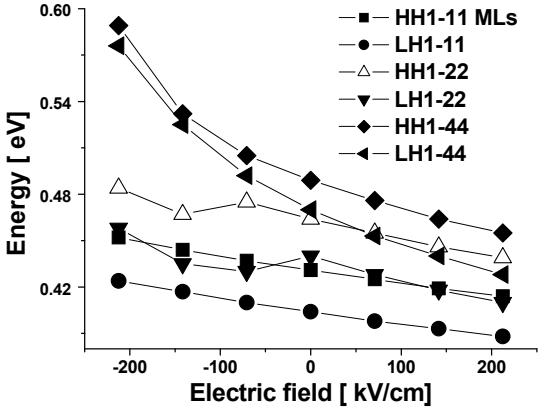


Figure 3. Main calculated bound hole energies of the states HH1 and LH1 for the three LQWs without and with the application of a constant electric field *F*. The width in MLs for each LQW is indicated on the figure.

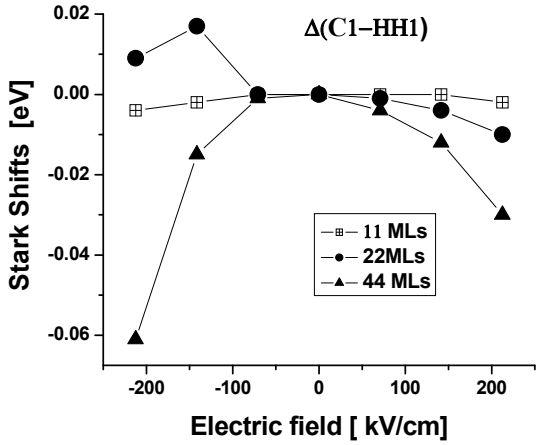


Figure 4. Stark shifts of the main transition energies E(C1-HH1) as a function of applied electric field for all of the LQWs under study. LQWs are indicated on the figure with their width in MLs.

one notice that the larger ones are for PQWs, the second largest Stark shifts are for RQWs, and the smallest are for LQWs.

Figure 5 shows the dependence of the Stark shifts of the main optical transition energies E(C1-LH1) on the applied electric field intensity *F* for the three LQWs. Here we can see the same behavior and dependence (on *F* and QW width) as in Figure 4 for the Stark shifts of the transition energy (C1-HH1).

The results of the total spectral strength spatial distributions of the state C1 for considered

LQWs and at F = 70.8 kV/cm are depicted in Figure 6. A displacement of the spatial distributions of C1 states appears at electric field $F \neq 0$. For all LQWs under study this displacement is larger for larger electric fields and for wider LQWs (or for larger N).

Figure 7 shows the spatial distributions of the total spectral strength for the conduction C1 and the valence band HH1 bound states without and in the presence of the constant electric field F = -70.8 kV/cm for LQW with the width of N = 22 MLs. The corresponding distributions for C1 and HH1 have the amplitudes displaced in the opposite directions in the presence of the same electric field. The displacement is larger for the wider LQWs.

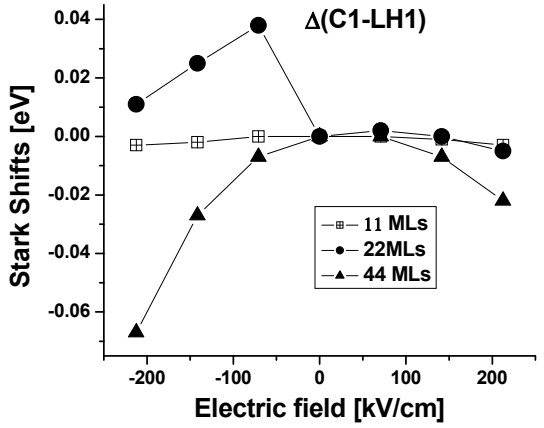


Figure 5. Stark shifts of the transition energies E(C1-LH1) as a function of applied electric field for the LQWs under study. LQWs are indicated on the figure with their width in MLs.

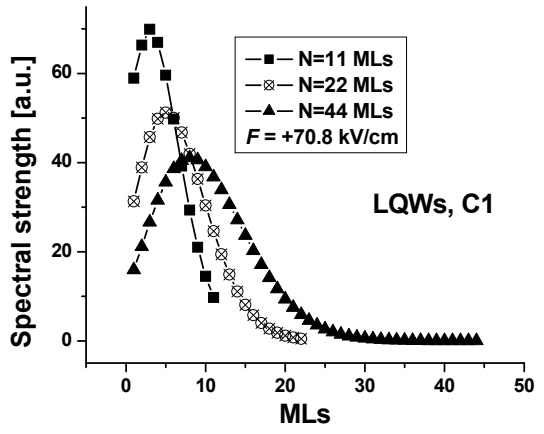


Figure 6. The dependence of the total spectral strength spatial distributions for the bound state C1 under applied electric field F = 70.8 kV/cm. The widths of QWs are indicated above.

A comparison of our calculations with the experimental data and other calculations for the LQWs with similar parameters is also made. There is a good correspondence between our calculated values and the experimental data sets presented in [ ]. Some discrepancies can be due to the differences in the QW parameters (widths, barrier concentration profiles).

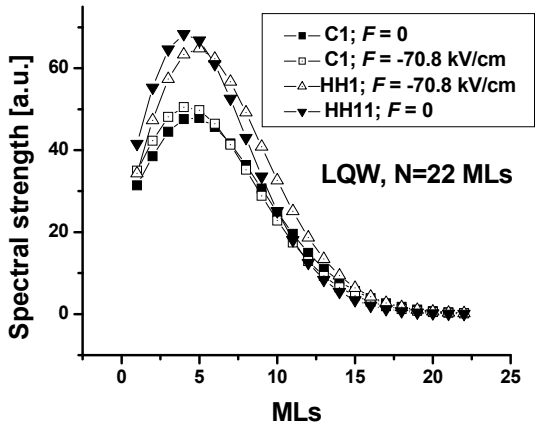


Figure 7. Total spectral strength spatial distributions for the bound states C1 and HH1 under applied electric fields F = 0 (C1 – full rectangle; HH1 – full triangle) and F = -70.8 kV/cm (C1 – open rectangle; HH1 – open triangle), for LQW with N = 22 MLs.

For instance in the LQWs we obtained for the E(C1-HH1) the values of 1.72, 1.801 and 1.895 eV (correspondingly for N: 44, 22 and 11). In [10] for the same conditions (77K), but for the wider QW the experimental results are 1.65 eV. The results obtained here demonstrate that the energy levels in the RQWs [ ] are more strongly affected by the electric field than in the LQWs.

III. CONCLUSIONS

We conduct realistic numerical TB calculations of the electron bound states, the hole bound states and their spatial distributions without and with applying a constant longitudinal electric field F for three types of LQWs with different widths. The results show that the width of LQW is essential for the value of the Stark shifts. The obtained results show also that the RQW [ ] has a larger Stark shift of the corresponding transition energies than the LQW which is better for the fabrication of field-controlled optical devices. However, the LQW under application of the same electric field will have less decrease of the intensity of the main optical transition E (C1-HH1) than the RQW which is also desired for

achieving high device performance. The LQW structure shows some new and useful optical properties for use in optoelectronic devices.

We can say that the results from the TB calculations, such in this work, help to study the physics of the nanostructures in the presence of applied electric field intensities. Such investigations that make possible to study in details the Stark shifts of the electronic and hole states and their spatial distributions, the subband spectra and intersubband transitions of electrons, are very promising in looking for quantum well structures that provides good Stark effect characteristics for potential device applications. Such investigation will help us to find a QW potential profile with better Stark effect characteristics. The investigation of the electric field effects on the optical properties of the QW structures with graded gap potential profiles (not conventional RQWs) is essential for the optimization of QW-based devices. The work is in progress in this direction.

REFERENCES:

[1]. Alferov Z. I., Rev. Mod. Phys., v. 73, 2001, 769-782.
[2]. Di Carlo A., Semicond. Sci. Technol., v. 18, 2003, R1-R31.
[3]. Bastard G., Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, Les Ulis Cedex: Les Edition de Physique, 1988.
[4]. Vlaev S. J., Velasco V. R., Garcia-Moliner F., 1994, Phys. Rev. B, v. 49, 11222-11229.
[5]. Miteva A. M., Vlaev S. J., Donchev V., Gaggero-Sager L. M., 2007, Rev. Mex. Fis., v. S 53, 74-77.
[6]. Miteva A. M., 1998, C. R. Acad. Bulg. Sci., v. S 51, 69-72.
[7]. Nishi K., Hiroshima T., Appl. Phys. Lett., v. 51, 1987, 320-322.
[8]. Ishikawa T., Tada K., 1989, Jpn. J. Appl. Phys., v. 28, L1982-L1984.
[9]. Hiroshima T., Nishi K., 1987, J. Appl., Phys., v. 62, 3360-3365.

Contacts:

Adelina Miteva, Department of Material Science, Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., bl. 1, 1113 Sofia, Bulgaria
Phone: +359-2-979-56-68,
Email: ad.miteva@gmail.com

Reviewer:

Assoc. Prof. Dr. Eng. Bohos Aprahamian - TU-Varna

СЕКЦИИ

- **СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ, ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ, РОБОТИ И МЕХАТРОНИКА**
- **СИЛОВА ЕЛЕКТРОНИКА И МИКРОЕЛЕКТРОНИКА**
- **НОВИ МАТЕРИАЛИ И КОМПОНЕНТИ**
- **МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА НА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ СЪОРЪЖЕНИЯ**

SECTIONS

- **CONTROL SYSTEMS, ELECTRICAL DRIVES, ROBOTICS AND MECHATRONICS**
- **POWER ELECTRONICS AND MICROELECTRONICS**
- **NEW MATERIALS AND COMPONENTS**
- **MONITORING AND DIAGNOSTICS OF ELECTRICAL EQUIPMENT**

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИЧНОГО ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО МАТЕРИАЛА В СИЛЬНОТОЧНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

USE OF PLASTIC ELECTRICALLY CONDUCTIVE MATERIAL IN HIGH-CONTACT CONNECTION

Александр А. Казанцев, Игорь. А. Косорлуков

Аннотация: Рассматривается способ сокращение потерь электроэнергии в сильноточных контактных соединениях уменьшением в них переходного сопротивления путем нанесения на контактирующие поверхности электропроводящего материала. Исследуется электропроводящий материал, его состав, методика изготовления, результаты применения.
Ключевые слова: контактное соединение, переходное сопротивление, электропроводный материал, электролиз.

Abstract: The way of reducing power losses in high-contact connections are transient decrease in resistance by applying a conductive material contact surfaces. Investigate the electrically conductive material, composition, method of manufacture, the results of use.
Keywords: contact connection, contact resistance, electrically conductive material, electrolysis.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в крупных технологических установках используются многоамперные токопроводы, которые выполняются, как правило, с использованием медных или алюминиевых шин. Соединения шин между собой осуществляется либо сваркой, в результате чего получается неразборная контактная конструкция, либо с помощью болтовых соединений, которые позволяют значительно проще выполнять работы по ремонту и обслуживанию токопроводов.

В процессе эксплуатации таких контактных соединений в энергоемких технологических установках химической, металлургической промышленностей в условиях повышенных температур и агрессивной среды, происходит их старение за счет окисления контактирующих поверхностей, что приводит к повышению сопротивления контактного перехода [1].

II. ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Наиболее распространенными методами повышения надежности контактных соединений в настоящее время являются лужение поверхности контактного перехода, плакирование контактной поверхности, покрытие поверхности контакта различными порошками, путем напыления. Лужение является наиболее распространенным способом защиты контактной поверхности от окисления под воздействием внешней среды. Лужению подвергаются как медные, так и алюминиевые шины. Помимо того, что процесс лужения требует дополнительных трудозатрат и наличия специального оборудования, отрицательным моментом является то, что после лужения контактное переходное сопротивление как медных, так и алюминиевых шин, существенно увеличивается. Плакирование алюминиевых шин медным покрытием существенно снижает контактное сопротивление. Но в условиях агрессивной химической среды, например, в цехах хлорного производства, плакированная поверхность часто отслаивается, что влечет за собой катастрофическое ухудшение контактного перехода. Напыление на контактные переходы алюминиевых шин медного порошка позволяет снизить переходное сопротивление и поддерживать его длительное время в стабильном состоянии. Существенным недостатком напыления является высокая стоимость этой процедуры [2].

Одним из способов снижение потерь электрической энергии является использование электропроводящих смазок, когда между твердометаллическими контактирующими поверхностями помещается промежуточный электропроводный материал, который позволяет значительно увеличить площадь контактирования и тем самым снизить сопротивление контактного перехода [3,4].

Известен электропроводный композиционный углеродосодержащий материал на основе малопроводящего

материала, смешанного с электропроводной углеродной добавкой и А.С. № 2398312, 2008 г. Но использование этого материала возможно только на малых токах и только при добавлении определенной электропроводной углеродной добавки.

Известна пластичная смазка ЦИАТИМ-221 (ГОСТ 9433-80) на основе полиорганосилоксановой жидкости 132-25 загущенной кальциевым мылом стеариновой кислоты с добавлением церезина-80 и пакета присадок.

Недостаток этого материала заключается в том, что его трибометрические, свойства очень низкие, недостаточен температурный предел работоспособности (+150˚С). При его использовании в сильноточных контактных соединениях в условиях агрессивной среды и повышенной влажности со временем происходит окисление материала и пригорание контактных поверхностей, что приводит к повышению сопротивления контактного соединения и изменяются его физико-химические свойства.

Техническим результатом исследуемого материала является повышение долговечности, термостойкости материала, улучшение его электропроводных свойств.

Технический результат достигается тем, что используя материал на основе полиорганосилоксановой жидкости 132-25 загущенной кальциевым мылом стеариновой кислоты с добавлением церезина-80 и пакета присадок в качестве основы, в него добавляют интерметаллид $FeGa_4$, затем в полученную смесь вводят эвтектический сплав галлий-индий-олово и перемешивают с порошком железным распыленным, химический и гранулометрический составы, средний размер частиц которых колеблется от 20 до 400 мкм, содержание основного металла не ниже 98...99%, а насыпная плотность равна 2,3...2,9 г/см , общее соотношение исходного и добавленного материалов, 60% - исходного, 40% - добавленного.

Для создания пластичного электропроводного материала используют интерметаллид $FeGa_4$, количественное содержание металла и галлия в котором определяется по формулам:

$$\beta_{Fe} = \frac{\gamma_{Fe}}{\gamma_{Fe} + \gamma_{Ga} \cdot 4} \cdot 100\%$$

$$\beta_{Ga} = \frac{\gamma_{Ga} \cdot 4}{\gamma_{Me} + \gamma_{Ga} \cdot 4} \cdot 100\%$$

где β_{Fe}, β_{Ga} - процентное содержание в интерметаллическом порошке железа и галлия; γ_{Fe}, γ_{Ga} - атомные веса железа и галлия. Коррозия стали в галлий-индиевом расплаве сопровождается образованием бинарного галлида $FeGa_4$ с объемноцентрированной кубической решеткой. На диаграмме состояния Fe-Ga в области с относительно небольшим содержанием галлия в зависимости от термической обработки может существовать несколько фаз (5...6). Общее соотношение в полученном электропроводном материале: 60% - исходного, 40% - добавленного материала.

Полученный пластичный электропроводный материал наносится на контактирующие поверхности со средней толщиной 0,2 мм.

Проведены стендовые испытания модуля контактного соединения в условиях хлорного производства, работающих в диапазоне температур 100...250 ^oC.

Средние значения падений напряжения по результатам 500 измерений в течение трехлетней эксплуатации для контактов размером 0,05 х 0,1 м и током 2 кА равны 45 мВ для площадок медь-медь и 64 мВ для площадок медь-сталь. Стендовые испытания модуля контактного соединения электролизера с током нагрузки I_H = 3000 А показало падение напряжения на контактном соединении с применением материала ЦИАТИМ-221, которое составило $18{,}3 \cdot 10^{-3}$ В, что соответствует переходному сопротивлению R_∂ =$6{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом, после применения полученного электропроводного пластичного материала в контактном соединении падение напряжения составило $12{,}3 \cdot 10^{-3}$ В, что соответствует переходному сопротивлению R_∂ =$4{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом.

Испытания показали, что при нормальной температуре переходные сопротивления болтовых медных контактов с использованием пластичного электропроводного материала близки к переходным сопротивлениям сварных контактов. Введение полученного материала в межконтактный промежуток болтовых соединений снижает переходное сопротивление в 2...4 раза. При тех же условия снижение переходного сопротивления в паре сталь-графит наблюдалось в 10 раз.

III. ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам проведенных экспериментов было выявлено, что используя материал на основе полиорганосилоксановой жидкости 132-25 загущенной кальциевым мылом стеариновой кислоты с добавлением церезина-80 и пакета присадок в качестве основы, добавляя в него интерметаллид $FeGa_4$, и эвтектический сплав галлий-индий-олово, перемешивая с порошком железным распыленным с общим соотношением исходного и добавленного материалов, 60% - исходного, 40% - добавленного, позволяет снизить сопротивление сильноточных контактных соединений до 25-30%. Таким образом, использование данного материала в межконтактных промежутках болтовых соединений позволяет существенно снизить переходное сопротивление в контактной паре медь-медь и медь-сталь.

Также испытания показали, что зависимость величины переходного сопротивления от плотности токопроводящей смазки и величины затяжки болтов выражается соотношением:

$$R_{пер} = f(\gamma_{см}, M_{зат}) \qquad (1)$$

где $\gamma_{см}$ – плотность токопроводящей смазки, кг/м^3; $M_{зат}$ – величина крутящего момента при затяжке болтов контактного соединения, Н·м.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Косорлуков И.А. Снижение потерь электроэнергии в сильноточных контактных соединениях // Материалы докладов конкурса программы У.М.Н.И.К., IV Всероссиская студенческая научная конференция «Студенческая наука и медицина XXI века: Традиции, инновации и приоритеты» – Самара, 2010., С. 82 - 83

[2]. Воронин А.А. Добросотских А.С., Кулаков П.А., Приходченко В.И. Повышение надежности разборных контактных соединений // Материалы и покрытия в экстремальных условиях. Тезисы докладов шестой международной конф. – Крым, Украина, 2010. – С.351.

[3]. Воронин А.А., Добросотских А.С., Косорлуков И.А., Кулаков П.А., Шевченко В.Б. Снижение потерь и повышение надёжности сильноточных контактных соединений // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. №3, 2011. С 62-63

[4]. Воронин А.А., Кулаков П.А., Приходченко В.И. Интерметаллическое покрытие электрических контактов и токоведущих частей сильноточных устройств// Тезисы докладов пятой международной конференции «Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологические технологии производства и утилизации изделий», Киев, 2008. – с. 177.

Контакты:

Александр Казанцев, студент кафедры ”АЭЭС” в ФГБОУ ВПО СамГТУ, г. Самара,
ул. Молодогвардейская, 244
ассистент Игорь Косорлуков, аспирант кафедры ”АЭЭС” в ФГБОУ ВПО СамГТУ, г. Самара,
ул. Молодогвардейская, 244
e-mail: kazantzev@smtp.ru

Рецензент:

доц. д-р инж. Маргрета Василева - ТУ-Варна

АНАЛИЗ НА ГРЕШКИТЕ ПРИ ВЕКТОРНИЯ АНАЛИЗ И ВЕКТОРНИТЕ ИЗМЕРВАНИЯ В АВТОТРАНСФОРМАТОРЕН ДИСКРЕТЕН РЕГУЛАТОР НА ПРОМЕНЛИВО НАПРЕЖЕНИЕ

ERROR ANALYSIS OF THE VECTOR ANALYSIS AND THE VECTOR MEASUREMENTS IN AN AUTOTRANSFORMER DISCRETE AC VOLTAGE REGULATOR

Емил Панов, Емил Барудов, Стефан Барудов

Резюме: Автотрансформаторните дискретни регулатори на променливо напрежение (АДРПН) са електронни преобразуватели, разположени между електропреносната мрежа (ЕПМ) и присъединения товар (Т). АДРПН работят в установен и комутационен режими. В силовата им верига са включени нелинейни елементи, чието оразмеряване предполага многофакторен анализ на електрическите процеси в системата „ЕПМ–АДРПН–Т”. Използването на резултатите от компютърния симулационен анализ изисква оценка на достоверността им. Работата е посветена на сравнително изследване на експериментални и теоретични резултати, получени при различни математически модели, описващи системата.
Ключови думи: дискретен регулатор на напрежение, тиристор, математически модел, векторни измервания, анализ на грешките.

Abstract: The autotransformer discrete ac voltage regulators (ADVR) are electronic converters, which are situated between the transmission line (TL) and the load (L). They function in steady-state and commutation regimes. In their power circuits some non-linear elements are incorporated and their design is connected with the multi-factor analysis of the electric processes in the system “TL-ADVR-L”. The utilization of the results from the computer simulation analysis demands estimation of their plausibility. The paper is dedicated to the comparative exploration of the experimental and the theoretical results, which were received from different mathematical models, describing the system.
Keywords: discrete voltage regulator, thyristor, mathematical model, vector measurements, error analysis.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Компютърните симулации скъсяват времето и средствата за оразмеряване на АДРПН - за решаване на различни приложни задачи. Важен елемент в този процес е оценката за достоверността на резултатите от компютърните симулации. Разработени са два математически модела на системата „ЕПМ–АДРПН–Т” за анализ на преходните процеси при комутация на управляеми тиристорни ключове (УТК) – прецизен [1] и при допускане на определени идеализации – приблизителен модел [2].

Публикацията е посветена на сравнителния анализ на резултатите получени при използване на двата модела и експерименталните данни от съответните векторни измервания, за оценка достоверността на моделите.

II. АНАЛИЗ

Изследват се относителните абсолютни грешки от измерванията на величините I_1, $I_2 \equiv I_T$, и U_2 (фиг. 1 и фиг.2) по формулата:

$$Y \equiv \delta_x = \left| \frac{X_{\text{измерена}} - X_{\text{изчислена}}}{X_{\text{измерена}}} \right| .100 \ [\%] \ , \qquad (1)$$

където величината X може да бъде I_1, I_2 или U_2.

Изследването е проведено по отношение анализа на получените относителни абсолютни грешки δ_X при определянето на величините I_1, I_2, и U_2 за точния и приблизителен модели за три вида R-, RL- и RC- товари.

На фиг.1 е представена заместващата схема на прецизния модел на автотрансформаторен дискретен регулатор на променливо напрежение с четири управляеми тиристорни ключове, а на фиг. 2 заместващата схема на АДРПН – приблизителен модел, при условие, че не се отчитат загубите в магнитопровода, приеме се, че тиристорите са идеални ключове и паралелните на тиристорите RC групи не съществуват. От направените експерименти и компютърни симулации се разполага с n = 9 стойности за всеки тип относителна абсолютна грешка, т.е. δ_{I1}, δ_{I2}, и δ_{U2} за точен и приблизителен модели, или 6 групи от грешки (таблица 1).

Извършена е статистическа обработка на тези данни при положение, че се разполага с краен брой стойности, като се използва съответната методика [3,4]. За целта са определени следните параметри:

$$\overline{Y} = \frac{1}{n}.\sum_{k=1}^{n} Y_k \ , \qquad (2)$$

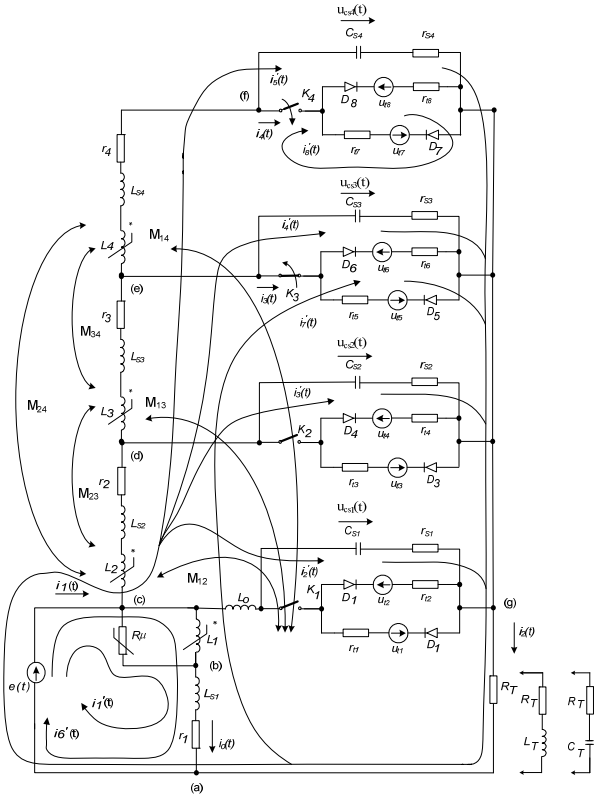
където $\overline{Y}$ е средно-аритметичната стойност на относителната абсолютна грешка;

$$s(Y) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}(Y_k - \overline{Y})^2}{n-1}} \ , \qquad (3)$$

където s(Y) е средноквадратичната грешка;

$$\Delta Y = \frac{s(Y)}{\sqrt{n}}.t_p \ , \qquad (4)$$

където ΔY е грешката на средно-аритметичната стойност на относителната абсолютна грешка.



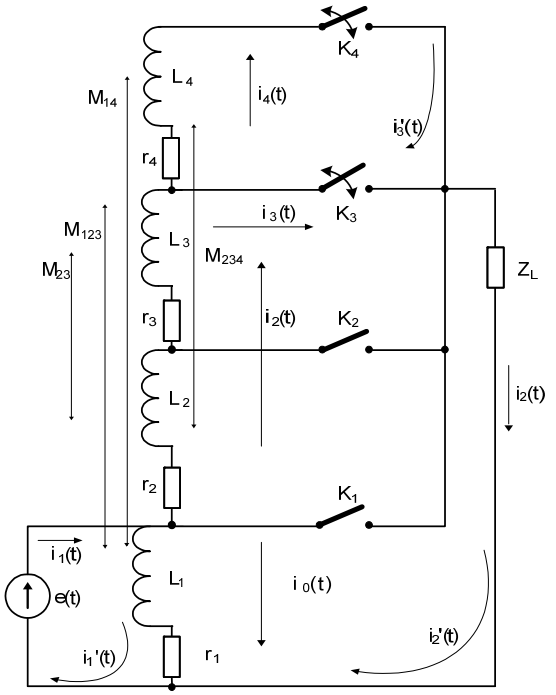
Фиг.1. Замества схема на АДРПН с четири УТК (прецизен модел).

Тук t_p е параметър на Стюдентовото вероятностно разпределение, които се определя от съответни статистически таблици [3,4];

$\Delta_{1\sigma}(Y) = z_2.s(Y)$ е максималната стойност на средноквадратичната грешка;

$\Delta_{2\sigma}(Y) = z_1.s(Y)$ е минималната стойност на средноквадратичната грешка.

Тук $z_1 < z_2$, като z_1 и z_2 са коефициенти от съответни статистически таблици, които се определят на базата на броя на наличните стойности n, коефициента на вариациите $w(Y) = \frac{S(Y)}{\overline{Y}}.100$ [%] и доверителната вероятност P(Y) [3,4].



Фиг.2. Замества схема на АДРПН с четири УТК (приблизителен модел).

В резултат на проведените изчисления с помощта на програмата AVTOER1 в интегрираната среда на MATLAB, са получени следните данни, представени в таблица 2.

Таблица 1. Стойности на относителните абсолютни грешки, установени в резултат на векторните измервания.

	Прецизен модел			***Приблизителен модел***		
$\mathbf{R_T}$	$\boldsymbol{\delta_{I1}}$	$\boldsymbol{\delta_{I2}}$	$\boldsymbol{\delta_{U2}}$	$\boldsymbol{\delta_{I1}}$	$\boldsymbol{\delta_{I2}}$	$\boldsymbol{\delta_{U2}}$
Ω	%	%	%	%	%	%
R товар						
115,8	0,66	0,48	0,48	3,74	0,4	0,4
61,8	0,196	0,57	0,57	3,86	3,05	3,05
35,5	0,52	0,32	0,32	0,64	0,59	0,14
R-L товар, L=1,0460H						
115,8	5,57	2,84	0,76	11,62	2,86	0,73
61,8	3,55	2,18	0,72	7,27	1,94	0,73
35,5	11,71	11,56	0,89	13,22	11,69	0,86
R-C товар, C=38,09μF						
115,8	0,37	1,01	0,09	7,16	0,37	0,74
61,8	1,23	0,93	2,38	4,99	0,07	1,51
35,5	1,42	5,28	1,34	4,53	4,98	1,73

Таблица 2. Резултати от анализа на относителните абсолютни грешки Y.

Величина	Прецизен модел			Приблизителен модел		
Y [%]	δ_{I1}	δ_{I2}	δ_{U2}	δ_{I1}	δ_{I2}	δ_{U2}
$\overline{Y}$ [%]	2,80	2,80	0,84	6,34	2,88	1,10
ΔY [%]	2,35	2,26	0,42	2,47	2,28	0,55
s(Y) [%]	3,78	3,65	0,68	3,99	3,68	0,88
$\Delta_{1\sigma}(Y)$ [%]	6,47	6,24	1,16	6,82	6,30	1,15
$\Delta_{2\sigma}(Y)$ [%]	2,72	2,62	0,49	2,86	2,64	0,63

Представените данни в таблица 2 трябва да се разглеждат по следния начин (примерно за първата колона от стойности, т.е. при $Y \equiv \delta_{I1}$):

$$Y \equiv \delta_{I1} = (\overline{Y} \pm \Delta Y) = (\overline{\delta}_{I1} \pm \Delta\delta_{I1}) = (2{,}80 \pm 2{,}35)\ \%,$$

т.е. това е интервалната оценка за относителната абсолютна грешка δ_{I1};

$$\sigma(Y) = \sigma(\delta_{I1}) = [s(Y)^{+\Delta_{1\sigma}(\delta_{I1})}_{-\Delta_{2\sigma}(\delta_{I1})}] = (3{,}78^{+6{,}47}_{-2{,}72})\ \%,$$

т.е. това е стандартната грешка (или т.н. стандарт) на вероятностното разпределение на относителната абсолютна грешка (в случая δ_{I1}).

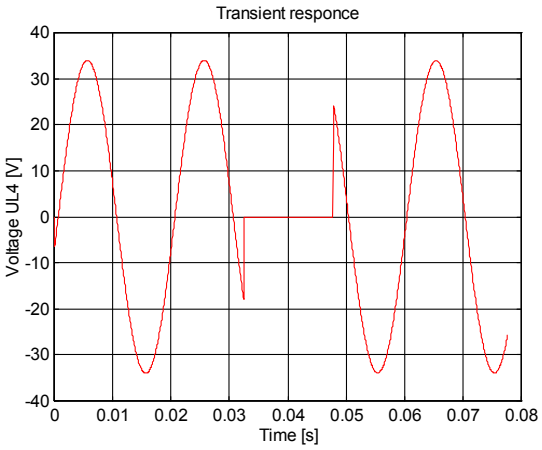
Елемент на компютърния симулационен анализ са и възникващите преходни пренапрежения $u_L(t)$ при комутацията на УТК.

При изследване на преходните процеси, определянето на началните условия е възможно да стане при следните постановки:

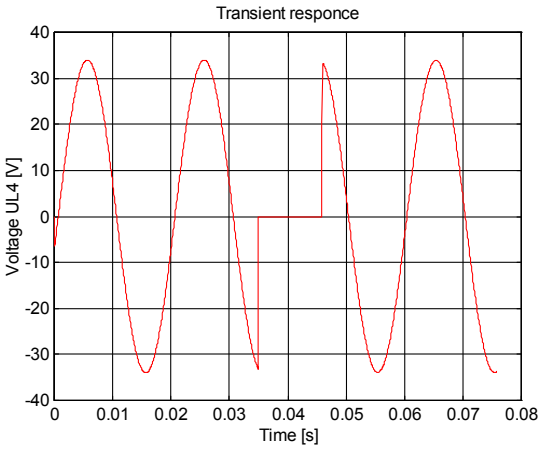
- $i_L(0-) = i_L(0+)$ и $u_C(0-) = u_C(0+)$, т.е. т.н. "коректна постановка";
- $i_L(0-) \neq i_L(0+)$ и $u_C(0-) \neq u_C(0+)$, т.е. т.н. „некоректна постановка", в този случай $i_L(t)$ и $u_C(t)$ могат да се изменят скокообразно, а $i_C(t)$ и $u_L(t)$ в момента на скокообразното изменение се оказват безкрайно големи.

Анализът на комутационните пренапрежения с оглед получаване на количествена оценка, имаща отношение към избора на тиристорите от УТК и оразмеряването на RC групите паралелно присъединени към последните, е извършен като началните условия са определени при „коректна постановка" при използване на приблизителния модел.

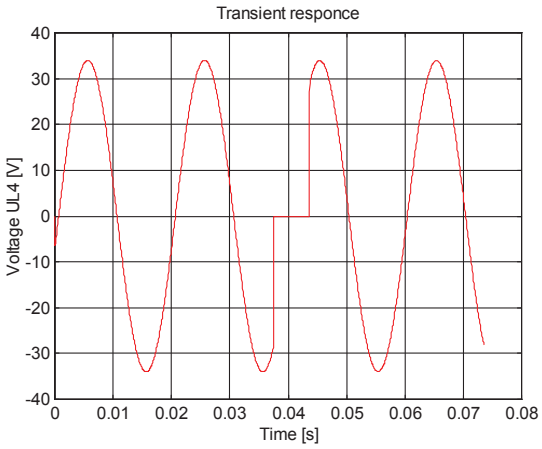
На фиг. 3, фиг. 4 и фиг. 5 е показано изменението на $u_{L4}(t)$ за различни фази на комутационния процес, при нарастване на големината на входното захранващо напрежение. На фиг. 6, фиг. 7 и фиг. 8 е показано изменението на $u_{L4}(t)$ за различни фази на комутационния процес, при намаляване на големината на входното захранващо напрежение. В първия случай L_4 се дава на късо през два отпушени тиристора от два съседни УТК и не възникват пренапрежения. Във втория



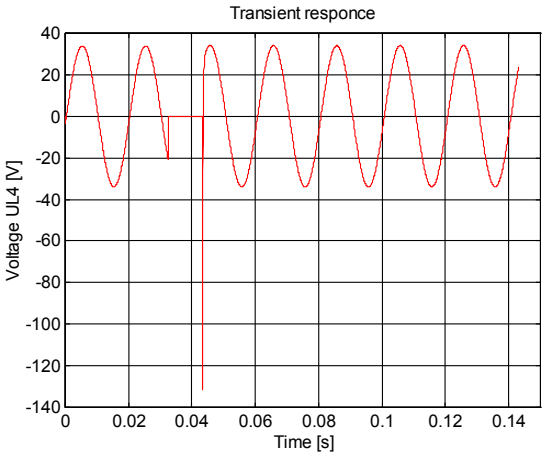
Фиг. 3. Изменение на $u_{L4}(t)$ при нарастване на входното захранващо напрежение от ниво 160 V, ъгъл на комутация $\varphi = 225^0$ и товар $R_T = 35{,}55\ \Omega$.



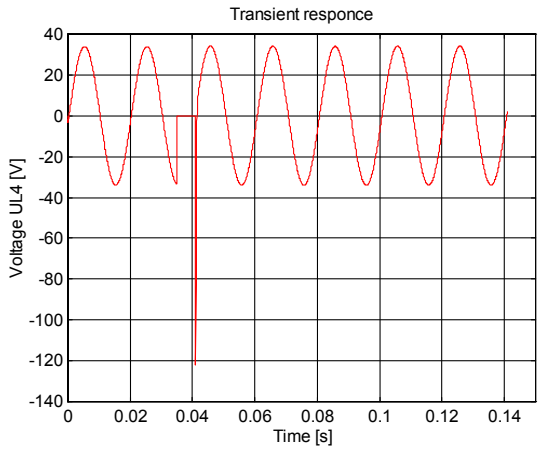
Фиг. 4. Изменение на $u_{L4}(t)$ при нарастване на входното захранващо напрежение от ниво 160 V, ъгъл на комутация $\varphi = 270^0$ и товар $R_T = 35{,}55\ \Omega$.



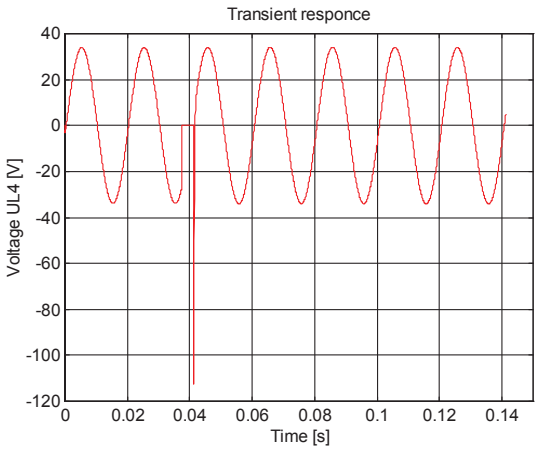
Фиг. 5. Изменение на $u_{L4}(t)$ при нарастване на входното захранващо напрежение от ниво 160 V, ъгъл на комутация $\varphi = 315^0$ и товар $R_T = 35{,}55\ \Omega$.



Фиг. 6. Изменение на $u_{L4}(t)$ при намаляване на входното захранващо напрежение от ниво 160 V, ъгъл на комутация $\varphi = 225^0$ и товар $R_T = 35{,}55\ \Omega$.



Фиг. 7. Изменение на $u_{L4}(t)$ при намаляване на входното захранващо напрежение от ниво 160 V, ъгъл на комутация $\varphi = 270^0$ и товар $R_T = 35{,}55\ \Omega$.



Фиг. 8. Изменение на $u_{L4}(t)$ при намаляване на входното захранващо напрежение от ниво 160 V, ъгъл на комутация $\varphi = 315^0$ и товар $R_T = 35{,}55\ \Omega$.

случай – при намаляване големината на входното захранващо напрежение при отпушване на тиристора от УТК, който следва да се включи, се създават условия за принудителна комутация на проводящия тиристор от УТК, който следва да се изключи. Възникващите пикове на пренапрежения във функция от фазата на начало на комутационния процес в конкретните случаи са с амплитуда 110 ÷ 130 V.

III. ИЗВОДИ

Сравняването на резултатите от таблица 2 за прецизния модел и за приблизителния модел води до следните изводи:

1. Средно-аритметичните грешки и стандартните грешки за прецизния модел са по-малки от тези за приблизителния модел, т.е. прецизният модел дава по-голяма достоверност на резултатите при компютърни симулации в сравнение с неточния модел. Това обаче става за сметка на увеличеното машинно време за смятане и заемането на по-големи ресурси на компютърната система. Същевременно неточния модел води до по големи грешки, но резултата се получава по-бързо.
2. При прецизния модел средно-аритметичната грешка не превишава 2,80 %, а при приблизителния модел достига до 6,34 %. Стандартната грешка при прецизния модел не превишава 3,78 %, докато при приблизителния модел тя е 3,99 %.
3. Прецизният модел е по-съвършен от приблизителния модел, понеже отчита по-голям брой параметри на АДРПН и позволява симулация на по-голям брой величини (примерно на токовете и напреженията в гасящите RC-групи към комутиращите елементи, нещо което не може да се проследи с приблизителния модел).
4. Направеният анализ на грешките при симулиране на процесите в АДРПН позволява да се направи избор на модел с оглед оразмеряването на конкретен регулатор за конкретна приложна задача.
5. От симулациите става ясно, че напрежението $u_{L4}(t)$ съдържа импулс (комутационно пренапрежение) при комутациите в резултат на намаляване на големината на входното захранващо напрежение. Амплитудата на този импулс е в зависимост от фазата на началото на комутационния процес и при конкретните изследвания е в диапазона 110 ÷ 130 V.
6. При повишаване големината на входното захранващо напрежение, $u_{L4}(t)$ не съдържа комутационен импулс, но там възниква късо съединение на съответната намотка на автотрансформатора за време до 10 mS [5],

което предполага токово претоварване на елементите от силовата верига спрямо установения режим.

Настоящата публикация е финансирана по проект НП1/2013 при ТУ-Варна по ФНИ.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. 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.

[2]. Барудов Е., Панов Е., Барудов С., Сравнително изследване на комутационните процеси в автотрансформаторен дискретен стъпален регулатор на напрежение. ЕЛМА 2011, ISSN 1313-4965, стр.55÷60.

[3]. Румшиский Л. З., Математическая обработка результатов эксперимента, изд. Наука, М. 1971.

[4]. Армутлийски Д., Кратко ръководство за математичекса обработка на експериментални данни, ВМЕИ Варна, 1974.

[5]. Барудов С., Панов Е., Барудов Е.,Изследване чувствителността на модели на дискретен регулатор на променливо напрежение ВВМУ „Н. Вапцаров”, Научна сесия с международно участие, май 2013 (под печат).

За контакти:

доц. д-р инж. Емил Панов, България, Варна 9010, Технически университет, ул. „Студентска” 1, катедра ТИЕ, e-mail: eipanov@yahoo.com.

гл. ас. инж. Емил Барудов, България, Варна 9010, Технически университет, ул. „Студентска” 1, катедра ТИЕ, e-mail: ugl@abv.bg.

проф. д.н. инж. Стефан Барудов, България, Варна 9026, ВВМУ „Н. Вапцаров”, ул. „Васил Друмев” 73, катедра ЕТ, e-mail: sbarudov@abv.bg.

Рецензент:

д-р инж. Майк Щреблау - ТУ-Варна

АДАПТИРАНЕ НА ОЕП НА СТЕРЕО ТВИС

ADAPTATION OF OPTICAL ELECTRONICS CONVERTER OF STEREO TV MEASURING SYSTEM

Росен П. Спиров, Нели С. Грънчарова, Георги А. Ангелов

Резюме: Статията представя ефективна методика за адаптация на матричен фото-чувствителен прибор за реализация на адаптивна система за цифрова обработка на изображения и откриване на обекти при динамични условия и в реално време с FPGA.
Ключови думи: Обработка на Изображения, Откриване на обекти, Калманов филтър, FPGA

Abstract: The article presents an effective method for the adaptation of the matrix photo-sensitive device for realization of adaptive digital image processing and detection of dynamic objects in real time with FPGA.
Keywords: Image Processing, Objects Detection, Kalman Filter, FPGA

I. ВЪВЕДЕНИЕ

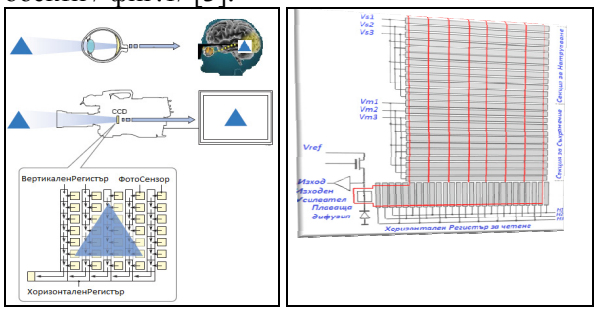
Методите и алгоритмите за определяне на параметрите на динамичните обекти при динамични условия се базират на използване на параметри, еднозначно описващи обекта и неговото поведение в пространството. Следящата ТВ измервателна система (ТВИС) може да определи координатите и скоростта на преместване на обекта чрез координатите на центъра на тежестта му $x_ц$, $y_ц$ от сигнала $U(x,y)$ на изображението като [1]:

$$x_ц = \frac{\iint U(x,y)x\,dxdy}{\iint U(x,y)dxdy},\quad y_ц = \frac{\iint U(x,y)y\,dxdy}{\iint U(x,y)dxdy} \qquad (1)$$

За намаляване на изчисленията се предпочита алгоритъм за изчисление моментната стойност на бинарно-квантов дискретен сигнал $U(x,y)$ от твърдотелен фото приемник, като за елемента x от реда y той е 0, или 1 така [2]:

$$x_ц = \frac{\sum_i \sum_j P_{ij}x}{\sum_i \sum_j P_{ij}},\quad y_ц = \frac{\sum_i \sum_j P_{ij}y}{\sum_i \sum_j P_{ij}}, \qquad (2)$$

Информацията за тримерните координати на обекта може да бъде получена от предварително зададена поредица монокулярни изображения от сцената или чрез използване на методи за обработка на стереоскопични изображения [2]. Предложения алгоритъм се състои в съпоставяне на двойка изображения посредством еластично разтягане и свиване, което довежда до последователно съвпадане отначало на центровете на масите на целите изображения и така до съвпадане на отделните пиксели. Твърдотелните матрични фотопреобразователи със зарядна връзка са предпоставка за създаване на високоточни измерителни прибори и системи от телевизионен тип, предназначени за определяне на пространствената ориентация на динамичните обекти / фиг.1/ [3].



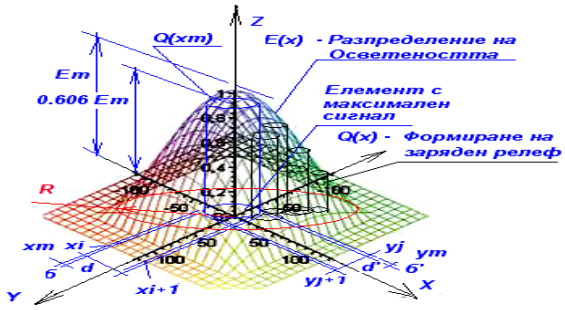
Фиг.1. Структура на сензора и организация на 2D матрицата на ПЗВ.

Под действието на светлината във всяка клетка се натрупва заряд, пропорционален на нейната осветеност и времето за натрупване. Ъгловите координати на безкрайно отдалечен точков източник еднозначно се привързват към линейните координати на неговото изображение върху ПЗВ:

$$X = f \cdot tg\psi \approx f \cdot \psi;\ Y = f \cdot tg\chi = f \cdot \chi, \qquad (3)$$

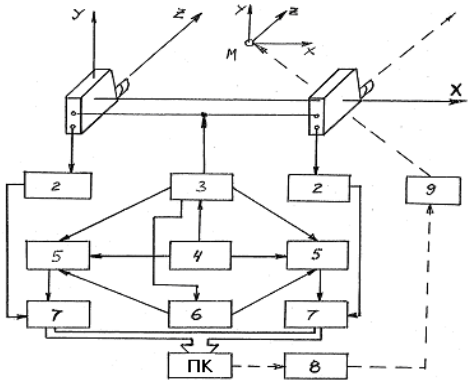
Тук ψ и χ са ъгловите координати; X и Y са линейните координати на центъра на изображението в анализираната равнина; f е фокусното разстояние до обектива. Един от най-често използваните интерполационни алгоритми е алгоритъма за определяне на енергийния център, т.н. център на тежестта с разпределение на осветеността E(x,y) в равнината на изображението. Фиг.2 представя примерно разпределение на осветеността по оста X, създавано от оптическата система от точков източник и съответстващия му *заряден релеф* $Q(Xi)$ върху повърхността на ПЗВ структурата

като функция на пространствените координати и положението на елементите.



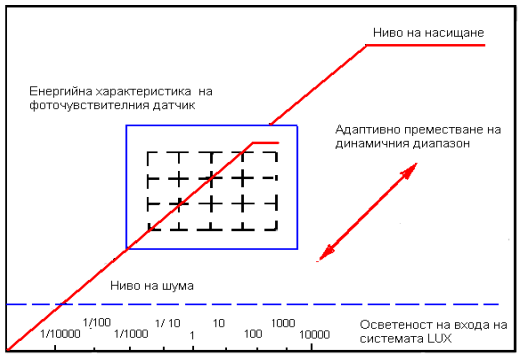
Фиг.2 Разпределение на осветеноста и формиране на заряден релеф

ТВ системата с един датчик посредством адресация на развиващия лъч дава информация за разположението на даден обект в равнина успоредна на ТВ растера от предавателната ТВ-камера. Получените изображения от две видеокамери се различават по разположението на обектите върху техните растери и са обусловени от различните точки на наблюдение. Чрез несложни операции на базата на едноименните координати се изчислява третата координата. Системите от този тип чрез въвеждане на обратна връзка се превръщат в системи за автоматично регулиране и насочване. На фиг.3 е показана блок – схемата.



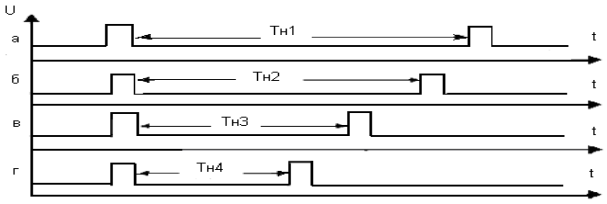
Фиг.3. Блокова схема на следяща система с автоматично регулиране и насочване

Обозначенията са: 1- ТВ камери, 2- Блок за формиране на сигнала, 3- синхрогенератор, 4-дискретизиращ генератор, 5-адресни броячи, 6-блок за управление, 7-блок за регистрация, 8-управляващо устройство, 9-изпълнително устройство, 10-М наблюдаван обект, ПК-персонален компютър. Функционалността на ОЕС налага бърза адаптация на МФПЗВ към изменението на външната осветеност така, че полезната част от видеосигнала винаги да се намира в работния участък от енергийната характеристика на МФПЗВ [4]. Както се вижда от графиката, ФЕП може да се разглежда като идеален, тъй като за широк динамичен диапазон експонирането може да се разглежда като адаптивно преместване, илюстрирано на фиг.4.



Фиг.4. Енергийна х-ка на ФЕП

$U_{раб} = [U_{\min}, U_{\max}]$ е работния участък на енергийната характеристика на МФПЗВ, където $U_{\min}, U_{\max}$ е допустимия диапазон на изходния сигнал, обезпечаващ зададено съотношение сигнал/шум $K_{сш}$, избрано за конкретната задача за разпознаване; а $Dф$ е динамичния диапазон на МФПЗВ; като D е динамичния диапазон на идеалния ФЕП. *Може да се направи предположение, че режима на натрупване е способен да компесира част от смущенията $N_{нат}$ и да пренастрои работата на МФПЗВ така, че динамичния диапазон Dф да се премества по линията на енергийната характеристика на идеалния ФЕП.* Затова към ОЕП се добавя блок за автоматично регулиране на експозицията (АРЕ) и с регулиране на $t_{нат}$ ще се стабилизира амплитудата на сигнала в изхода на МФПЗВ [5], като се регулира честотата на импулсна поредица /фиг.5/.



Фиг.5. Диаграми, съответстващи на различните времена за натрупване

Оценката на граничните стойности на $t_{нат}$ за динамичния диапазон се ограничава отгоре от нивото на насищане и отдолу от нивото на собствените шумове. t_{min} ще съответства на максималната осветеност на входа на ФЕП и ще зависи от физическите особености и ел.схемата на МФПЗВ и наличие на ОВ. t_{max} ще съответствува на минималната осветеност на входа на ФЕП и се ограничава от нивото на собствените шумове на МФПЗВ и честотата на снемане на информацията от изхода на МФПЗВ. За адаптацията на МФПЗВ се получава:

$$t_{нат} = \begin{cases} t_{нат-1} + \Delta t, & ако \;\; U_{изх} < U_{ОПТ} \\ t_{нат-1} - \Delta t, & ако \;\; U_{изх} > U_{ОПТ} \end{cases} \quad (4)$$

$t_{наш-1}$ е предходна стойност на $t_{нат}$; Δt е промяна във времето; $U_{ОПТ}$ е оптималното напрежение, при което $K_{сш} \Rightarrow \boldsymbol{max}$ и може да се определи : $U_{ОПТ} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2}$ (5)

Величината Δt се определя от условията на работа на устройството във външната околна среда и зависи от скороста на изменение външната осветеност $\frac{\partial E}{\partial t}$ и ширината на работния участък $U_{раб}$ от енергийната характеристика на МФПЗВ. От експерименталните изследвания се вижда, че адаптацията на ФЕП от (4) протича стабилно, като $U_{изх}$ уверено влиза в режим на следене до $U_{опт}$ за неголеми стойности на Δt при хомогенна промяна на външната осветеност. При големи стойности на Δt адаптацията става нестабилна поради големите колебания на $U_{изх}$ и бързодействието е мн.ниско с еднократна корекция. При превишаване на стойностите на изходния сигнал $U_{опт}$, корекцията се прави к пъти и това води до възстановяване на $U_{изх}$ в диапазона на $U_{раб}$ като ще бъдат пропуснати k – кадри. Така ще се получат к – кадри с нисък K_c, но това е недопустимо при определяне на параметрите на движение на обекта. За отстраняване на това предложения алгоритъм е модифициран като времето за натрупване $t_{нат} \in [t_{\min}, t_{\max}]$ се разбива на N интервала. На всеки интервал се съпоставя диапазон от напрежения $\Delta U_N \in [U_i, U_{i+1}], i = \overline{1, N+1}$. Така при попадане на $U_{изх}$ в диапазона ΔU_N се избира съответстващо време за натрупване такова, че $U_{изх}$ да е в диапазона на $Uраб$.

$$t_{нак} = \begin{cases} t_1, \;\; U_{изх} \in \Delta U_1 \\ t_2, \;\; U_{изх} \in \Delta U_2 \\ \cdots \\ t_N, \;\; U_{изх} \in \Delta U_N \end{cases} \quad (6)$$

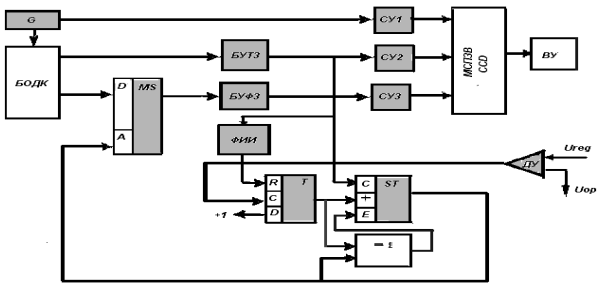
Подбора на съответствие на времето за натрупване и големината на изходния сигнал от МФПЗВ може да бъде извършен на етапа на настройване на ОЕП. Така, ако $U_{изх} \in [U_{\min}, U_{\max}]$, то адаптацията ще протича в съответствие с уравнение (5). *Изхождайки от принципа си на действие, АРЕ може да се разделят на два типа -АРЕ с последователно и АРЕ с мигновено приближение.*

При промяна на амплитудата на изходния видеосигнал, АРЕ с последователно приближение формира поредици импулси до минимизиране на грешката при отклонението на амплитудата на изходния видеосигнал от зададената стойност. При промяна на амплитудата на изходния видео сигнал, АРЕ с мигновено приближение веднага формира времева поредица съответстваща на минималната грешка на отклонение на амплитудата на изходния видеосигнал от зададената стойност.

Реализацията на устройството за адаптация на фотоелектронния преобразувател на системата за цифрова обработка на изображения е *задачата, отразяваща особеностите и адаптирането на ОЕП. Тя е заключителен етап на изследванията на дисертационния труд и се реализира като инженерна задача.*

Тъй като съществуващите методи на адаптация на фотоелектронните преобразователи към външната осветеност притежават общ недостатък, изразен в това, че процеса на адаптация има голяма продължителност на преходния процес, оказващ отрицателно въздействие на следващите обработки на видеосигнала [6,7]. За целта е предложена реализация с акцент върху основните аспекти:

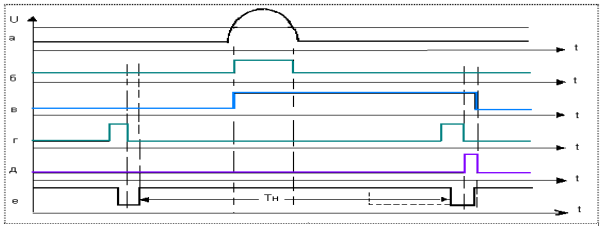
Автоматично регулиране на експозицията по метода на последователното приближение:



Фиг. 6. Функционална схема на блока АРЕ за последователно приближение

Същността на работа на автоматичното регулиране на експозицията по метода на последователното приближение може да се представи с функционалната схема на устройството от фиг. 6, а фигури 7 и 8 илюстрират с времедиаграми.Блокът АРЕ съдържа генератор на тактови импулси (G), блок за отчитане дължината на кадъра (БОДК), мултиплексор (MS), реверсивен брояч (ST), елемент ИЗКЛЮЧВАЩО ИЛИ, блок за управление и разрешаване на портове (БУРГ), блок за управление на фотопорта (ЕУФП), D-тригер, съгласуващи усилватели (СУ1-СУЗ), формировател на импулс за изчистване (ФИИ), МФПЗВ, видеоусилвател (ВУ), детектор на ниво

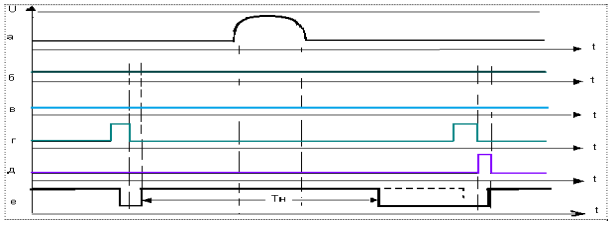
(ДН).Устройството за стабилизация на амплитудата на видеосигнала работи по следния начин. Управлението на амплитудата на видеосигнала се осъществява с изменение на времето за натрупване на фотозаряд Тн във фоточувствителната секция на МФПЗВ. Блокът за отчитане на продължителността на редовете формира импулсни поредици, съответстващи на различните времена за натрупване, които се комутират от мултиплексора на блока за управление на фотопорта. С промяна на кода в изходите на реверсивния брояч, свързани с адресните входове на мултиплексора се получава регулиране на момента на появяване на импулс за край на кадъра. С мултиплексора се осъществява комутация, като появата на импулс за край на кадъра става при смяна на кода в изхода на реверсивния брояч. Така се осъществява регулиране на времето на натрупване на фотозаряд Тн и регулиране на амплитудите на видеосигнала.



Фиг. 7. Времедиаграми на АРЕ при превишена амплитудата на видео сигнала

Работата на реверсивния брояч се забранява, ако той се намира в крайното най-малко или най-голямо положение, като съответно ще е необходимо извършване на регулиране с намаляване или увеличаване на амплитудите на видеосигнала. Важно е да се разгледа случая, когато амплитудата на видеосигнала по време на кадъра превишава зададено ниво на опорния сигнал U_{on} (фиг. 7). В даден момент от времето, когато амплитудата на видеосигнала на изхода на видеоусилвателя (фиг. 7а) превиши зададената стойност U_{on}, сработва детектора на ниво и от изхода му постъпва импулс към броячния вход на D-тригера /фиг.7б/. По фронта на този импулс се осъществява запис на логическа единица в D-тригера, която остава постоянна на информационния му вход. От изхода на D-тригера към управляващия вход на реверсивния брояч постъпва логическата единица и *задава положителна посока на броене* – ***сумиране*** / фигура 7в/**.** При постъпване на импулс на тактовия вход на реверсивния брояч, от блока за управление се дава разрешение за комутация (фиг.7г). Реверсивния брояч увеличава с единица младшия си разряд при разрешение и на изхода на елемента ***XOR*** има логическа 0. По спадащия фронт на импулса, постъпващ от блока за управление разрешавението на комутацията, формирователя на импулси нулира D-тригера /фиг. 7д/. *Промяната на кода в изхода на реверсивния брояч означава, че мултиплексора осъществява комутация и в изхода му се появява импулсна поредица, пропорционална на намаленото време за натрупване* ***(****фиг, 7е). Съкращаването на времето за натрупване на фотозаряд Тн в МФПЗВ (CCD), довежда до намаляване на амплитудите на видеосигнала в неговия изход.*

В случая, когато амплитудата на видеосигнала на изхода на видеоусилвателя не превишава зададеното ниво U0 (фиг. 8а), детектора на ниво не сработва и D-тригера остава в изходно състояние (фиг.8б).



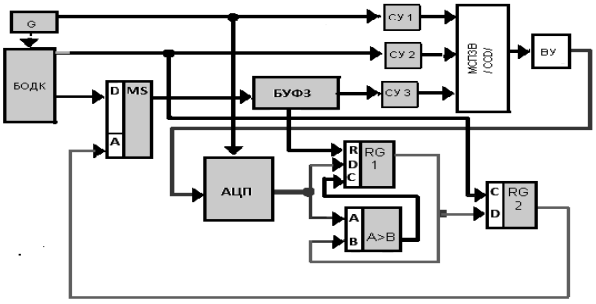
Фиг. 8. Време-диаграми на блока АРЕ при понижение на видео сигнала

От изхода на D-тригера на управлявашия вход на реверсивния брояч постъпва сигнал логическа нула (фиг. 8в). Той *установява отрицателна посока на броене* ***- изваждане.*** При наличие на тактов импулс на входа на реверсивния брояч постъпва импулс от изхода на блока за управление, разрешаващ комутацията на МФПЗВ (фиг.8г). Кода от реверсивния брояч намалява с единица единица в младшия си разряд при разрешена работата на брояча и в изхода на елемента ***XOR*** има ниво логическа 0. По спадащия фронт на импулса, идващ от блока за управление се разрешава работата на порта и формирователя на импулси нулира D-тригера (фиг. 8д). Изменението на кода в изхода на реверсивния брояч означава, че мултиплексора е осъществил комутация и на неговия изход се появява импулсна поредица, пропорционална на по-голямото време за натрупване.

Така, секцията за натрупване ще се изключи по-късно по отношение на предидущия кадър (фиг. 8е). Увеличаването на времето на натрупване на фотозаряд Тн в секцията за натрупване довежда до увеличаване на амплитудите на видеосигнала в неговия изход.

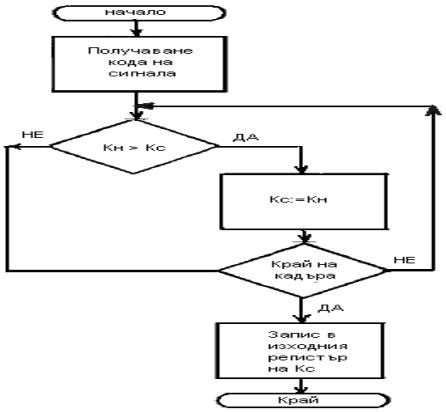
В предложеното устройство за АРЕ амплитудата на видеосигнала се сравнява допълнително с определен праг, показващ отсътствие на зона на нечувствителност,

присъща на другите аналогични устройства. Между амплитудата на видеосигнала и зададеното ниво се осъществява динамично равновесие, позволявашо постоянно поддържане на съотношението сигнал/шум. ***Реализиране на автоматично регулиране на експозицията по метода на мигновенно приближение.*** Същноста на работа на блока за автоматично регулиране на експозицията по метода на мигновенното приближение може да се представи с функционалната схема от фиг.9.



Фиг. 9. Функционална схема на блока АРЕ за мигновенно приближение

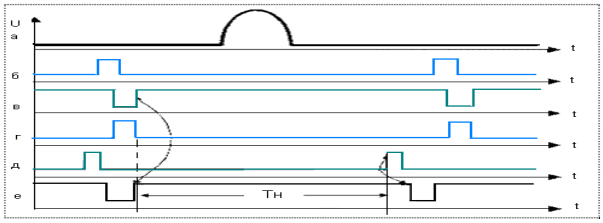
Работата на блока АРЕ следва стъпките на алгоритъма от фиг.10.



Фиг. 10. Алгоритъм на работа на блока АРЕ за мигновенно приближение

Реализираното устройството за стабилизация на амплитудата на видеосигнала функционира по следния начин. Управлението на амплитудата на видеосигнала се осъществява с изменение на времето за натрупване на фотозаряд Тн във фоточуветвителната секция на МФПЗВ. Блокът за отчитане на дължината на кадъра формира импулсни поредици, пропорционални на различните времена на натрупване, които се комутират от мултиплексора на блока за управление на фотопорта.

Чрез изменение на кода от изхода на втория регистър настъпва отваряне на адресните входове на мултиплексора и се появява фронта на импулса за край на кадъра. Така с промяна на кода в изхода на втория регистър се осъществява регулиране на времето за натрупване на фотозаряд Тн и съответно се коригира амплитудата на видеосигнала. От изхода на МФПЗВ видеосигнала се подава към АЦП (фиг.9). Чрез първия регистър и компаратора се открива максималния код, който съответства на максималната амплитуда на видеосигнала за времето на кадъра. Кода на данните се съхранява в първия регистър. Работата на алгоритъма е представена на фиг.10, където $К_с$ и $К_н$ са стария и новия код на сигнала, получени от АЦП. Времедиаграмите от фиг.11 представят моментите и начина на сработване на отделните блокове при функциониране на системата. Работата на преобразувателя се управлява от генератор на тактови импулси. В момента на подаване на импулс от изхода на блока за разрешение надостъпа до порта, на тактовия вход на втория регистър постъпва импулс (фиг. 11б) и по предния му фронт в порта се извършва запис на максималния код.

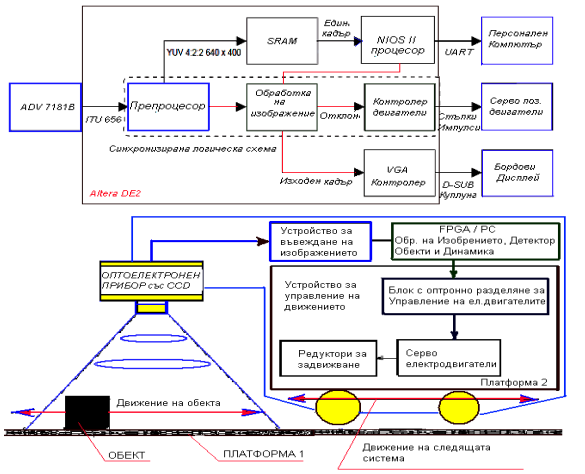


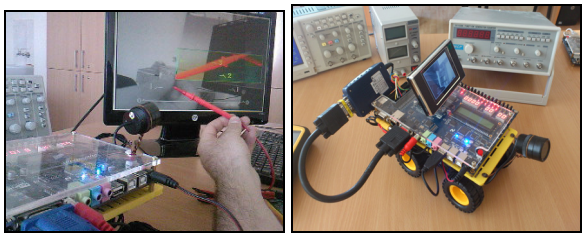
Фиг. 11 Време-диаграми на блока АРЕ

С пристигането на импулс от втория изход на блока на управление на фотопорта се извършва нулиране на първия регистър (фиг. 11в). Пристигащия импулс от първия изход на блока за управление на фотопорта (фиг.11г) е инверсен. Настъпва нулиране на първия регистър по предния фронт и се стартира процеса на търсене на максимален код, който да съответства на максималната амплитуда във видеосигнала за времето на следвашия кадър. Получения код постъпва на адресните входове на мултиплексора и се извършва комутация, като в изхода на мултиплексора се появява импулсна поредица, съответстваща на времето за натрупване в МФПЗВ /фиг.11д/.

Появата на код довежда до промяна на времето за натрупване (фиг. 11е), което води до изменение на амплитудата на видеосигнала, което решава поставената в дисертацията задача.

Блок-схемата от фиг.12 показва базовите компоненти на системата, трансформирайки борда Altera DE2 в специализирана система за цифрова обработка на ТВ изображения [7].





Фиг.12 Експериментална адаптивна система за следене на динамични обекти

Представената методика за цифрова обработка на изображения позволява обединяване на възможностите на програмируемите прибори FPGA с бързодействието и точността на CCD сензорите, което съществено повишава производителността на работещите в реално време системи за компютърно зрение и изкуствен интелект, както и в системите за разширен обзор в авиацията.

III. ИЗВОДИ

От резултатите може да се направи заключение, че с предложените методика и алгоритми се постига висока ефективност и надеждност и работа в реално време.

1. Постигнато е съществено разширяване на динамичния диапазон на работа на ОЕП чрез регулиране на времето за натрупване на заряд в МФПЗВ, с което се обезпечава изменение на чувствителноста и стабилизиране нивото на изходния сигнал на прибора при изменение на външната осветеност.

2. В резултат от обединяването на пространствена с времева филтрация е постигнато ефикасно премахване на смущенията, което се потвърждава от получената при експериментите висока вероятност за откриване на обекти при динамичен фон от 0.98 и ниска вероятност за лъжлива тревога (0.26 за динамичен и 0.06 за статичен фон).

3. От анализа на получените експериментални резултати следва, че разработените методика и алгоритми за цифрова обработка на изображения за откриване на динамични обекти превъзхождат известните методи в условията на динамичен фон и дават сходни резултати при статичен фон.

4. Използването на стереоскопични изображения позволява тяхното анализиране в дълбочина за точно определяне координатите на обектите, което една от насоките за бъдещи изследвания.

ЛИТЕРАТУРА:

[1].Приборы с зарядовой связью / Под ред. Д,Ф. Барьба. - М,: Мир, 1992.
[2].Никулин О.Ю., Пегрушин А.Н. Системы телевизионного наблюдения: Оберег-РБ, 2009.
[3].Мамиев Г .В. Стереотелевизионные устройства отображения информации.М:Радио и связь,2005.
[4].Киричук Н.А., Яковенко Н.С. Адаптивные алгоритмы поиска малоразмерных объектов на изображении // Автометрия.-2004.-№2
[5]. Alexander S.T, Adaptive Signal Processings Theory and Applications. -N.Y.: Springcr-Verlag, 2006.
[6].Murray D, A. Basu, Motion tracking with an active camera, IEEETrans.Pattern Anal. March, Intell.2004.
[7].Zeyad A. O, N. Sulaiman and M. N. Hamidon “FPGA-based Implementation of Digital Logic Design using Altera DE2 Board” IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.9 No.8, July 2009

За контакти:

инж. Росен П. Спиров, р-л ОУЛ по Електроника на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 606Е e-mail: rspirov@tu-varna.bg

инж. Нели С. Грънчарова, ОУЛ по Електроника на ТУ-Варна. e-mail: nelly2000@abv.bg

Георги А. Ангелов, студент катедра ЕТМ, ТУ-Варна, ул. Студентска № 1, e-mail: valeddy@abv.bg

Рецензент:
доц. д-р инж. Бохос Апрахамян, ТУ-Варна

БЕЗСЕНЗОРНО ДИРЕКТНО УПРАВЛЕНИЕ НА МОМЕНТА НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ

SENSORLESS DIRECT TORQUE CONTROL OF INDUCTION MOTOR

Е. Маринов, Ж. Жеков, Ц. Тодоров

Резюме: В доклада се предлага изграждане на система за безсензорно директно управление на момента на асинхронен двигател чрез итеративен оценител на скоростта, електромагнитния момент и статорното потокосцепление. Работата на оценителя се базира на сигналите по фазните статорни токове и входното напрежение на инвертора. Посредством симулационни изследвания е потвърдена работоспособността на електрозадвижването в широк диапазон на регулиране на скоростта и промяна на натоварването на двигателя. Показани са преимуществата при предварителното възбуждане на двигателя, свързани с намаляване на пусковия ток и подобряване на динамичните показатели.
Ключови думи: асинхронен двигател, директно управление на момента, оценител на момент, оценител на потокосцепление, оценител на скорост

Abstract: In this paper is proposed development of system for sensorless direct torque control of induction motor by iterative estimator of motor speed, torque and flux. The estimator operation is based on phase stator currents and DC bus voltage. By simulation research is confirmed electrical drive performance in wide range speed control at change of load torque in permissible range for the motor. Here is shown the advantages at preliminary motor excitation related with the starting current decreasing and the dynamical performance improving
Keywords: direct torque control (DTC), induction motor, flux estimation, speed estimation, torque estimation

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Методът за директно управление на момента на асинхронни двигатели (АД) позволява реализирането на електрозадвижвания с показатели близки до тези на системите с директно и индиректно управление на полето (потокосцеплението). Посредством изменение на вектора на статорното напрежение на двигателя в зависимост от отклонението на електромагнитния момент и статорното потокосцепление от зададените им стойности се постига директно управление на тези величини [1÷6].

В сравнение със системите с управление по поле, електрозадвижванията с директно управление на момента имат следните предимства [1÷4]:

- по-проста структура;
- не са необходими координатни преобразувания (ротация) и блок за ориентация;
- няма контур за управление на тока т.е. той не се управлява директно;
- няма отделен блок за реализиране на ШИМ.

Недостатъците на този метод за управление на АД са:

- пулсации на момента;
- пулсации на статорното потокосцепление;
- необходимост от оценяване на статорното потокосцепление и електромагнитния момент;
- проблеми с ограничаването на тока по време на преходните процеси;
- повишени загуби поради наличие на високо съдържание на висши хармоници в тока на АД, дължащо се на превключване на ключовете на инвертора с променлива честота.

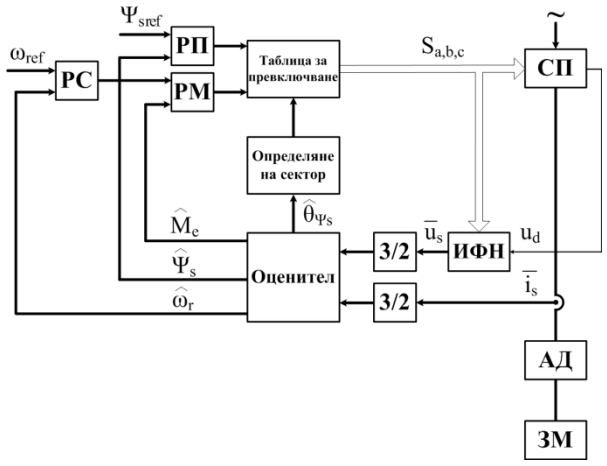
В доклада се предлага една възможност за изграждане на асинхронно електрозадвижване с безсензорно директно управление момента чрез получаване оценките на скоростта на двигателя ($\hat{\omega}_r$), електромагнитния момент ($\hat{M}_e$) и вектора на статорното потокосцепление ($\hat{\Psi}_s$) посредством итеративен оценител [7,8] на базата на сигналите по фазните статорни токове и входното напрежение на инвертора U_d.

.

II. ОПИСАНИЕ НА СИСТЕМАТА

Функционалната схема на системата е показана на фиг.1. Използвани са следните означения: РС - регулатор на скорост, РП -

регулатор на статорното потокосцепление, РМ - регулатор на момент, 3/2 – трифазно-двуфазни преобразуватели, ИФН - изчислител на фазното напрежение, СП - силов преобразувател, АД - асинхронен двигател, ЗМ - задвижван механизъм, ω_{ref}, Ψ_{sref} – задания по скорост и потокосцепление, $\theta_{\Psi s}$ – ъгълът на вектора на статорното потокосцепление $\overline{\Psi}_s$ спрямо неподвижната ос α, S_{abc} - управление на ключовете на инвертора на СП.



Фиг.1. Функционална схема на системата за безсензорно директно управление на момента на АД

Електромеханичните процеси в АД с накъсо съединен ротор и механизма (за едномасова механична част), в неподвижно свързана със статора α–β координатна система, се описват с уравненията:

$$\bar{u}_s = R_e(T_e p+1)\bar{i}_s - \frac{R_r L_m}{L_r^2}\overline{\Psi}_r + j\frac{L_m}{L_r}p_p\omega_r\overline{\Psi}_r \quad (1)$$

$$\bar{i}_s = \frac{1}{L_m}(T_r p+1)\overline{\Psi}_r - j\frac{T_r}{L_m}p_p\omega_r\overline{\Psi}_r \quad (2)$$

$$M_e = k_m\overline{\Psi}_r\bar{i}_s \quad (3)$$

$$M_e - M_c = Jp\omega_r \quad (4)$$

където:

$$T_e=\frac{L_e}{R_e};R_e=R_s+R_r\frac{L_m^2}{L_r^2};L_e=\frac{L_sL_r-L_m^2}{L_r};T_r=\frac{L_r}{R_r};k_m=\frac{3p_pL_m}{2L_r};p=\frac{d}{dt};$$

$\bar{u}_s, \bar{i}_s, \overline{\Psi}_r$ са изобразяващите вектори на статорните променливи (напрежение, ток и роторното потокосцепление); ω_r – ъглова скорост на ротора; R_s, R_r – активни съпротивления на статора и ротора; L_s, L_r - пълни индуктивности на статора и ротора; L_m – взаимна индуктивност; p_p – брой чифтове полюси; M_e, M_c – електромагнитен и съпротивителен момент; J – инерционен момент.

Регулаторът на скорост е пропорционално-интегрален с ограничение на заданието по момент. Регулаторите РП и РМ са релейни регулатори с хистерезис, като РМ е и със зона на нечуствителност, описващи се съответно с уравненията:

$$d_\Psi = 1 \quad \text{при} \quad \varepsilon_\Psi > h_\Psi \quad (5a)$$
$$d_\Psi = -1 \quad \text{при} \quad \varepsilon_\Psi < -h_\Psi \quad (5b)$$

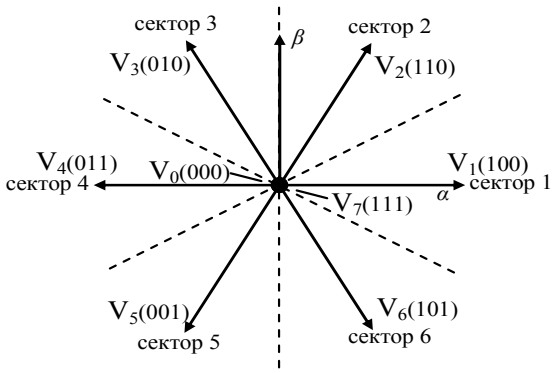
$$d_M = 1 \quad \text{при} \quad \varepsilon_M > h_M \quad (6a)$$
$$d_M = 0 \quad \text{при} \quad |\varepsilon_M| < b_M \quad (6b)$$
$$d_M = -1 \quad \text{при} \quad \varepsilon_M < -h_M \quad (6c)$$

където d_Ψ и d_M са изходите съответно на РП и РМ, $2h_\Psi$ и $2h_M$ – техните зони на хистерезис, $2b_M$ – зоната на нечувствителност на РМ, ε_Ψ и ε_M - грешките по потокосцепление и момент.

Управлението на вектора на статорното напрежение се извършва по класическия метод в съответствие с таблицата [1]:

Таблица 1. Управление на превключването

d_Ψ	d_M	Сектор 1	Сектор 2	Сектор 3	Сектор 4	Сектор 5	Сектор 6
1	1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1
	0	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0
	-1	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
-1	1	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1	V_2
	0	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7
	-1	V_5	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4

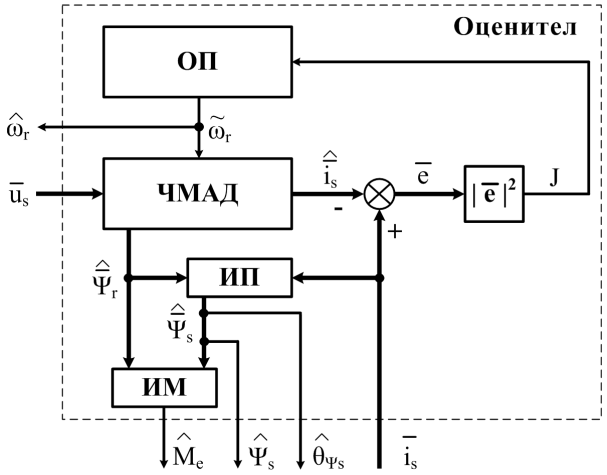


Фиг. 2. Разположение на секторите при директно управление на момента по класическия метод

Разположението на секторите в зависимост от стойността на $\theta_{\Psi s}$, както и на вектора на управлението на статорното напрежение V_i (i=0÷7) при съответното състояние на ключовете на инвертора S_{abc} се пояснява от фигура 2 (показано е състоянието на s_{a+}, s_{b+}, s_{c+}, състоянието на ключовете s_{a-}, s_{b-}, s_{c-} е инверсно).

На базата на състоянията V_i и U_d в ИФН се получават моментните стойности на статорните напрежения u_{abc} .

Оценителят на скоростта, електромагнитния момент и статорното потокосцепление представлява модификация на итеративния оценител [7,8]. Оценителят, показан на фиг.3, се състои от частичен модел на АД (ЧМАД), оптимизационна процедура (ОП), изчислители на статорното потокосцепление (ИП) и на електромагнитния момент (ИМ). Използваният частичен модел на АД се описва с уравнения (1) и (2). Посредством ЧМАД едновременно се определя векторът на статорния ток, както и големината и положението на вектора на роторното потокосцепление.



Фиг. 3. Функционална схема на оценителя

Посредством оптимизационна процедура за всеки такт $\boldsymbol{k}$ се варира $\tilde{\omega}_r$ в интервала $[\hat{\omega}_r(k-1)-\Delta\omega_{r\max}..\hat{\omega}_r(k-1)+\Delta\omega_{r\max}]$ така, че да се минимизира оптимизационния критерий J

$$\mathrm{J}=\left|\bar{e}\right|^2=\left|\bar{i}_s-\hat{\bar{i}}_s\right|^2, \qquad (7)$$

при което се получава оценката на скоростта $\hat{\omega}_r$ т.е.

$$\hat{\omega}_r=\tilde{\omega}_r \text{ когато } \mathrm{J}=\min. \qquad (8)$$

Оценките на електромагнитния момент и статорното потокосцепление се получават на базата на уравненията:

$$\bar{\Psi}_s=\frac{L_m}{L_r}\bar{\Psi}_r+\frac{L_sL_r-L_m^2}{L_r}\bar{i}_s \qquad (9)$$

$$M_e=\frac{3}{2}p_p\frac{L_m}{L_sL_r-L_m^2}\Psi_s\Psi_r\sin\gamma \qquad (10)$$

където γ е ъгълът между векторите $\bar{\Psi}_s$ и $\bar{\Psi}_r$, а Ψ_s и Ψ_r са техните модули.

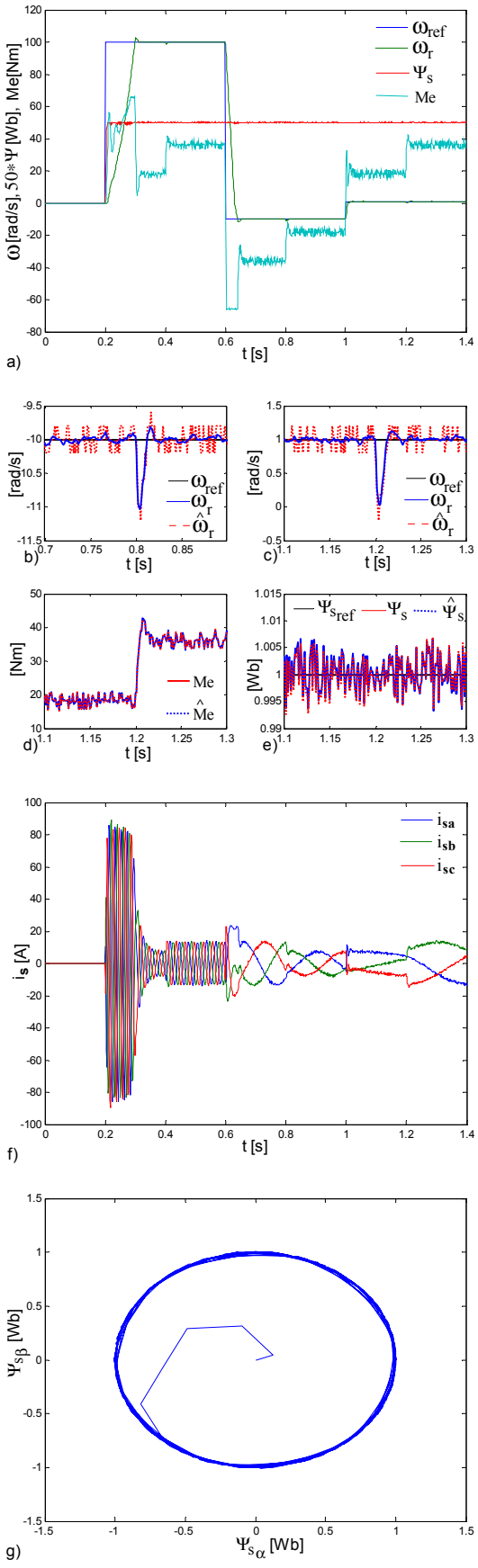
III. СИМУЛАЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Изследванията са извършени за описаната система, работеща с двигател тип АО 2 41-4 със следните каталожни данни: мощност 5.5kW; номинален момент M_n=36.22Nm; номинален ток I_{sn}=11.2A; $R_{s\text{kat}}$=0.8Ω; $R_{r\text{kat}}$=0.5558Ω; $L_{s\text{kat}}$=0.1513H; $L_{r\text{kat}}$=0.1508H; L_m=0.1453H.

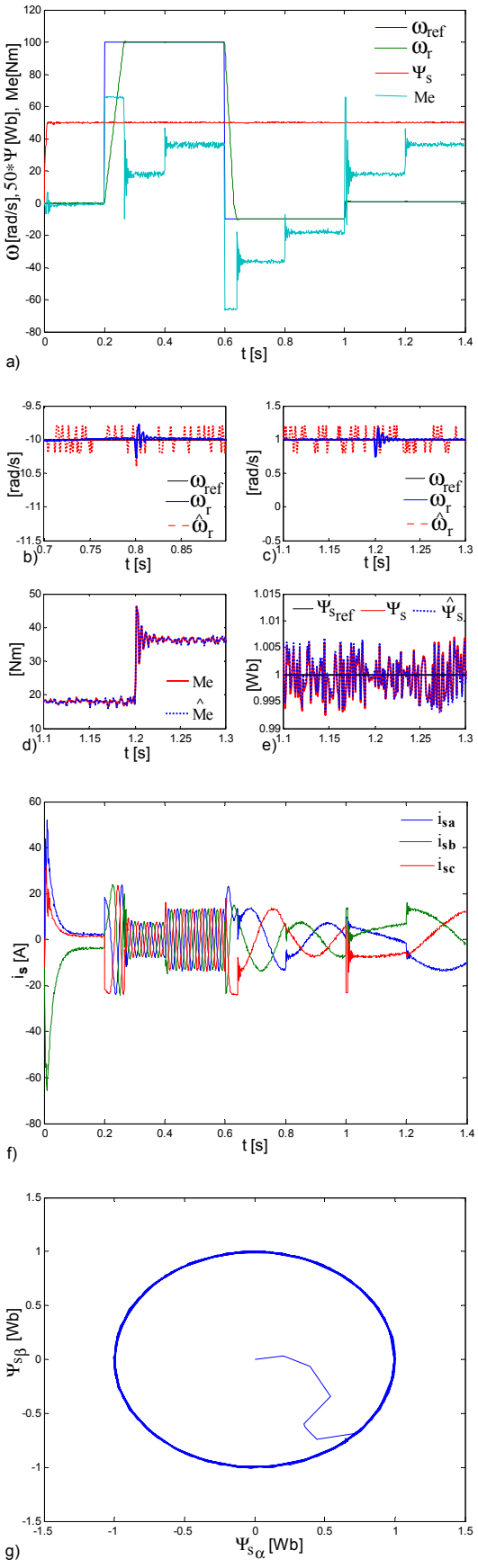
Проведени са симулационни изследвания при развъртане на двигателя без (фиг.4) и с предварително възбуждане (фиг.5,6). Резултатите, показани на фиг.4 и фиг.5 са получени при $R_s=R_{s\text{kat}}$, $R_r=R_{r\text{kat}}$, а на фиг.6 - при $R_s=1.2R_{s\text{kat}}$, $R_r=1.2R_{r\text{kat}}$. На фигурите са показани: скоростта на двигателя, статорното потокосцепление, и електромагнитният момент ω_r, Ψ_s и M_e; фазните статорни токове i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}; ходографа на вектора на статорното потокосцепление $\bar{\Psi}_s$; оценките $\hat{\omega}_r$, $\hat{\Psi}_s$ $\hat{M}_e$ и заданията ω_{ref} и Ψ_{sref}. Фиг.4b,c,d,e÷6b,c,d,e илюстрират по-ясно изменението на скоростта, електромагнитния момент и роторното потокосцепление. Съпротивителният момент M_c за всички показани случаи е приет за реактивен и се изменя в диапазона $(0.1\div1)M_n$ както следва: $M_c=0.1M_n$ за t≤0.2s; $M_c=0.5M_n$ за 0.2<t≤0.4s, $M_c=M_n$ за 0.4<t≤0.8s, $M_c=0.5M_n$ за 0.8<t≤1.2s, $M_c=M_n$ за 1.2<t≤1.4s.

При директно пускане (без предварително възбуждане) се наблюдава преходен процес, характеризиращ се с по-големи токове и пулсации на момента спрямо зададената стойност (фиг.4a,f). При предварително възбуждане процесите на намагнитване и развъртане протичат разделно, вследствие на което значително намалява амплитудата и продължителността на пусковия ток (фиг.5f). Посредством въведеното ограничение в РС се ограничават статорните токове до стойност приблизително $2I_{sn}$ с изключение на началния пусков интервал, в който двигателя се възбужда до зададената стойност.

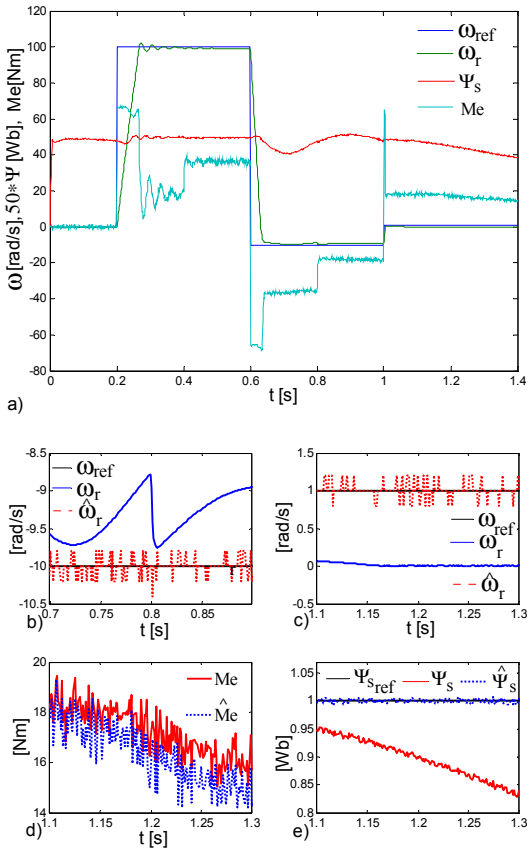
С намаляване зоните на хистерезис h_M и b_M на регулаторите РМ и РП се намалява големината на пулсациите съответно M_e и Ψ_s, при което ходографът на вектора на статорното потокосцепление (след неговото установяване) е близък до идеална окръжност. Намаляването на зоните на хистерезис се ограничава от допустимата честота на превключване.



Фиг.4. Работа на системата без предварително възбуждане и $R_s=R_{skat}$; $R_r=R_{rk}$



Фиг.5. Работа на системата при предварително възбуждане и $R_s=R_{skat}$; $R_r=R_{rk}$



Фиг.6. Работа на системата при предварително възбуждане и R_s=1.2R_{skat}; R_r=1.2R_{rkat}

Недостатък на оценителя е влошаване на точността при изменение на активните съпротивления на двигателя вследствие загряването на намотките му при работа. Това води до намаляване на диапазона на работа на системата. Влиянието на параметричните смущения по отношение на активните съпротивления може да се намали ако в математическия модел, на който е базиран оценителя (уравнения 1 и 2), се използват междинни стойности за R_s и R_r, например R_s=1.1R_{skat}; R_r=1.1R_{rkat}.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена е система за безсензорно директно управление на момента на асинхронен двигател, характеризираща се с итеративен оценител на скоростта, електромагнитния момент и статорното потокосцепление, базиран на сигналите по фазните статорни токове и входното напрежение на инвертора.

Показани са преимуществата при предварителното възбуждане на двигателя, свързани с намаляване на пусковия ток и подобряване на динамичните показатели.

Извършени са симулационни изследвания, потвърждаващи работоспособността на системата в широк диапазон на регулиране на скоростта и промяна на натоварването на двигателя.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията, представени в настоящия доклад, са извършени по проект НП-8 в рамките на присъщата на ТУ-Варна научноизследователска дейност, финансирана целево от държавния бюджет през 2013г.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Wilamowski B., Irwin J. Power electronics and motor drives (The Industrial Electronics Handbook). CRC Press, 2011

[2]. Drury B. The Control Techniques Drives and Controls Handbook. The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2009

[3]. Bose B. Modern Power Electronics and AC Drives. Prentice Hall PTR,New Jersey 2001

[4]. Vas P. Sensorless vector and direct torque control. Oxford University Press, 1998

[5]. Alnasir Z.A., Almarhoon A.H., Design of Direct Torque Controller of Induction Motor (DTC)., International Journal of Engineering and Technology (IJET) “Fundamental Sciences and Aplication”, Vol 4, No 2, Apr-May 2012, pp. 54-70, ISSN: 097

[6]. G. Serra, A. Tanni, and L. Zarri, Assessment of direct torque control for induction motor drives, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, Vol. 54, No. 3, 2006, pp. 237-254

[7]. Marinov E., Lutskanov K., Zhekov Z. Sensorless Vector Control of Induction Motors. ICEST 2007, Ohrid, 2007, Vol.2, pp. 553÷556

[8]. Маринов Е., Жеков Ж. Асинхронно електрозадвижване с безсензорно директно векторно управление. Годишник на ТУ-Варна, 2007г., стр.124÷129

За контакти:

инж. Емил Маринов, доцент д-р в катедра”Автоматизация на производството” при ФИТА на ТУ-Варна, e-mail: marinov52@mail.bg

инж. Живко Жеков, асистент в катедра ”Автоматизация на производството” при ФИТА на ТУ-Варна, e-mail: fitter@abv.bg

инж. Цветомир Тодоров, гл. асистент в катедра ”Автоматизация на производството” при ФИТА на ТУ-Варна, e-mail: tsvetomir.ttodorov@gmail.com

Рецензент:

доц. д-р инж. Марин Маринов - ТУ-Варна

ADVANCES IN SYTHESIS,DEPENDANCE OF VAPRIZATION OF MICRON SIZED PARTICLES IN THERMAL PLASMA AND THEIR APLICATION IN FUEL CELLS

G.Vissokov , K. Georgieva, Tz.Tzvetcov

Abstract: Proved the efficiency of plasma chemical technologies in synthesis of materials basic for SOFC technologies we have put our attention on optimizing the proses of plasma chemical installation we operate. Optimizing the parameters of plasma chemical installation , using powders of micron size as raw material we aimed obtaining of uniform distribution in the size of nano particles There have been considered schemes for vaporization of micron-sized particles in electric arc and high frequency inductive thermal plasma reactors (HFI). Making use of the set of equations (RCF-method), we performed calculations for vaporization process of the following oxides: Al_2O_3, CaO, CuO, Fe_2O_3, MnO_2, MoO_3, NiO, SiO_2, TiO_2, ZrO_2, MgO. When modeling the process, one usually consider the most unfavorable case of vaporization, taking in account the largest micron particle diameter. Comparison is made between the calculated literature data and specific research results in thermal plasma .

Keywords: fuel cells , nanodispersed powders, temperature profile ,vaporization, velocity profile.

I. INTRODUCTION

In modern society there is a growing interest in new materials, which increases the need for plasma surface treatment, deposition techniques and nano particle synthesis. Proved the efficiency of plasma chemical technologies in synthesis of materials basic for high temperature fuel cells components technologies we have put our attention on optimizing the proses of plasma chemical installation we operate. Example can be given with the nano-structured electrodes used in SOFC. They have very unique micro structures: each large agglomerate consists of smaller ones, which in turn contains even smaller particles. The resulting porous structures have large pores for rapid gas transport and extremely large surface area for fast electrochemical reactions. SOFCs with these electrodes have shown very low interfacial polarization resistances at intermediate temperature [1]. It is also known that one can use LTP to produce condensed-phase compounds (metals, oxides, nitrides, spinel materials, etc.) that have highly developed specific surface with the size of their nanodispersed particles (NDPs) of the order of few tens of nanometers. These compounds manifest high catalytic activity and high temperature resistance [2]. When the PCS of NDPs is accompanied by chemical reactions, and when an effective quenching of the reaction products takes place at rate $dT/d\tau = 10^5 – 10^6$ K s^{-1}, then conditions are created for condensation of NDPs with an unusual distribution of the additives, degenerated crystal structure and numerous defects in the crystal lattice; these also exhibit high catalytic activity in heterogeneous catalytic processes [4], According to Roginskiy's theory of over-saturation [3], material obtained under the conditions of energy over-saturation must possess increased catalytic activity. The extent of energy over-saturation of a system increases with the increase in the rate of heat transfer to the system, according to the following equation:

$$dQ/d\tau = \alpha(T_1 – T_2)dF_1, \quad (1)$$

where T_1 is the temperature of heat carrier (plasma in the case considered here) and T_2 is the temperature of the heated substance (micro-size particles), dF is the surface separating plasma and particles. If one assumes that the material treated is of spherical shape with radius R, then the specific surface of particles belonging to different fractions will be inversely proportional to their radious

$$F_1/F_2 = R_2/R_1, \quad (2)$$

or, the smaller the particle the higher their specific surface. However, decreasing the particles size is only reasonable to a certain limit, defined by Biot's criterion

$$Bi=\alpha R/\lambda=(R/\lambda)/(1/\alpha), \quad (3)$$

where λ is the particle's coefficient of heat conductivity and α is the coefficient of heat transfer from the heat carrier to the particle. The numerator in equation (3) characterizes the resistance to heat propagation from the surface to the center of the particle, and the denominator, that to transfer of heat from the heat carrier to the particle's surface. When **R** is large, the heat-transfer process is limited by the heat resistance of the particle, and inversely, for small **R**, by the heat resistance of the phase interface. There obviously exists a value of **R** for which the two quantities are equal

$$(Bi = 1)\ R=\lambda/\alpha \quad (4)$$

To create the maximum energy over-saturation, the raw material used must be pre-dispersed to a particle size as close as possible to that defined by equation (4). The high activity with respect to atmospheric oxygen and water vapour that plasma synthesized nano particles exhibit can be explained by the peculiarities of their crystal structure formed under the conditions of LTP. The abrupt cooling upon quenching of the plasma jet leads to the formation of less then perfect crystal lattice with a large number of vacancies. As a rule, defective crystal structures are characterized by enhanced surface activity and for this reason oxygen is actively chemisorbed on such nano particles. There are no conditions for rapid chemisorption and heat transfer so that the particles used as catalyst or cathodes in SOFC are heated . The increased dispersion enhances the occurrence of these processes. Electric-arc plasma reactors find wide application in various technological processes. The application of multi jet electric-arc reactors is characterized by the combination of the possibility of building up rather simply the power of a heating unit with the possibility of controlling the gas dynamic and thermal structure of the flows formed and the conditions of mixing of the flows with raw material.

The assumption for the limiting role of the stage of condensed-phase vaporization in heterogeneous PCP has found wide acceptance. An important consequence of the assumption is that, besides ensuring suitable thermodynamic conditions (temperature, reagents ratio), one has to guarantee also sufficient time of residence of the particles in the PCR so that they are completely vaporized. The presence of these conditions will allow one to synthesize the product desired in gas phase. The above makes obvious the necessity of modeling the particles' vaporization process [2]. One could thus obtain sufficiently accurate data to determine the process' optimal parameters, such as, PCR dimensions, time of residence of the particles in it, temperature profile along the reactor's axis, temperature in the zone near the walls, temperature of the reactor wall, etc. Surface reactions, if allowed under the specific thermodynamic conditions, take place as early as the first contact of the particles with the heated gas The formation of a film of the product on the particles' surface during the initial heating periods could somewhat slow down the vaporization during the subsequent stages and thus reduce the reaction rate. Depending on the particles size, the pressure and the medium composition, the vaporization, and the simultaneous chemical reactions, may take place in a diffusion (Kn < 1), kinetic (Kn > 1) or intermediate (Kn 1) mode. At the high rates of particles heating and vaporization, and for the short times of residence in the reaction volume, internal diffusion practically cannot take place.[4]. Such a situation may be observed in the processing of coarsely-dispersed powders, or in the cases when the time it takes to heat the particles up to the point of intensive vaporization exceeds the total time of the chemical reaction. The fast heating of the initial particles up to the vaporization point is, therefore, a condition ensuring the reaction taking place in gas phase and, consequently, a more complete implementation of the entire process. The high-melting-point product formed on the surface of the coarsely-dispersed particles is in small amount and cannot be a serious impediment to the vaporization [5]. The non-equilibrium nature of the phenomena that accompany it, as well as large number of determining factors and their complex interactions, led to a number of simplifications, which do not change the essence of the process computational model, but lower its precision.

II. DETERMINATION OF THIME RESIDENS OF COMLEX OXIDES IN PHR

1. Process modeling

In order to perform good predictable capabilities of our plasma process experiments, 2Dt simulation has been carried out. The development of the models describe the motion, heating, melting and vaporization (thermal destruction) of micron-sized particles in an axially symmetric PCR allows one to obtain sufficiently accurate data, that we used to determine the optimal PCP parameters. We determine PCR size, time of residence of the particles in it, temperature and velocity profiles in PCR with "cold" (T_w = 500 K) and "warm" (T_w = 1 500 K) walls, particles diameter variation along the PCR axis, etc. Vissokov and co-workers [1,2] developed three-dimensional models for an axially symmetric PCR, which allowed the authors to obtain the profiles of the plasma (gas) velocity, density and temperature in the plasma generator , together with the spatial and temporal characteristics of the motion, heating, melting and vaporization (thermal destruction) of the micron-sized ingredient particles in the PCR and to compare them with the concrete experimental results. To model the hydrodynamic and heat-exchange processes we use like base equations describing the motion of the gas in cylindrical coordinates in PCR determined by its geometry.

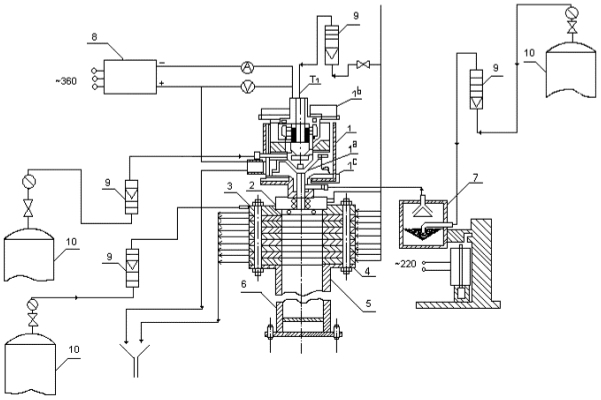
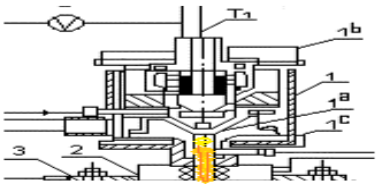


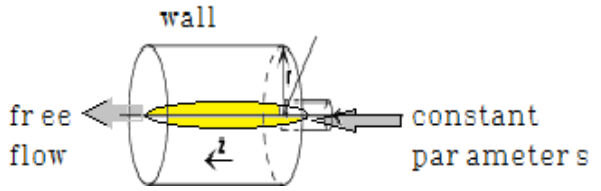
Fig 1.Plasma Chemical Installation

The conservation equations in cylindrical coordinates describe this example considering the flux corrected transport procedure we solved a generalized transport equation.

$$\frac{\partial R}{\partial t} + \nabla(WR) + \nabla P - \nabla Q = S \qquad (5)$$



a) Overall vew of the reactor



b) Schematic diagram of plasmatron and PCR used for the calculation of an axially symmetry boundary conditions are discussed in the text.

Fig 2.Plasma Chemical Reactor

Formally, the FCT procedure comprises the five main steps , but step four is limiting (the anti-diffusion fluxes) which is the algorithm's most important part that is the non-linear (a min-max procedure). In the case of smooth gradients, the solution with high class of accuracy is taken, while when there is danger of Gibbs oscillations, the anti-diffusion fluxes are limited in such a manner as to ensure non-negative densities.A limiting case of step 4 is the total canceling of the anti-diffusion fluxes, when one obtains a solution with 2-nd degree of accuracy plus additional diffusion [1]. The FCT is thus reduced to an additional diffusion technique applied to the region of particularly large gradients. As a whole, the method is of 2-nd to 4-th degree of accuracy. The algorithm's most important part is the non-linear step 4 (a min-max procedure). Let us denote by ***x*** and ***y*** any of the coordinates (Cartesian, cylindrical or spherical); the second index will be omitted. Let us then number by ***i+1/2*** each quantity between points ***i*** and ***i+1***. Since all quantities are defined at the grid points, for the value of a given quantity at ***i+1/2*** we assume the arithmetic mean is $B_{i+1/2,\,k} = \frac{1}{2}\left(B_{i+1,\,k} + B_{i,\,k}\right)$ Following these notations, we can write equation in a discretized form, in accordance with FCT for solution with high degree of accuracy: $R_j^{\text{final}} = R_j - \frac{A^C_{j+1/2} - A^C_{j-1/2}}{\Delta x_j \cdot G_j^W}$ (6) where, $\Delta x_{i,\,k} = \frac{1}{2}\left(x_{i+1,\,k} - x_{i-1,\,k}\right)$, (7) and $\delta x_{i+1/2,\,k} = \frac{1}{2}\left(x_{i+1,\,k} - x_{i,\,k}\right)$ (8) ***G*** are weight factors specifying the types of coordinates used. If we now denote the temporal step by δt and the dimensionless transport factor, by $\varepsilon_{j+1/2} = \frac{\delta t \cdot W_{j+1/2}}{\delta x_{j+1/2}}$ (8) so we can write down the convective, diffusion and anti-diffusion fluxes, as well as the fluxes due to the pressure and the generalized diffusion (e.g., viscosity, heat-conduction, etc.). The original limiter was subsequently generalized by Zalesak's limiter: $A^C_{j+1/2} = A_{j+1/2} \cdot C_{j+1/2}$ (9) Than taking Boris and Book's limiter is a limiting case of Zalesak's limiter one should assume $R^{\max}_{(\min)} = \max_{(\min)}\left(R^{TD}_{j\pm1}, R^{TD}_j\right)$ (10) and, before applying equation (9), consider the so-called Zalesak's, corrector the following equation

$$A^C_{j+1/2} = 0 \quad A_{j+1/2} \cdot \left(R^{TD}_j - R^{TD}_{j-1}\right) < 0$$

$$A_{j+1/2} \cdot \left(R^{TD}_{j-1} - R^{TD}_{j-2}\right) < 0 \text{ or } A_{j+1/2} \cdot \left(R^{TD}_{j+1} - R^{TD}_j\right) < 0 \quad (10)$$

Boris and Book's limiter allows one to construct a fast and efficient code. However, it cannot be applied to more than one dimension; in contrast, Zalesak's limiter can be expanded naturally to two and more dimensions. Two-dimensional Zalesak's limiter:

$$A^C_{i+1/2,\,k} = A_{i+1/2,\,k} \cdot C_{i+1/2,\,k} \qquad A^C_{i,\,k+1/2} = A_{i,\,k+1/2} \cdot C_{i,\,k+1/2}$$

The two-dimensional limiter would yield unsatisfactory results when applied to the case of material transport in a direction normal to a large gradient. This is why we first treated the anti-diffusion fluxes by a one-dimensional limiter and then fed the results to the input of a multi-

dimensional limiter. As we pointed out above, the spatial implementation of FCT is of 2-nd - 4-th degree of accuracy. This makes it obligatory for us to use a time step of at least 2-nd degree of accuracy. Let us denote the procedure for calculating the generalized velocity, pressure and diffusion by ; by W,P,Q= R(P), by (11) $R^f = FCT(R, W, P, Q, \delta t)$ the FCT algorithm that allows one to calculate the generalized densities after time ∂t; and by S= R (S), the various sources and drains (reaction rates). An algorithm of second degree of accuracy with respect to the time will then have the form :

Half temporal cycle
$W^0, P^0, Q^0 = \mathrm{P}(R^0)$
$R^{1/2}_{S=0} = FCT\left(R^0, W^0, P^0, Q^0, \frac{\delta t}{2}\right)$

$R^{1/4} = \frac{1}{2}\left(R^0 + R^{1/2}_{S=0}\right) + \frac{\delta t}{4}\mathrm{S}\left(R^0\right)$
$R^{1/2} = R^{1/2}_{S=0} + \frac{\delta t}{2}\mathrm{S}\left(R^{1/4}\right)$
Application of boundary conditions *Full temporal cycle*
$W^{1/2}, P^{1/2}, Q^{1/2} = \mathrm{P}\left(R^{1/2}\right)$
$R^f_{S=0} = FCT\left(R^0, W^{1/2}, P^{1/2}, Q^{1/2}, \delta t\right)$
$R^{1/2} = \frac{1}{2}\left(R^0 + R^f_{S=0}\right) + \frac{\delta t}{2}\mathrm{S}\left(R^0\right)$
$R^f = R^f_{S=0} + \delta t \cdot \mathrm{S}\left(R^{1/2}\right)$

2. Results and discussion

The complexity of the FCT algorithm requires a very careful testing of the software package constructed. Since there are no test examples for direct application to the streamer problem, we had to check the model's adequacy on known fluid-dynamic cases. We solved he set of equations describing the motion of the gas, by imposing the initial and boundary conditions of axially symmetric of PCR.On figure (2) we present the temperature profile of the electric-arc plasmatron used by Vissokov and co-workers (cathode-anode distance of 10 mm and diameter of the anode-nozzle channel of 5 mm). The calculations were performed for a flow rate of the plasma-forming gas (argon) of 2 m3/h using the equations model. The velocity profile calculated of the same electric-arc plasmatron is shown in Fig. (3)On the following diagrams one can see that while the velocity of the high-enthalpy gas varies insignificantly along the plasmatron axis the gas velocity drops sharply along the axis of a CW or WW PCR (Figs. 3 and 4). Figure 1 illustrates the temperature profile calculated for a "cold" wall PCR (T_w = 500 K) under the following initial conditions: flow rate of the plasma-forming gas (argon) of 2 m3/h; D_{PCR} = 2 cm; Z = 10 cm; W_{pl} = 15 kW. The conditions are similar for a "warm" wall plasmatron (Fig.2) The developed package allows visualization of picture of calculated gas flow in in plasma apparatuses and determination of its temperature fields .Our observations demonstrate that if for the case of iron particles fed radially into a PCR with mass consumption of 150 g/h, the particles with d = 10 μm are totally vaporized before moving 4 cm away from the PCR input; those with d = 15 μm are vaporized, with few exceptions, within the reactor; while for d = 30 μm, the particles are not completely vaporized. Therefore, a PCR with these dimensions and geometry as in our case should be employed for the vaporization of iron particles with equivalent diameter below 10 μm concordant with the calculations made.

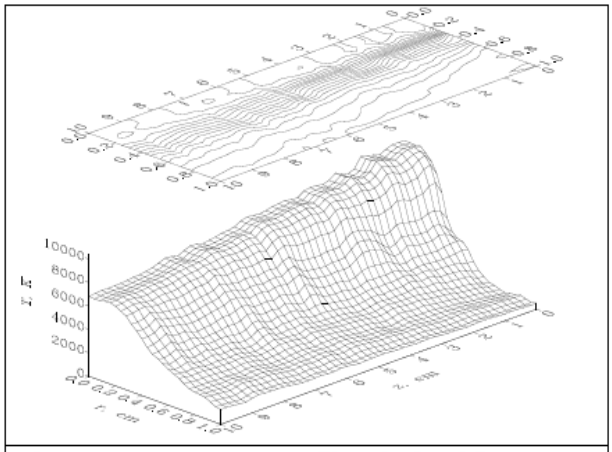


Figure . 1. *Temperature* profile calculated for an CW PCR (T_w = 500 K), isotherms drawn each 500 K

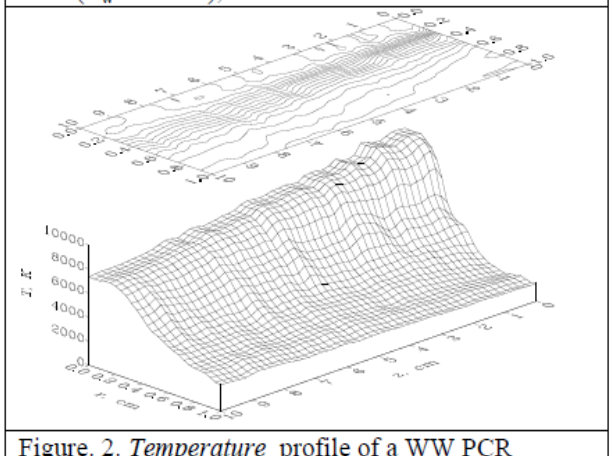


Figure. 2. *Temperature* profile of a WW PCR (T_w = 1 500 K), isotherms drawn each 500 K

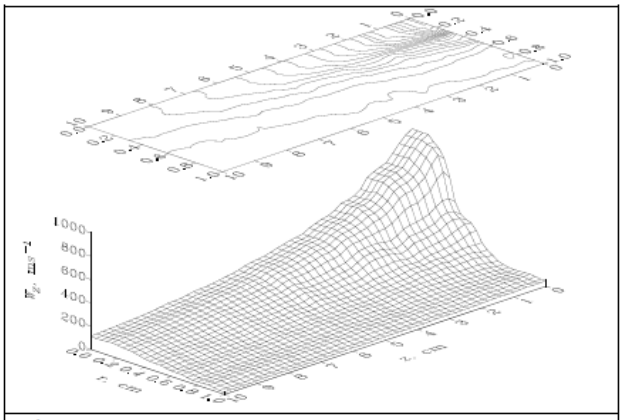


Figure. 3. *Velocity* profile calculated of a CW PCR (T_w = 500 K)

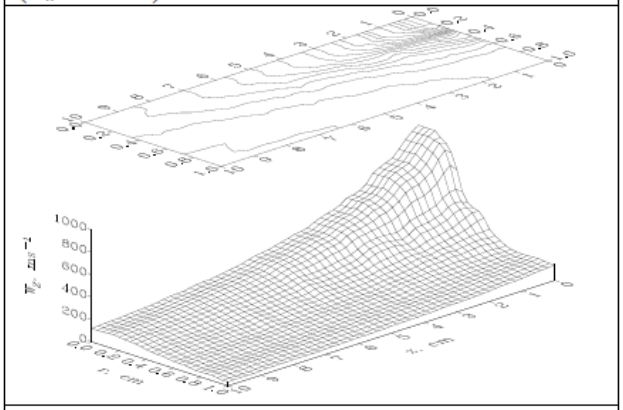


Figure. 4. *Velocity* calculated profile of a WW PCR (T_w = 1 500 K)

III. CONCLUSIONS

The axial plasma temperature distribution allows to estimate the thickness of the thermal boundary layer near the electrodes. In order to select appropriate experimental conditions (PCR length and diameter, ingredients' and granulometry) for PC preparation (activation of spent samples) of nano-dispersed catalysts for steam convertion of methane (natural gas reforming), we calculated by means of the technique described above the for motion, heating, melting and vaporization of micron-sized particles (d_{eq} = 10, 15, 20, 25, 30 и 35 μm) of Ni, NiO, Al, Al_2O_3, CaO, Mg and MgO in CW and WW PCR. The results of the model calculations performed agree well with the results of the synthesis of nanodispersed powders and/or regeneration of catalysts. Thus, the structures of reactors with channel diameters of 5–10 cm and anode nozzles of 2–5 cm provide a high efficiency of mixing in the case of their radial injection, which favors the equalization of heat, bearing in mind the time of residence and the size of the particle. Summarizing we can say that advantages of the obtained nano particles are :high specific surface, homogenous distribution of the components in the specimens contributing of lowering their sensitivity constant composition to poisons, possibility of forming strictly constant composition guaranty for selectivity and the possibility of control of dispersion and composition in wide range via variation of plasma-chemical parameters. The quenching can be accompanied by chemical reaction and nano particles are prepared with various defects in the crystal structure facilitating ion transport in high temperature fuel cells and catalytic activity on faze boundaries of cathode and anode .Their high temperature resistance also points toward their potential to industrial application. Future investigation should aim study of specific processes of condensation and crystallization of nano dispersed phases in plasma chemical reactor under non-equilibrium conditions. Their application in high temperature fuel cell as all parameters and lab investigation already have shown their perfect physicochemical parameters for the purpose sofc or other fuel cell basic material.

REFERENCES:

[1]. Vissokov G, Pirgov P, Ultra dispersed powders , Sofia, Polyprint, 1998, pp. 396 (in Bulgarian).
[2]. Vissokov, G.P., Plasma Nanotechnologies nanopowders: preparation, properties, applications, Sofia, Publ. House St. Iv. Rilski, 2005, pp. 303.
[3]. Y. C. Wei,B.Farouk, and D. AC.Apelian, *Plasma Processing Synthesis Mater.*, *98*, 41–47
[4]. Y. Lee and E. Pfender, *Plasma Chem. Plasma Processing*, **7**, No. 1, 1–27 (1987).
[5].A. Dilawari and J. Szekely, *Plasma Chem. Plasma Processing*, **7**, No. 3, 317–339 (1987).1208.
[6] Boris, D. L. Book. J.*Conlp.PhyS*.11 (1973) 38.
[7] S. C. Singhal, "Advances in Solid Oxide Fuel Cell Technology," *Solid State Ionics*, 2000, 135, 305-313.

Contacts:

Kalina Georgieva, Institute of catalisys of Bulgarian Academi of Science,bul Acad.Bonchev 11, Bldg. 11, Sofia 1113, Bulgaria
Phone: +359+2+979 2550 ,
Email:Kgeorgbas@gmail.com
dimovabas@gmail.com

Reviewer:

Assoc. Prof. Dr. Eng. Bohos Aprahamian, TU-Varna

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОБЪЕКТАХ БЮДЖЕТНОЙ СФЕРЫ

ANALYSIS METHODS TO REDUCE ENERGY LOSSES IN OBJECTS BUDGET SPHERE

Владимир Е. Семин, Виктор М. Дашков

Аннотация: В представленной работе рассматриваются и анализируются некоторые из наиболее распространенных методов энергосбережения применительно к объектам бюджетной сферы. Проведённый анализ показывает нецелесообразность использования одних методов в виду малого экономического выхода, а также эффективность других при соблюдении определённых условий и ограничений.
Ключевые слова: компенсация, коэффициент загрузки, реактивная мощность, стабилизатор напряжения, трансформатор.

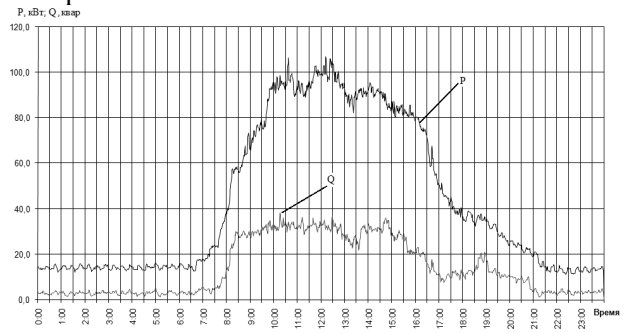
Abstract: In the present paper discusses and analyzes some of the most common methods of energy saving in relation to the objects of the budget sphere. The analysis shows the unreasonableness of using certain methods in the form of small economical output, as well as the effectiveness of the other, subject to certain conditions and restrictions.
Keywords: compensation, the load factor, reactive power, voltage stabilizer, transformer.

I. ВВЕДЕНИЕ

Основным документом, который выдается по результатам аудита, является энергопаспорт. В свою очередь в паспорте должны указываться мероприятия по энергосбережению для конкретного объекта. Необходимо учитывать, что в зависимости от исследуемого объекта некоторые рекомендуемые мероприятия могут оказаться неэффективными. На основе анализа результатов обследований электрической части ряда предприятий и объектов бюджетной сферы, которые проводились в рамках энергетических обследований, можно сформулировать некоторые особенности и проблемы выбора мероприятий по экономии электроэнергии.

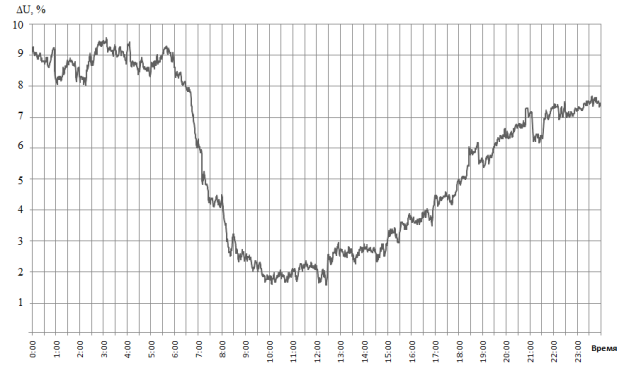
II. ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Во многих директивных документах, научной литературе или в перечне мероприятий (реестрах) приводятся рекомендации по поддержанию в характерных точках систем электроснабжения напряжения близкого к номинальному [1,2,3]. Указанное мероприятие на большинстве объектов бюджетной сферы (школа, высшие учебные учреждения и т.п.) не приводит к существенной экономии электроэнергии. Об этом свидетельствует анализ суточных графиков потребления электроэнергии. На рисунке 1 приведён график нагрузки, а на рисунке 2 график отклонения номинального напряжения для рабочего дня одного из учебных корпусов высшего заведения г. Самары.



Фиг. 1 . Активная и реактивная нагрузки учебного корпуса А

Основными потребителями электроэнергии в рассматриваемом объекте являются лабораторное оборудование, персональные компьютеры, осветительные приборы, бытовые холодильники, приборы, работающие в ждущем режиме.



Фиг. 2. Отклонение напряжения у потребителей учебного корпуса А

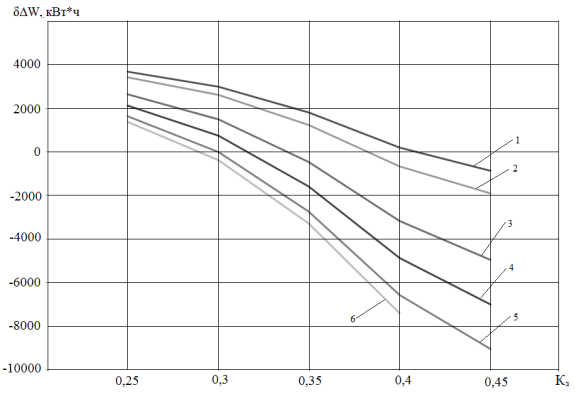
Применение стабилизаторов и ограничителей перенапряжения не всегда технически возможно, так как сеть системы освещения и силовой нагрузки подключены к одному защитному аппарату (автоматический выключатель или предохранитель). Даже если приобрести и установить стабилизатор напряжения, то его эффективность окажется низкой, из-за очень малой величины нагрузки в периоды с 0^{00} – 7^{00} и с 17-19^{00} до 24^{00} , когда фактическое напряжение на зажимах источников света выше рационального.

Поддержание величины напряжения на уровне номинального напряжения за счет изменения коэффициента трансформации ($К_т$) силового трансформатора 6-10/0,4 кВ, то есть за счет переключения устройств ПБВ не всегда возможно, так как во многих случаях от одной трансформаторной подстанции (ТП) получают электроэнергию потребители, находящиеся на разной удалённости от неё.

В работах [1,2] указывается еще один способ экономии электроэнергии – замена недогруженных трансформаторов трансформаторами меньшей мощности. Действительно, фактический коэффициент загрузки трансформаторов, находящихся на балансе объектов бюджетной сферы, ниже рекомендуемой ПУЭ и другими нормативными документами (0,6-0,8). Это ведёт к увеличению потерь электроэнергии. Например, на одной из ТП университета города Самары коэффициент загрузки составляет 0,2-0,3.

Расчёты показывают, что при замене трансформатора мощностью 1000 кВА на трансформатор 630 кВА потери электроэнергии в трансформаторе малой мощности могут превышать потери в недогруженном трансформаторе. На рисунке 3 приведены данные расчётов по определению целесообразности замены трансформаторов 1000 кВА на трансформатор 630 кВА для различных значений времени максимальных потерь τ.

Из рисунка 3 видно, что экономия электроэнергии при замене недогруженных силовых трансформаторов 6–10/0,4 кВ за счёт снижения потерь электроэнергии значительно уменьшается при увеличении времени максимальных потерь. Наиболее эффективным будет замена недогруженного трансформатора при коэффициенте загрузки $К_з<0,3$, а так же при времени максимальных потерь $\tau<3000$ ч.



Фиг. 3. Зависимость изменения величины потерь электроэнергии δΔW в силовых трансформаторах от коэффициента загрузки $К_з$ при замене недогруженного трансформатора мощностью 1000 кВА трансформатором мощностью 630 кВА при времени максимальных потерь, τ: 1 – 3000 ч; 2 – 3500 ч; 3 – 5000 ч; 4 – 6000 ч; 5- 7000 ч; 6 – 7500 ч;

Другим мероприятием, рекомендуемым многими авторами и нормативными документами, является применение компенсирующих устройств (КУ) [4]. В [1] отмечается, что наиболее целесообразно устанавливать компенсирующие устройства в сетях до 1000 В.

В таблице 1 приведены результаты расчетов для системы электроснабжения цеха, состоящей из трансформатора ТМЗ 400-10/0,4 и кабеля питающего этот трансформатор ААБ-3х120 протяжённостью 1,1 км, а так же для системы, состоящей из трансформатора ТМЗ 1600-10/0,4 и кабеля питающего этот трансформатор протяжённостью 500 м до и после установки компенсирующих устройств, при одинаковых коэффициентах загрузки $К_з=0,6$.

Табл. 1

Тип трансформатора	ТМЗ 400-10/0,4		ТМЗ 1600-10/0,4	
Установка КУ	До установки КУ	После установки КУ	До установки КУ	После установки КУ
Полная мощность нагрузки S, кВА	250	179,7	960	717
cosφ	0,68	0,946	0,69	0,948
Реактивная мощность нагрузки Q, квар	183,3	58,3	677	277
Потери активной мощности в СТ $\Delta P_{тр}$, кВт	2,148	1,11	6,48	3,616

Потери реактивной мощности в СТ $\Delta Q_{тр}$, квар	7,031	3,634	31,68	17,67
Полная мощность передаваемая по кабелю $S_{кл}$, кВА	263,8	186,6	1019	744,4
Потери активной мощности в силовом кабеле $\Delta P_{кл}$, кВт	0,2	0,099	1,014	0,544
Потери электроэнергии в силовом кабеле за год $\Delta W_{кл}$, кВт·ч	539,7	275,7	2737	1459
Потери электроэнергии в СТ за год ΔWтр, кВт·ч	10340	5283	60580	32290
Суммарные потери электроэнергии в системе ΔW, кВт·ч	23580	18260	92220	62660
Экономия электроэнергии Wэ, кВт·ч	5322		29570	
стоимость сэкономленной электроэнергии Сэ, руб	26608		147850	
стоимость КУ, руб	80800		242400	
Окупаемость мероприятия, год	2,963		1,64	

III. ВЫВОДЫ

1. Применение стабилизаторов напряжения и ограничителей перенапряжения неэффективно для подавляющего большинства объектов бюджетной сферы ввиду характерного графика нагрузки, а обеспечения рационального значения напряжения с помощью устройств ПБВ для всех потребителей не всегда возможно.

2. При решении вопроса о замене недогруженных трансформаторов трансформатором меньшей мощности необходим обязательный учёт времени максимальных потерь для конкретного объекта.

3. Установка компенсирующих устройств в сетях с напряжением до 1000 В считается экономически оправданной при больших значениях потребляемой реактивной мощности.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. *Гольдштейн В. Г. Кубарьков Ю.П. Молочников Е.А. Халилов Ф.Х.* Снижение потерь электроэнергии в системах электроснабжения в свете пересмотра нормативов инструкций и методик по их расчёту и обоснованию // Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды третьей международной научно-технической конференции: сборник статей. В 2 т. Екатеринбург: УрФУ, 2012. Т. 2 С. 373-378

[2]. Примерный перечень мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, который может быть использован в целях разработки региональных, муниципальных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности (утверждён приказом Минэкономразвития)

[3]. *Кунгс Я.А.* Автоматизация управления электрическим освещением. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 112 с.

[4]. *Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В.* Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. – 280 с.

Контакты:

Семин Владимир, студент кафедры ”АЭЭС” в ФГБОУ ВПО СамГТУ, г. Самара,
ул. Молодогвардейская, 244

Доцент Виктор Дашков, доцент кафедры «Электрические станции» ” в ФГБОУ ВПО СамГТУ, г. Самара,
ул. Молодогвардейская, 244

e-mail: coffin-vs@yandex.ru

Рецензент:

д-р инж. Майк Щреблау - ТУ-Варна

СЕКЦИИ

- **ПРОБЛЕМИ НА ОБУЧЕНИЕТО ВЪВ ВИСШЕТО ОБРАЗОВАНИЕ**
- **ПРОФЕСИОНАЛНО ОБУЧЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ЗА ВЕТРОВА ЕНЕРГЕТИКА**

SECTIONS

- **PROBLEMS OF HIGHER EDUCATION AND TRAINING**
- **VOCATIONAL EDUCATION AND TRAINING IN WIND ENERGY TECHNOLOGIES**

РАЗВИТИЕ НА ИНТЕРАКТИВНИ И ЕЛЕКТРОННО БАЗИРАНИ МЕТОДИ НА ПРЕПОДАВАНЕ ВЪВ ВИСШИТЕ УЧЕБНИ ЗАВЕДЕНИЯ

DEVELOPMENT OF INTERACTIVE AND ELECTRONIC BASED METHODS OF TEACHING IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Александрина И. Банкова

Резюме: В настоящата статия е представено развитието на електронните форми на обучение, ориентирано към ефективното и целесъобразно използване на съвременните информационни и мрежови технологии. Разгледани и анализирани са характеристиките на електронното обучение на базата на които е направена съпоставката между стандартния начин на преподаване и с използване на електронни образователни средства. На базата на направените проучвания са обобщени очакваните резултати от развитието и изпълването на интерактивния образователен модел на преподаване в университетите.
Ключови думи: електронно обучение, интерактивни методи, ,модел, средства.

Abstract: In this article we present the development of electronic forms of learning-oriented effective and appropriate use of modern information and network technologies. Reviewed and analyzed the characteristics of e-learning on which the comparison is made between the standard way of teaching and the use of electronic educational resources. Based on the study are summarized the results expected from the development or use of the interactive educational model of teaching in universities.
Keywords: e-learning, interactive methods, model vehicles.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

С бурното развитието на технологиите и появата на нови области на научно познание е необходимо да се осъществи качествена промяна в образователните модели и въвеждането на нови средства за образование. Нарастват изискванията към знанията, уменията и компетенциите на младите, вече приключили обучението си специалисти, а заедно с тях се повишават и критериите за подбор на персонала. На този фон, надеждите за оптимизиране на обучението и подготовката на квалифицирани кадри са съсредоточени в Интернет базираните решения и електронните средства за обучение и самообучение.

Необходимо е да се осъществи качествена промяна в образователните модели и въвеждането на нови средства за образование. Новите форми на образование се характеризират с интерактивност и сътрудничество в процеса на обучение. За повишаване на качеството на образование се предполага интензивно използване на нови образователни технологии.

Основна цел е въвеждането на допълнителни иновационни образователни методи и технологии в учебния процес и обогатяване на учебното съдържание, което ще повиши качеството на образованието и обучението на студентите във висшите учебни заведения.

В последните години се чувства нужда от разработване на нови концепции за обучение, навлизането на интерактивните методи за обучение. Те са известни отдавна в образованието, но сега са особено актуални като съвременен модел за изграждане на образователния диалог. Редица техни особености се дължат на постановките, които определят същността им.

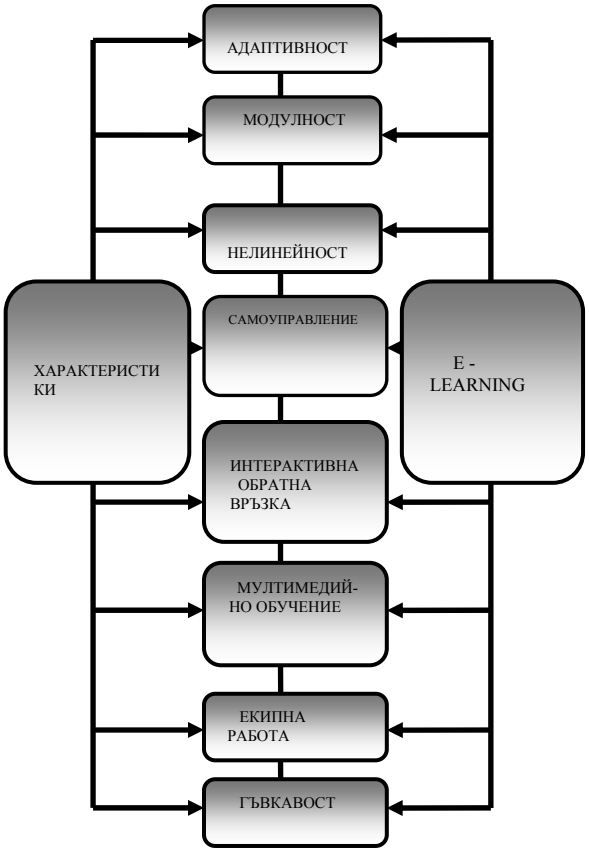
Подобни интерактивни и електронно базирани допълнителни методи на преподаване се използват в много университети в Обединеното кралство, САЩ, както и по целия свят. Изграждането, инсталирането и интегрирането на цялостна електронна инфраструктура във ВУЗ-те дава възможност да се прилагат всички необходими функционалности и технически възможности за предлагане на качествено и съвременно образованиеот една страна, и от друга да се утвърдят като динамично развиващи се университети, отговарящ на актуалните потребности на своите студенти.

Важно е да се подчертае, че не се цели изнасяне на обучението в електронна среда.

Чрез внедряването на форми на електронно обучение студентите ще бъдат не само в по-висока степен ангажирани към учебния процес, но ще могат да ползват за целите на своето обучение и самоподготовка по-богат набор от учебни материали. Със

средствата на мобилните технологии ще имат възможност за бърз достъп и по всяко време до теоретични и практически модули. Ще могат да свалят учебни материали и помагала през мобилните си телефони. По този начин, разполагайки с богат набор от интерактивни учебни помагала, достъпни по всяко време, ще имат възможността да се връщат, да преосмислят и да затвърждават наученото, което ще подпомогне усвояването на обемни и важни материи.

II. ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕКТРОННОТО ОБУЧЕНИЕ.



Фиг. 1. Основни характеристики на електронното обучение

1. Модулност на електронното обучение
Възможност от набор независими учебни курсове да се формира учебен план, отговарящ на индивидуални или групови потребности.

2. Нелинейност на електронното обучение
Потребителят има свободата да се обучава в последователност, която той сам си избира. Тя обикновено зависи от неговите познания в съответната област.

3. Адаптивност на електронното обучение
Настройване на учебното съдържание според нуждите на потребителя и неговия профил, така че да се постигне максималната възможна персонализация. Така се постига оптимизиране на учебния процес. Като водещи параметри, в случая, се използват: предварителните познания на обучаемия, начина му на учене, целите, опита и др.

4. Самоуправление на електронното обучение
Потребителите сами могат да решават как да протече процеса на обучение. Това става следвайки структурата на учебния материал заложена от преподавателя. Обучаемите също така могат и да променят траекторията си според възможностите за възприемане на нов материал по т.нар. нелинеен способ.

5. Интерактивна обратна връзка в електронното обучение
Средите за електронно обучение взаимодействат с потребителите, чрез средства за обратна връзка и по този начин ги подпомагат при възприемане на материала и в самото обучение.

6. Мултимедийно обучение
Средите за електронно обучение предоставят богати възможности за използване на мултимедия. Едно от предимствата на мултимедията е, че тя привлича и задържа интереса на обучаемите.

7. Гъвкавост на електронното обучение
Електронното обучение е достъпно по всяко време, когато потребителят има желание да учи или да намери отговора на специфичен въпрос. Времето за усвояване на конкретни знания не е ограничено.

8. Адекватност на електронното обучение
Възможностите за динамична промяна на учебното съдържание в online режим, позволяват на обучаемите навреме да разполагат с последните версии на учебното съдържание и така да получават по-качествено обучение.

9. Лесна поддръжка на електронното обучение
За работа в електронно-обучаваща среда се изисква единствено наличието на браузър.

10. Екипно обучение
С използването на електронното обучение, става възможно обучаемите да контактуват един с друг и със съвместни усилия да търсят решението на поставените задачи за групова работа. За реализиране на групово обучение

средите трябва да разполагат с модули за синхронна и асинхронна комуникация.

III. РАЗЛИЧИЯ НА ЕЛЕКТРОННАТА ФОРМА НА ОБУЧЕНИЕ ОТ ТРАДИЦИОННАТА

1. Обхват на електронното обучение.

Едновременно общуване с много източници на учебна информация (електронни библиотеки, бази данни и т.н.) на голяма количество обучаеми. Общуване чрез чрез комуникационни мрежи на обучаемите и техните преподаватели.

2. Икономичност на електронното обучение.

Ефективното използване на учебни площи и технически средства, концентрираното и унифицирано представяне на учебната информация и мулти достъпа до нея значително съкращават разходите за подготовка на специалисти.

3. Технологичност на електронното обучение.

Използването в образователния процес на нови информационни технологии, създава условия за по-бързо, ефективно и прагматично усвояване на учебния материал.

4.Социално равноправие при електронното обучение

Равни възможности за получаване на образование независимо от местоживеенето, състоянието на здравето и материалната осигуреност.

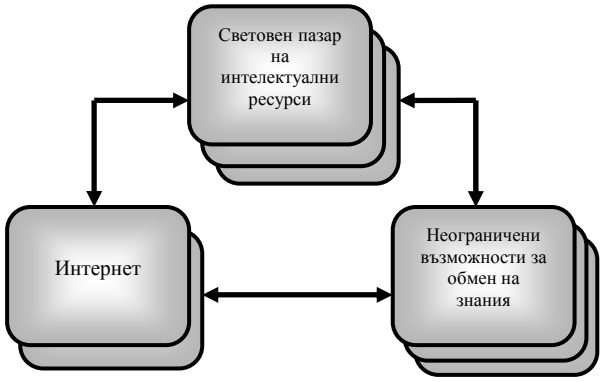
5. Интернационалност на електронното обучение.

Експорт и инпорт на международните постижения на пазара на образователни услуги.

6. Предимства на електронното обучение

Електронното обучение създава възможности за:

- Подобряване качеството на висшето образование.
- Разширяване достъпността на образованието.
- Премахване бариери за получаване на образование.
- Получаване на професионална ориентация.
- Повишаване квалификацията и възможностите всеки обучаем да реализира потенциала си.



Фиг. 2. Схема на електронно обучение

IV. ИНТЕРАКТИВЕН ОБРАЗОВАТЕЛЕН МОДЕЛ НА ПРЕПОДАВАНЕ

Въпреки разнообразните информационни и компютърни технологии, използвани в учебния процес, трябва да се отбележи, че качеството на обучението зависи преди всичко от учебния материал, начина на представянето му и организацията на учебния процес.

Внедряването на компютърните и мултимедийните средства в учебния процес не само освобождава преподавателя от рутинна работа в организацията на учебния процес, но и дава възможност да се създаде богат справочен и илюстративен материал, представен в най – разнообразен вид: текст, графика, анимация, звукови и видео елементи [2].

Предимство на електронните средства за обучение е, че обучаемите могат да се обучават и упражняват навсякъде и по всяко време [3]. Те не могат да заместят преподавателя, но могат да се използват като допълнително помощно средство по време на преподаване и учене. Формата, която се избира зависи от характеристиките на учебното съдържание. По този начин може успешно да се съчетаят стандартния начин на преподаване и този с използване на електронни образователни средства с цел по - осъзнато, бързо и трайно овладяване на необходимите знания и успешното им прилагане. Съпоставката между стандартния начин на преподаване и с използване на електронни образователни средства е представена на фиг.3.

ТРАДИЦИОНЕН ОБРАЗОВАТЕЛЕН МОДЕЛ	ИНТЕРАКТИВЕН ОБРАЗОВАТЕЛЕН МОДЕЛ
Усвояване на информация, необходима за успешно представяне на изпита.	Осъзната потребност от информация.
Идентификация и решаване на проблеми в структурирана и статична обкръжаваща среда.	Идентификация и решаване на проблеми в неопределена и динамична обкръжаваща среда.
Прилагане на знания и умения към специфични случаи и ситуации.	Приспособяване към информационните ресурси. Превръщане на информацията в годен за приложение ресурс.
Основава се на взаимодействието „учител-ученик".	Основава се на взаимодействието „ученик-ученик" и работа в екип.
Учителят прави индивидуалните оценки и атестации и осигурява обратна връзка.	Учителят и учениците съвместно правят индивидуалните оценки и атестации и осигуряват обратна връзка.

Фиг. 3. Съпоставка между традиционен и интерактивен образователен процес [4]

V. ТЕХНОЛОГИЧНО ОСИГУРЯВАНЕ ЗА РАЗВИТИЕ НА ЕЛЕКТРОННОТО ОБУЧЕНИЕ

Внедряването и развитието на интерактивните методи на преподаване е съпроводено с изпълнението на редица конкретни дейности и стъпки. Необходимо е създаването на Център за дистанционни форми на обучение, оборудван с необходими материални активи и специализиран софтуеър – специална платформа за електронно обучение. Също така създаване на електронно хранилище за всички електронни и мултимедийни помагала, които ще се разработят и специализирано обучение на преподаватели както за интерактивни начини на преподаване, така и за създаване на електронните и мултимедийните образователни материали [5].

1. Учебно и методически материали на хартиен носител и всички техни електронни варианти (т, нар. „електронни книги")
2. Мултимедийни и интерактивни учебни материали, разпространявани на електронни носители – магнитни и оптически дискове, аудио и видео ленти
3. Учебни материали, модули за обучение и оценяване, които са разположени на специализирани сървъри с гарантиран и висококачествен Интернет.
4. Учебни материали и ресурси, разположени в Интернет базирана система с гарантиран висококачествен достъп, която подържа:

-планиране и провеждане на дистанционно обучение в съответствие със стандартите на е-обучение.

-интегрирана база с персонални данни, учебни програми и виртуални учебни материали, задачи и тестове.

VI. ОЧАКВАНИТЕ РЕЗУЛТАТИ ОТ ВЪВЕЖДАНЕ НА ЕЛЕКТРОНИТЕ МЕТОДИ НА ПРЕПОДАВАНЕ ВЪВ ВУЗ-ТЕ СА СЛЕДНИТЕ:

1. Постигане на по-успешна социална и трудова реализация на хората чрез подобряване на условията за равен достъп до образование и обучение.
2. Ефективно използване на съвременните информационни и мрежови технологии в сферата на образованието.
3. Повишаване на качеството, обогатяване на учебното съдържание и въвеждане на иновационни образователни технологии и методи, в учебния процес.
4. Развитието на електронни форми на дистанционно обучение и улесняването на ученето през целия живот.
5. Ефективно включване в учебния процес на лица, които живеят извън академичните градове.
6. Предоставяне на качествено обучение на лица със специални образователни потребности (лица с увреждания).
7. Дава се възможност за интерактивни начини на обучение чрез дискусии, съвместни проекти и постоянна комуникация между студенти и преподаватели.
8. Измеримост на постигнатите резултати от студенти и преподаватели.
9. Обмен на опит и добри практики с най - добрите университети в света.
10. Постигане на европейско качество на висшето образование и модернизирането му в съответствие с европейските критерии.
11. Повишаване качеството на образование чрез поставяне на университетите в реална конкурентна среда както на национално, така и на международно ниво.

VII. ИЗВОДИ

От всичко казано по –горе може да се заключи, че основния проблем за създавне на електронни форми на дистанционно обучение е липса на методика, софтуерни средства и български стандарти за осигуряване на технологично базирано обучение и представяне/ обновяване на учебното съдържание в различни предметни области.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. tuj.asenevtsi.com/EL09/EL14.htm
[2]. Попандонова, Е., Студия: 'Влияние на образователната интерактивна

мултимедия върху мотивацията за изучаване на чужд език на деца от малцинствен
произход', Научни трудове, Софийски университет, 2010.
[3] Georgiev, Ts., G. Krastev. A Classification of Virtual Measurement Environments.
International Conference on e-Learning and the Knowledge Society - e-Learning'09, Berlin
2009.
[4]. Иванов И. Интерактивни методи на обучение.
[5]. Тотков Г. Дистанционни методи на преподаване. Семинар 2008, Пловдивски Университет
[6]. Маринова Н., Хаджиев К. Електронно интернет базирано систанционно обучение – актуална форма за повишаване квалификацията на кадрии специалисти от бизнеса, статия Бургаски Университет, 2009.
[7]. Войноховска В. Обучение на учители за създаване на електронни образователни ресурси. Научни трудове на Русенския Университет - 2011, том 50, серия 6.1.
[8]. Павлова В. Традиции и перспективи за развитие на дистанционно обучение в Университета за Национално и Световно Стопанство. статияИкономически алтернативи, брой 2, 2011.
[9]. Томов П., Ангелов А. Дистанционното обучение като алтернатива на класическото. XVIII ННТК с международно участие „АДП-2009".
[10]. Алексиева М. Използване възможностите на електронното обучение за повишаване мотивацията на студентите за учене и участие. Бургаски свободен университет.
[11]. Гилева С. Среди за електронно обучение. Софийски Университет. Дипломна работа 2006.

За контакти:
гл. ас. д-р инж. Александрина Банкова Катедра "Индустриален дизайн" на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 506 М.
e-mail: ina_janakiewa@abv.bg

Рецензент: д-р инж. Майк Щреблау, ТУ-Варна

ОТНОСНО НЯКОИ АСПЕКТИ ЗА ВРЪЗКАТА НА ОБУЧЕНИЕТО С БИЗНЕСА. УЧАСТИЕТО НА КАРИЕРНИТЕ ЦЕНТРОВЕ КАТО ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ПЪЛНОЦЕННА РЕАЛИЗАЦИЯ НА СТУДЕНТИТЕ.

ON CERTAIN ASPECTS OF THE RELATIONSHIP OF TEACHING BUSINESS. PARTICIPATION CAREER CENTERS AS AN OPPORTUNITY FOR THE FULL DEVELOPMENT OF STUDENTS.

Александрина И. Банкова

Резюме: Целта на настоящата статия се основава на основните теоретични концепции в областта висшето образование и по скоро на анализа за състоянието на прехода от висшето образование към заетост в България. На базата на направените проучвания и анализи се установи, че активното участие на кариерни центрове са основа за подобряване взаимодействието между бизнеса и университетите с което ще се допринесе за повишаване качеството и обучение на специалисти. Въз основа на направените обобщенията и изводите, са разкрити възможности, перспективи и предложения за подобряване на процеса в бъдеще.
Ключови думи: бизнес, качество, кариерни центрове, образование.

Abstract: The purpose of this article is based on the basic theoretical concepts in the field to analyze the state of transition from higher education to employment in Bulgaria and on the basis of the conclusions and summaries of analysis to uncover opportunities, prospects and proposals to improve the process in the future .
Based on the active participation of career centers to improve the interaction between business and universities to improve the quality and training of specialists.
Keywords: business, education, quality, career centers.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Намирането на подходящо работно място след завършване на висше образование е важен момент от интегрирането на младежите не само на трудовия пазар, но и в обществото като цяло. Основната задача на съвременната образователна система се изразява в подготовката на нужните на обществото квалифицирани и можещи личности с пълноценна жизнена реализация.

В съвременните условия на радикални изменения в бизнеса и политиката на преден план излизат нови необходими способности за успешна и добре платена трудова дейност. Това налага сериозни промени в съдържанието на образованието и преди всичко в използваните образователни технологии. С особена сила казаното се отнася за сферата на висшето образование, което трябва с изпреварващи темпове да се приспособява към високите технологии и конкурентните условия на пазара в Европа и света и успешно да се интегрира в изграждащото се единно европейско образователно пространство.

Като причини, предизвикали по-засиления интерес към сътрудничеството между институциите за висше образование и бизнеса, могат да се посочат и:

− трудностите, които срещат дипломираните студенти на пазара на труда;

− нарастващата опасност от несъответствието на много традиционни университетски курсове (включително такива от областта на природните науки и технологиите) с актуалните цели и потребности на пазара на труда;

− незадоволителните резултати от множество образователни реформи, които в повечето случаи не касаят специфичните проблеми на индустрията.

− бързото развитие на технологичната и информационната среда –тенденция, която висшето образование само по себе си не е в състояние да следва.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Данни за младежката безработица

По данни на ЕВРОСТАТ – официалната статистическа служба на ЕС, у нас младежката безработица е над два пъти повече спрямо средната за страната (нещо, по което сме шампиони в целия ЕС), което буди сериозно безпокойство. Особено засегната рискова група се оказват младите хора до 35 години. Още по – шокиращ факт е, че всеки 20-ти младеж изобщо не търси назначение, защото е

изгубил всякаква надежда. В Гърция, Испания и Ирландия в момента има по-висока безработица от тази в България. Но никъде в Европа няма такава драстична разлика между младежката и средната за страната безработица [1].

Табл. 1 Процент на младежката безработица през последните години източник Eurostat

	2008	2009	2010	2011Q2*
EU-27	15.8	20.1	21.1	21.0
Euro area	16.0	20.2	20.9	20.5
Belgium	18.0	21.9	22.4	18.3
Bulgaria	12.7	16.2	23.2	27.0
Czech Republic	9.9	16.6	18.3	18.7
Denmark	7.6	11.2	13.8	14.0
Germany	10.6	11.2	9.9	8.9
Estonia	12.0	27.5	32.9	21.8
Ireland	13.3	24.4	27.8	29.8
Greece	22.1	25.8	32.9	42.9
Spain	24.6	37.8	41.6	45.0
France	19.3	23.9	23.7	23.3
Italy	21.3	25.4	27.8	27.7
Cyprus	8.8	14.0	17.2	20.0
Latvia	13.1	33.6	34.5	30.2
Lithuania	13.4	29.2	35.1	33.2
Luxembourg	17.3	16.5	15.6	14.0
Hungary	19.9	26.5	26.6	25.1
Malta	11.8	14.4	13.1	14.7
Netherlands	6.3	7.7	8.7	7.0
Austria	8.0	10.0	8.8	8.3
Poland	17.3	20.6	23.7	24.9
Portugal	20.2[e]	24.8[e]	27.7[e]	28.7
Romania	18.6	20.8	22.1	22.8
Slovenia	10.4	13.6	14.7	14.3
Slovakia	19.0	27.3	33.6	32.7
Finland	16.5	21.5	21.4	20.1
Sweden	20.2	25.0	25.2	22.8
United Kingdom	15.0	19.1	19.6	20.4

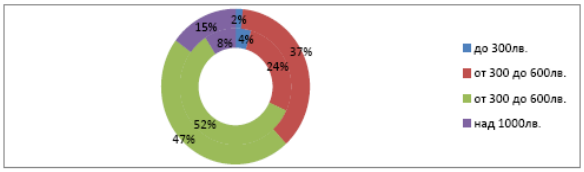
От направените проучвания относно нагласите на работодателите към младежите с висше образование (до 29 години), се анализират основните предимства и недостатъци от наемането им на базата на определени характеристики. На фиг. 1 и фиг. 2 са представени отговорите на работодателите, които показват най-често изтъкваните предимства и недостатъци на младежите, от гледна точка на работата в конкретната организация [2].

Фиг. 1. Основни предимства на наемането на младежи с висше образование и без професионален опит

Фиг. 2. Основни недостатъци от наемането на младежи с висше образование и без професионален опит

От фигурите става ясно, че младежите много лесно усвояват нови знания и умения (84%) и адаптивността на младежите по отношение на промени (80%). Следващите най-често споменавани предимства са високата технологична компетентност (60%) и владеенето на чужди езици (52%). Предимството от ниската цена за работодателя, което често не се изказва гласно, е посочено от 40% от работодателите. Не толкова популярни предимства за работодателите са гъвкавостта по отношение на работното време, ниския процент отсъствия и актуалните знания за бизнес сектора. Някои от работодателите дори посочват, че наемането на младежи няма никакви предимства (8%).

От друга страна, наемането на младежи е свързано с редица недостатъци. Най-често посочваният недостатък е липсата на трудови навици (72%). Доста по-рядко, но сравнително често, се изтъкват недостатъци като липсата на професионален опит (48%), нереалистични очаквания за размера на възнагражденията (44%) и непознаването на бизнес сектора (36%). Текучеството, липсата на увереност и комуникативни умения и нелоялността се споменават сравнително рядко. Въпреки скромният относителен дял, трябва да се отбележи, че все пак съществуват организации, според които наемането на младежи няма недостатъци (4%).



Фиг. 3. Сравнение между предлагано и очаквано ниво на възнаграждение за младежите с висше образование

На фиг. 3 са представени нивата на стартовото възнаграждение. Външната част на фигурата представя очакванията на младежите, а

вътрешната – предлаганите от работодателите нива.

С много малки разлики като цяло се наблюдава еднакво разпределение между очакваните и предлаганите нива на възнаграждение. Това показва, че студентите са информирани за нивата на възнаграждение, които могат да очакват, което противоречи с разпространеното мнение за нереалистичните очаквания от тяхна страна по отношение на нивата на стартовите заплати.

По отношение на отделните качества – знания, умения и личностни характеристики – на първо място е съпоставянето на оценките на студентите по отношение на това кои качества са важни по принцип за бъдещата работа и кои от тях са застъпени по някакъв начин в учебните програми по време на следването. Това съпоставяне е представено на следната фигура.

Фиг. 4. Качества, които са важни за работата и качества, които са застъпени в обучителните програми в университетите според студенти

Основните проблеми при пълноценната реализация на студентите са свързани с [3]:

• Потребностите на пазара на труда.

• Несъответствие между професионалната подготовка на кадрите и нуждите на фирмите.

• Прекалено високият дял на обучаващите се влошава качеството на обучението и се създават ненужни специалности .

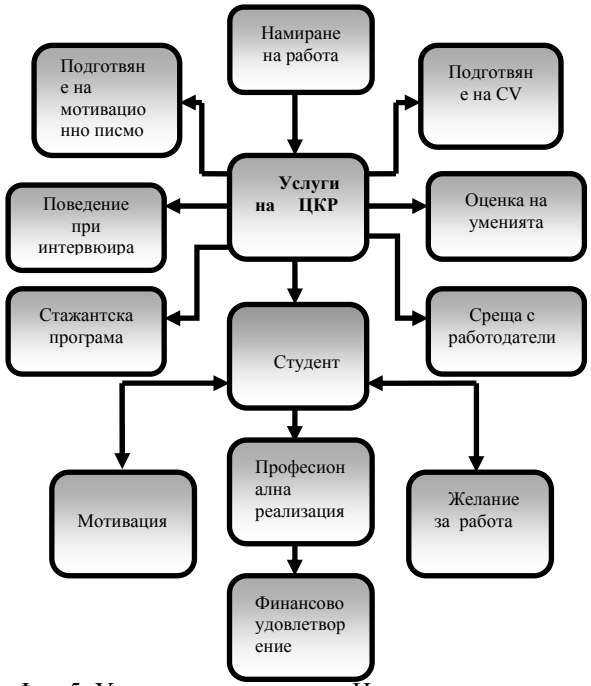
2. Ролята на кариерните центрове за успешна реализация на пазара на труда.

Добре организираните и планирани центрове за кариерно ориентиране несъмнено придобиват все по-голямо значение. Те играят ключова роля повишаване на качеството и професионалната подготовка на специалистите и от една страна и от друга подобри взаимодействието между бизнеса и университета [4]. Те са един от механизмите за активизиране на диалога между образователните и бизнес институциите са центровете за кариерно ориентиране и развитие към висшите училища. Кариерните центрове играят значима роля в съвременното образование и са основно средство за преодоляване на бариерите в комуникацията между бизнеса, академичните среди и студентите. Тяхна основна функция, наред с професионалното ориентиране и подготовка на студентите, е подпомагането в процесите на подбор на студенти за стажантски позиции и работни места и осигуряването на обратна връзка между заинтересуваните страни. Кариерни центрове функционират в 48 от 51 висши училища в България.

Дейностите на заангажираните в тази сфера включва: официално засилване на сътрудничеството между ВУ, работодателите и студентите; създаване на условия за придобиване на умения за управление на кариерата от самите студенти (програми за кариерно обучение, подобряване на механизмите на отчетност на резултатите).

Като цяло основните задачи в Кариерните центрове са:

- подобряване на достъпа до кариерно ориентиране;
- подобряване на кариерното ориентиране за студенти;
- подобряване на системите за подпомагане на кариерното ориентиране.



Фиг.5. Услуги предлагани от Център за кариерно развитие (ЦКР)

От така изложената информация (фиг. 5) относно услугите предлагани от ЦКР се налагат следните изводи:

1. ЦКР осигурява широк спектър от услуги за студенти, дипломанти и работодатели. В допълнение към личните консултации студентите имат достъп до добра обзаведена кариерна библиотека и он-лайн ресурсни материали, достъпни и от други места.

2. Засега обхвата на съществуващите кариерни услуги в повечето случаи е тесен, често концентриран върху личностното и учебно ориентиране. Желание за сътрудничество има и в областта на съвместното разработване на учебните планове и програми по различни специалности, с цел разширяване обхвата на кариерните услуги. Тенденцията за включване на бизнес-средите в този процес осигурява връзката между съвременните изисквания на пазара на труда и академичното обучение [5].

3. Основни направления на работа за сътрудничеството „ университет – бизнес”

3.1. Периодичен анализ на нуждите от обучение.

Периодичният анализ на нуждите от обучение е задължителна дейност, която позволява на ВУ да работят в пазарни условия. Необходимо е периодично в университета да се правят регионални и секторни анализи на нуждите от обучение в различните професионални направления.

3.2. Обогатяване на учебните планове, програми и методи на обучение.

Една от основните цели на висшето образование е осигуряване на знания, които ще позволят на студентите да се реализират успешно на пазара на труда.

Учебните планове и програми в ВУ да се разработват от експертни съвети и учебно методични комисии. В състава им, освен преподаватели и студенти/докторанти да са включени и представители на бизнеса. Тяхното участие в работата е една от гаранциите за отчитане на нуждите на бизнеса.

3.3. Планиране на форуми и семинари с участие на широка медийна общественост.

Планирането на подобни форуми с участието на медиите би спомогнало до голяма степен за запознаване на широката общественост с работата на университета по отношение на практическото обучение на студентите, както и за отговорността и желанието на университета за диалог с работодателите.

3.4. Развитие на магистърски курсове по фирмени заявки и/или с участието на водещи специалисти от практиката

Едно от възможните решения за подготовката на завършващите е организиране на магистърски курсове по заявка на конкретна фирма.

Добра практика е също ръководители, консултанти и рецензенти на дипломните работи да са представители от бизнес организацията, в условията на която се разработва съответната тема. Включването в учебния процес на водещи специалисти от практиката осигурява условия за запознаване на студентите с практическите проблеми и решения.

3.5. Развитие на учебната инфраструктура.

Развитието на материалнотехническата и информационна база за обучение в университетите е важна задача. Участието на фирмите в този процес може да бъде под различни форми:

-чрез дарения, като се предоставят финансови средства или лабораторно оборудване

По този начин в университета има изградени редица лаборатории, особено в инженерните факултети.

-предоставяне на пазарни експонати в университетските лаборатории.

-изнасяне на някои от практическите упражнения в фирмите.

Има упражнения, за чието провеждане в лабораторни условия се изисква сериозна подготовка и скъпо оборудване. В същото време провеждането им в конкретните практически условия е много по-ефективно. Добра практика в университета е сключването на конкретни договори с фирми за провеждането на такива упражнения в условията на фирмата.

3.6. Работа на студенти в бизнес среда.

Подготовката и провеждането на студентските стажове е важен ресурс за работата на студентите в бизнес среда. Сключените договори с фирми и организации осигуряват устойчиво развитие на този процес. При проведен стаж студентът получава съответните кредити, които са предвидени в учебния план.

3.7. Работа по финансирани проекти.

Съвместното участие на универистет и бизнес в национални и международни проекти

създава възможност за конкретна работа с представители на бизнеса.
3.8. Развитие на тясно сътрудничество с работодателски и бизнес организации.
Резултатите от такова сътрудничество са взаимно информиране и наличие на по-широки контакти в съответния бранш.
3.9. Организиране на изложби, изложения, семинари на територията науниверситета.
Тези форми позволяват студентите и преподавателите да се запознаят отблизо с новите продукти на фирмите.

III. ИЗВОДИ

От всичко казано по- горе може да се заключи нуждата от разработване на условия за ефективно взаимодействие между работодатели и образователна система чрез:

1. Предоставяне на възможности за работодателите да популяризират различни изисквания – знания, умения и способности – които се ценят в работата;
2. Участие на работодателите в разработването на рейтингова оценка на висшите училища;
3. Участие на работодателите чрез отправяне на предложения по отношение на структурата на професионалните направления и специалностите и броя на обучаваните студенти, според прогнози за търсенето на специалисти в дадената област;

За ефективното взаимодействие между образование и бизнес активното участие имат създадените във ВУЗ-те кариерните центрове. Добре организираните и планирани кариерни центрове дават възможност за успешна реализация на студентите с цел предоставяне на по-добра информация за основните умения, необходими за навлизане на пазара на труда, и за начините, по които те могат да се придобият.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. www.on-parliament.com
[2]. Димитрова, И. „Интегриране на младежите с висше образование и без професионален опит на пазара на труда в България след присъединяването към ЕС”, конференция на УНСС „Студентските стажове-инвестиция за бъдещето на младите хора”, 10 септември 2009 г., София, 2009.
[3]. Иванова, М. Висшето образование в България и управлението на човешките ресурси - перспективи и предизвикателства в контекста на Европейския съюз. Дискусионни материали = Discussion papers (3). pp. 2008, 1-43. ISSN 1312-5079.
[4]. Ронкова В. Разширяване на достъпа до кариерно ориентиране и развитие на студенти. Научни трудове. Русенски Университет, 2011.
[5]. Боева Б. Взаимодействие университет – бизнес. Научно изследване. София, 2009г.
[6]. www.b2bmagazine.bg/index.php
[7]. www.cet-vtu.com/site/bul/et2_3.html

За контакти:
гл. ас. д-р инж. Александрина Банкова Катедра ”Индустриален дизайн” на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 506 М.,

Рецензент: доц. д-р инж. Христофор Тахрилов

THE TRAINWIND PROJECT: AN E-LEARNING PLATFORM FOR VOCATIONAL TRAINING IN WIND ENERGY TECHNOLOGIES

Ovid Farhi, Vencislav Valchev, Todor Ganchev, Valérie Vanhecke, Idoia Arteta Gorriz, Dirk Bischof, Hristo Nikolov, Velizar Kiriakov

Abstract: This paper reports on the achievements of the TrainWind project, which promotes Information Communication Technology (ICT)-based e-training in the Wind Energy Technology (WET) sector. The TrainWind e-learning platform, developed during the project, provides an integrated environment for acquisition of knowledge, progress evaluation, and interaction among trainees and between trainees and professors. The training process is directed towards young specialists, who are willing to prequalify, or to complement their knowledge and skills for operating the latest technologies in the WET sector and to improve their qualification on maintenance of WET equipment. In order to demonstrate the benefits of remote vocational training, the project implemented the TrainWind Pilot Courses in Bulgaria and UK.

Keywords: vocational training, remote training, distance education, e-learning platform, maintenance of equipment in the wind energy sector.

I. INTRODUCTION

The European Wind Energy Association (EWEA) recently reported that the European Union Wind Energy Sector expects the opening of over 250 000 new job positions during the next decade. Official data show that each megawatt (MW) installed wind energy power creates approximately five new job positions for qualified personnel.

On the Bulgarian job-market, the demand of specialists on the operation and maintenance of wind energy equipment is estimated to approximately 1500 new job positions [1]. In response to this steadily increasing demand, the TrainWind project offers new opportunities for professional training of technical staff.

II. THE TRAINWIND PROJECT

Making use of contemporary information and communication technology, the TrainWind project [2] created an e-learning platform, which offers distant learning courses on wind energy equipment operation and maintenance. These courses are focused on the acquisition of basic knowledge and mastering practical skills, demanded by the expanding job market in the Wind Energy Sector.

The training process is directed towards the young specialists, who are willing to prequalify, or to complement their knowledge and skills for operating the latest technologies and maintenance of WET equipment. The TrainWind project benefits the technical staff responsible for the operation and maintenance of equipment in the Wind Energy Sector and facilitates their professional development.

1. The TrainWind e-Learning Platform

The TrainWind e-learning platform[1] is implemented on eFront [3] and provides all the necessary tools needed by developers of distant-learning courses. Most importantly however, the TrainWind e-learning platform incorporates a variety of tools facilitating the creation of interactive and animated content, such as interactive figures, equations, tables etc. Comprehensive description of these tools is available in [4].

2. The TrainWind Pilot Courses

The first TrainWind distance learning course, namely the TrainWind Pilot Course on WET operation and maintenance, has already been implemented on the e-learning platform. The TrainWind Pilot Course is focused on gaining basic acquaintance with the WET technology and on mastering practical skills demanded by the expanding job market in the EU Wind Energy Sector. The Pilot Course is offered in four EU languages: Bulgarian, Dutch, English, and Spanish. The trainees are offered to select their preferred language upon enrolment and afterwards can switch among the four available languages. Such flexibility facilitates the mastering of domain-specific terminology, which is prerequisite for communication with international companies in the WET sector, and the use of foreign language literature and documentation for further self-instruction and professional development.

The TrainWind Pilot Course deployed on the TrainWind e-learning platform incorporates

[1] http://195.216.228.11/www/index.php

five training units. Each unit consists of six themes and one or more progress evaluation test. Once a trainee completes successfully all tests for a given unit, s/he is granted access to the next unit. The course units are kept self-sufficient and include introductory section, comprehensive exposition on the topic with sufficient mathematical support, tables, graphics, pictures, video-clips and animations. The key equations, calculators, tables and figures are animated, and the most important among them are made interactive, so that the trainee can enter own data and visualize graphically the representation of different dependences and physical laws.

In addition to the course units, the working environment in the TrainWind e-learning platform incorporates a set of auxiliary tools, such as: a calendar, a search form, an internal messaging system etc, which allow for effective learning, planning and communication among trainees and between trainees and professors.

3. The User Interface

As shown in Figure 1, the main panel of the user interface consists of three areas:

(1) The contents area. In Figure 1 it shows the first unit in the English language version of the TrainWind Pilot Course (cf. Figure 2),

(2) Auxiliary tools for planning, searching, reporting and communication among trainees or between trainees and professors (cf. Figure 3 and 4),

(3) Functionality for controlling the account status, the preferences of the current user account, fast switch to dash-board view, logout of the e-platform, etc.

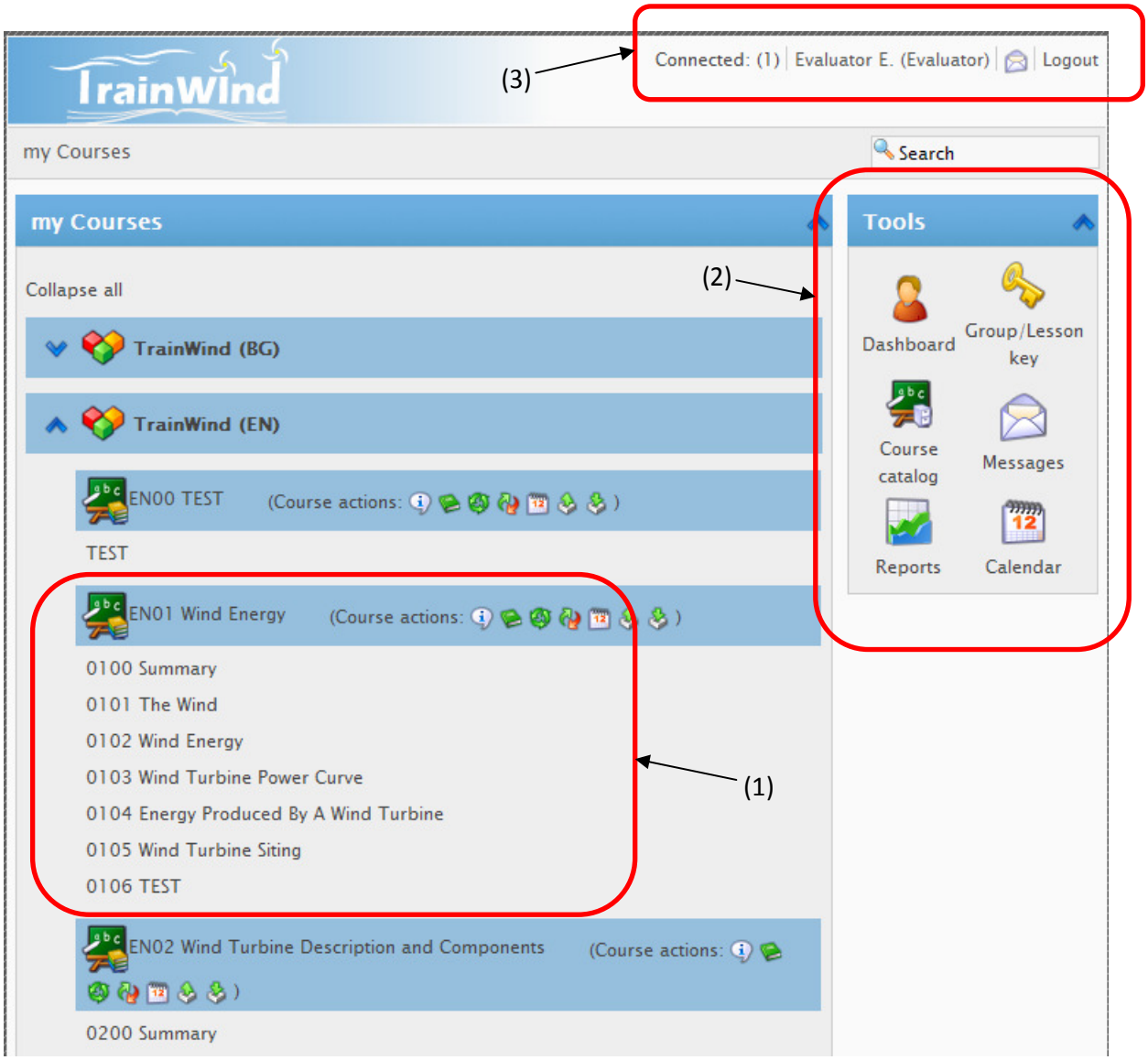


Figure 1. Main panel of the TrainWind Pilot course

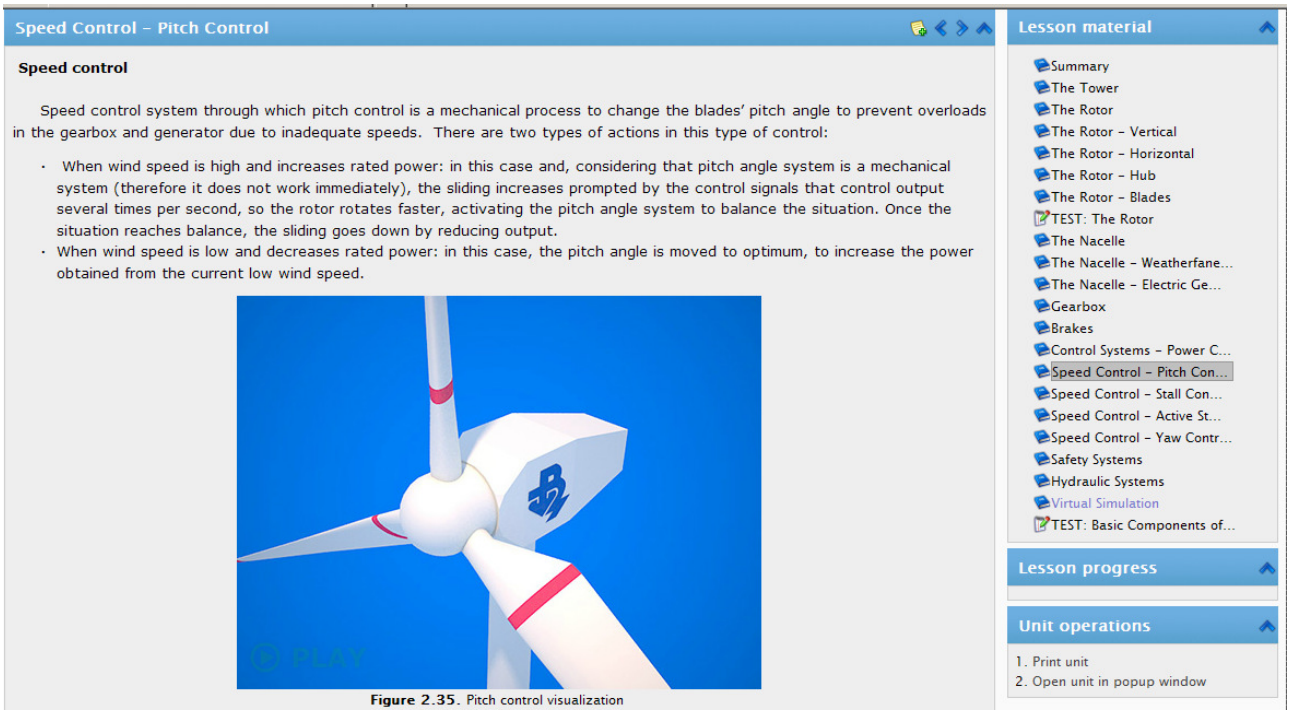


Figure 2. Sample screen illustrating the organization of content in the TrainWind Pilot Course

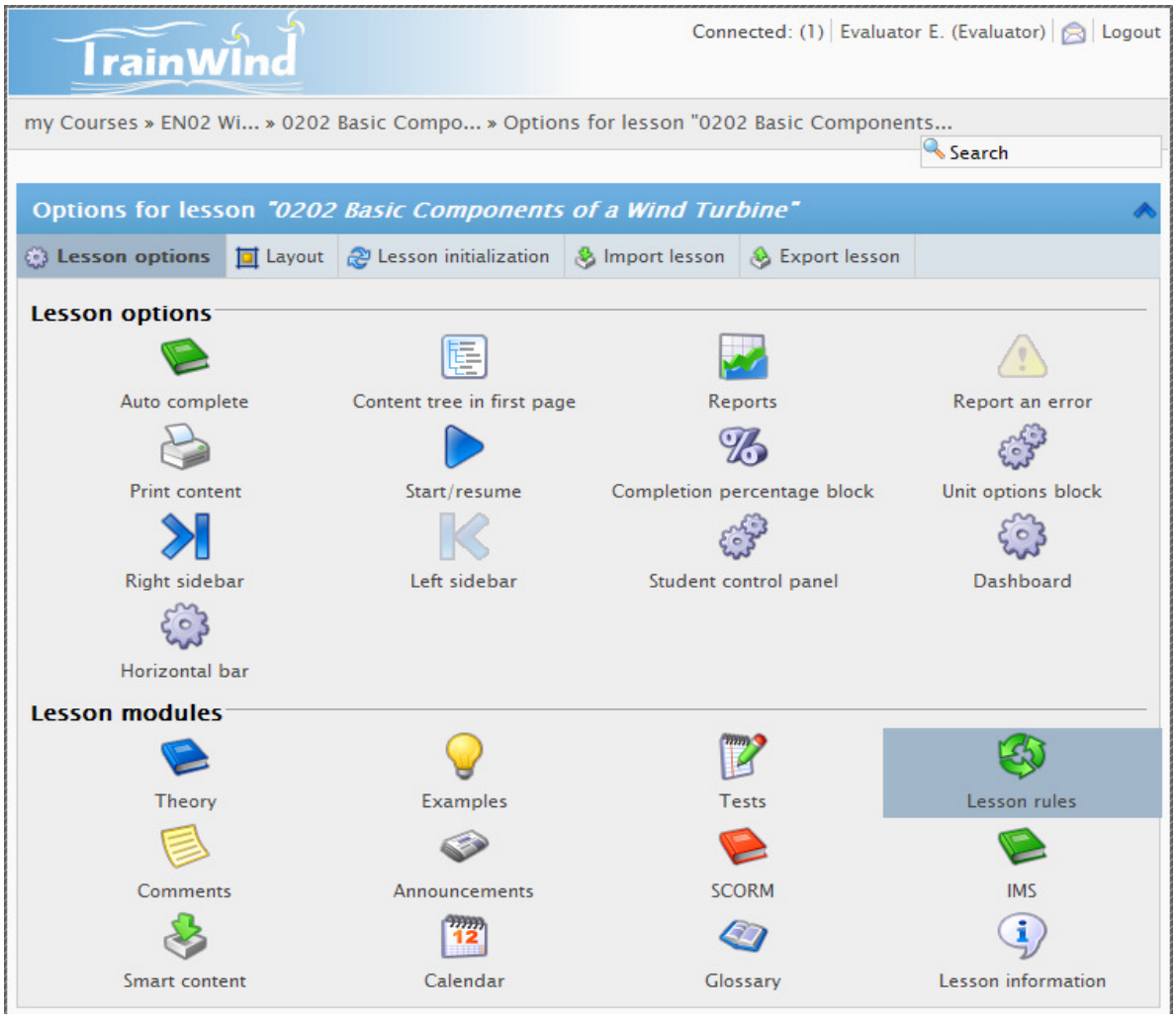


Figure 3. Tools for organizing, planning and evaluation of trainees

Figure 4. Tools for planning, search and communication among trainees and professors

4. The Trainees Progress Evaluation Tools

After enrolment for a TrainWind course, trainees' entry level is evaluated via a competence level test. Depending on the scores trainees achieve on the entry test, they are categorized as *beginners*, *advanced*, or *very advanced*. Each of these categories follows a different path through the curriculum:

- beginners are obliged to go through the content of all the 5 training units,
- advanced trainees have the option to skip reading the first unit content and can proceed directly for the first unit output test,
- very advanced trainees have the option to skip reading the content of the first two units and can proceed directly to the output test of the first unit, and if successful, directly to the output test of the second unit.

After the successful completion of a TrainWind course, trainees are subject to assessment through the TrainWind Assessment Tool [5].

III. CONCLUSIONS

Making use of contemporary information and communication technology, the TrainWind project created an e-learning platform, which offers remote training courses on wind energy technology operation and maintenance. These courses, offered in four languages, are focused on the acquisition of basic knowledge and mastering practical skills, demanded by the expanding job market in the Wind Energy Sector. In this way, the TrainWind project enhances the opportunities for professional realization of young specialists and facilitates the professional development of technical staff on the operation and maintenance of equipment in the WET sector.

The TrainWind project can be seen as an important contribution towards the implementation of the European Commission long-term policy in support of the Renewable Energy industry in the European Union.

IV. ACKNOWLEDGEMENT

The work reported in the present paper have been supported by the project TrainWind (2011-1-BG1-LEO05-05035) "Transfer of innovative VET system in Wind Energy Technologies", partially co-funded by the Lifelong Learning Programme "Transfer of Innovation, Multilateral Projects, Leonardo da Vinci Lifelong Learning Programme (LLP)" of the Directorate-General Education and Culture of the European Commission.

REFERENCES:

[1]. Angel Marinov, Idoia Arteta Gorriz, Valérie Vanhecke, Dirk Bischof, „Analysis of the State of Higher Education and Labor Demand Relevant to the Wind Energy Sector", to appear in Proc. of the International Jubilee Conference „50-th Anniversary Department ETET", October 4-5 2013, Varna, Bulgaria.

[2]. The TrainWind Project web-site, URL: http://www.tu-varna.bg/TrainWind/

[3]. The eFront Enterprise Learning Management System web-site, URL: http://www.efrontlearning.net/

[4]. Angel Marinov, Orlin Stanchev, Todor Yankov, "Interactive Multimedia Tools and Applications in Vocational Education in Wind Energy Technologies", to appear in Proc. of the International Jubilee Conference „50-th Anniversary Department ETET", October 4-5 2013, Varna, Bulgaria.

[5]. Joke Six, Valérie Vanhecke, „Competence Assessment Tool", to appear in Proc. of the International Jubilee Conference „50-th Anniversary Department ETET", October 4-5 2013, Varna, Bulgaria.

Contacts:

Ovid Farhi, Vencislav Valchev, Todor Ganchev, Technical University of Varna, Studentska Str.1, 9010 Varna, Bulgaria
Phone: +359 896875302,
e-mail: vencivalchev@hotmail.com

Valérie Vanhecke, Syntra West vzw, Spoorwegstraat 14, 8200 Brugge, Belgium
Phone: +32 50403084,
e-mail: Valerie.Vanhecke@syntrawest.be

Idoia Arteta Gorriz, Foundation for Training in Renewable Energies, Imarcoain, 31119 Aduana s/n, Spain
Phone: +34 948311587,
e-mail: fcenife1@navarra.es

Dirk Bischof, Embrace Cooperation Ltd, 245a Coldharbour Lane, SW9 8RR, London, UK
Phone: +44 2086701221,
e-mail: dirk.b@myembrace.org

Hristo Nikolov, ABC Wind Farm Ltd., 43A Vereshchagin st, 6000 Stara Zagora, Bulgaria
Phone: +359 52622650,
e-mail: info@abcwindfarm.com

Velizar Kiriakov, Association of Producers of Ecological Energy, 5 Dunav Str., 9000 Varna, Bulgaria
Phone: +359 52750550,
e-mail: info@apeebg.org

Reviewer:

Assoc. Prof. Dr. Eng. Hristofor Tahrilov
TU-Varna

COMPETENCE ASSESSMENT

Joke Six, Valérie Vanhecke

Abstract: In a company or organisation, employees have a key role. Deploying the right people for the right tasks is important. Thereby it is important that you are getting a clear view of the desired competencies in order to perform a certain function and that you acquire knowledge on the present competencies of every employee.
Syntra West developed an online tool to measure competencies, the COMET (Competence Measuring Tool). With this tool you can create a competence profile per function and map the existing competencies of the employee. So you get per employee or team a view of the shortage or reserves.
Within the TrainWind project a competence profile for windturbine technicians has been developed based on research and surveys. This profile sets out all knowledge, skills and attitudes required from a windturbine technician. By screening the (potential) technician you get an overview of their skills and gaps, linked to a training proposal.
Keywords: assessment, competence, indicators, software, Comet, profiles

I. INTRODUCTION

Competence management and assessment is a wide area of expertise. It has been and is still evolving over time. There are numerous theories and examples and this paper does not, in any way, wish to give an overview of all existing theories and literature. This paper simply wants to give a comprehensible and practical guideline on competence assessment and discuss its specific application in the TrainWind project.

II. MAIN TEXT

1. Competence Management

A competency is the real and individual capacity to use knowledge, skills and attitudes to accomplish successful behaviour in various conditions. It is thus a combination of knowing , ability and willingness.

Competence management is the management of qualities of individuals, teams and the organisation as a whole. This quality management is embedded in the strategic policy. Competence management is only a means. The goal is to achieve individual, team and organisational best.

A first step in competence management is knowing the qualities of your employees, as well as the skills required for each position (team, organisation). So in other words, competence management includes the determination of the required competencies, the listing of the present competencies and the implementation of a development strategy.

To chart the required competencies for a certain job, a competence profile has to be created. A competence profile is the set of competencies required to perform a certain job successfully. Each competency is an unambiguous definition associated with one or more behavioral indicators.

A behavioral indicator is a description of behavior that shows whether an individual possesses a competency. Each behavioral indicator is:

- Formulated SMART; Specific, Measurable, Achievable, Realistic and Time-bound,
- Recognizable and comprehensible for all employees,
- Positive and formulated without value judgment.

One can work with a list of behavioral indicators for each competency or with different levels, such as not present/insufficient/sufficient/strong presence.

There are different methods to create a competence profile for a certain function. A competence dictionary can help to analyse this.

Important is to collect as much information as possible related to the function. Examples of this could be to:

- Translate the mission, vision and values of the organisation (core competencies)
- Query the management and supervisors (desired behavior)
- Query function-holders and supervisors (current succesful behavior)
- Differential analysis (difference between successful and unsuccessful function-holders)

- Critical incident method (situations from the past that led to success or failure)

Knowledge, skills and attitudes are clustered into different competencies.

The difficulty in creating competence profiles is in securing the balance between completeness and workability. A tip is to be pragmatic: profiles are a means, not a goal in itself.

In a competence profile start competencies can be identified, the minimum competencies required to perform the function. These competencies are tested during the selection interview.

Competence profiles are a stepping stone for the HR policy and are used in recruitment, selection, reception, training, retention ...

Through competency measurement the competencies of employees are mapped and used as a starting point for competence development.

In addition to job-related competency profiles, you can also create and use individual (personal) competence profiles. This is for example interesting to develop functions tailored to the employee and / or to work with competence matrices. Job seekers can also draw up an individual profile, a competence CV.

2. Assessment of competences

A competency is a snapshot of the ideal job holder. Through competency measurement the extent to which (potential) employees have certain competencies can be identified. Competence measurement occurs both in the selection/recruitment process as systematically during employment and forms the basis for competence development.

There are different methods to measure competencies:

- Competence directed interview, STARRT method
  You ask the employee for examples from the past, using the STARRT method:
  - Situation: describe what happened, where, when, whit whom.
  - Task: what needed to happen, what was expected from you?
  - Action: which actions did you undertake?
  - Result: what was the result of your actions? And what was the received response on this?
  - Reflection: was your approach good? Would you do the same next time?
  - Transfer: how can you apply this experience and the lessons learned in the future? Which support do you need for this?
- Assessment/observation
- Self-evaluation
- 360° feedback
- Performance appraisals
- Questionnaires
- ….

Each method off course has its pros and cons. It is important to chose a method that is:

- Adapted to the individual (target group)
- Adapted to the organisation (culture, structure, strategy)
- Focused on concrete behaviour
- Actively involving the employees

Competence management is based on a belief in the development potential of each employee. The ultimate goal is growth of employee, team and organization. Competence development can be mapped by means of a personal development plan. Based on competency measurement, one or more competencies are shifted forward as working points. These are included in a personal development plan (PDP) that is created and worn by the parties involved. To each to be developed competence, achievable objectives and concrete actions are linked. A PDP is used throughout their career and makes for employee and supervisor individual growth and development visible.

3. TrainWind – Competence profile of a wind turbine technician

The TrainWind project benefits the technical staff responsible for the operation and maintenance of equipment in the Wind Energy Sector and facilitates their professional development. The training process is directed towards the young specialists, who are willing to prequalify, or to complement their knowledge and skills for operating the latest technologies and

maintenance of equipment. More information on this EU project, funded by the Lifelong Learning Programme Leonardo da Vinci can be found on the project website http://www.tu-varna.bg/TrainWind/ and in the paper from Ovid Farhi, Vencislav Valchev, Todor Ganchev, Valérie Vanhecke, Idoia Arteta Gorriz, Dirk Bischof, Hristo Nikolov, Velizar Kiriakov, „The TrainWind project: an e-learning platform for vocational training in wind energy technologies", to appear in Proc. of the International Jubilee Conference „50th Anniversary Department ETET", October 4-5 2013, Varna, Bulgaria.

To support this the project partners created a competence profile for wind turbine technicians. Based on literature, job descriptions, interviews with organisations in the sector… a competence profile was created consisting of general behavioural competences and technical competences grouped into six clusters each divided in different competences (table 1).

Table 1: TrainWind Competence clusters

General Attributes	General Personal Skills/ Abilities
	General Physical Abilities
	Teamwork
Site access	Site access
Theoretical (Wind)	Wind Basics
Electrical systems	Basic electrics
	Components
	Control systems
Mechanical and hydraulic systems	Hydraulics
	Mechanical engineering
	Components
	Assembly
	Rotorblades
Health and Safety	Safety precautions
	Fire fighting
	Rescue from heights
	Sea survival
	Working at Heights
	Manual Handling
	COSHH (Control of Substances Hazardous to Health)
	First Aid

Per competence several behavioural indicators were created to be able to assess to which extent each employee obtained that competence.

To be able to do the assessment Syntra West vzw used its software tool Comet and uploaded the created competence profile herein. This software tool allows to do a self-assessment, a 360° feedback or a team analysis based on the created competence profile for wind turbine technicians. After completion of the assessment a report can be generated to show the competence gaps of a certain employee or of the team. Based on these competence gaps a training suggestion can be done to develop certain competences.

Here below are some examples of the Comet software tool and its applications: fig.1 Example of the competence profile in the Comet tool, fig. 2 Example of a self-assessment in Comet, fig. 3 Example of a report – visualization with a bar chart and fig.4 Example of a team analysis.

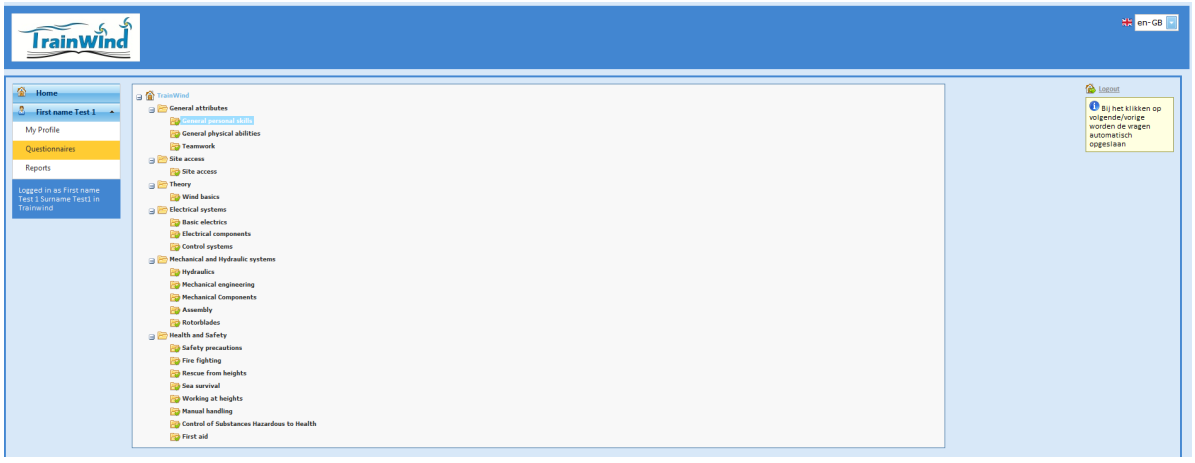


Figure 1. Example of the competence profile in the Comet tool

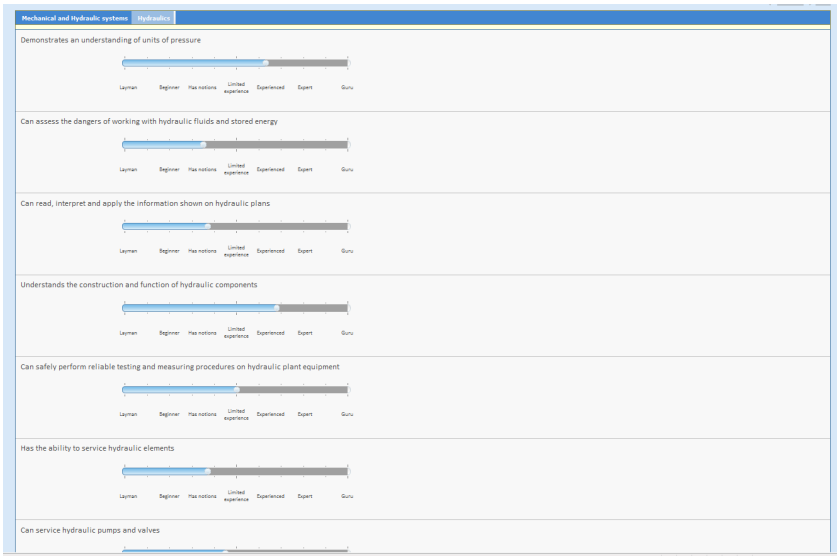


Figure 2. Example of a self-assessment in Comet

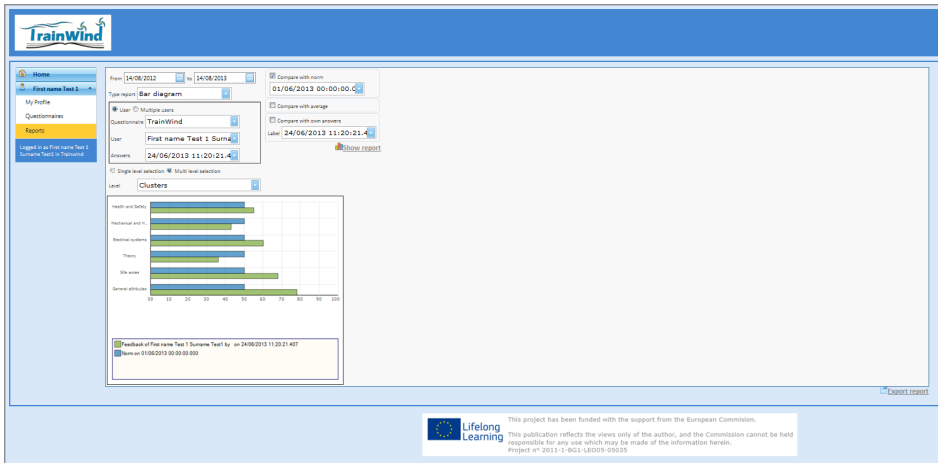


Figure 3. Example of a report – visualisation with a bar chart

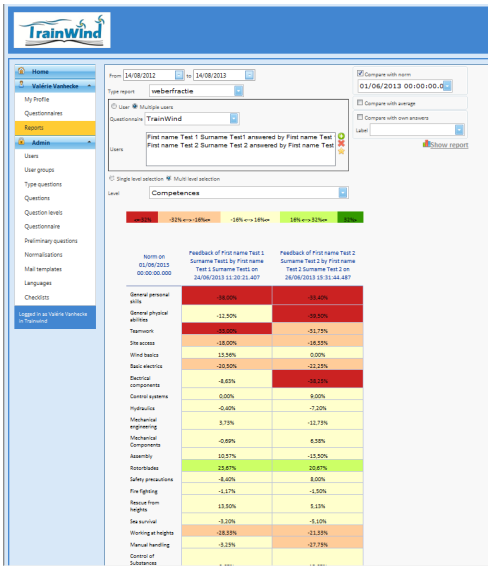


Figure 4. Example of a team analysis (2 team members)

III. CONCLUSIONS

This paper does not give a complete literary overview of all applications of competence management, only some general guidelines and an example of the application of competence management in an EU project.

The created Comet tool has many possibilities. In this case the project partners hope the sector and (potential) employees will benefit from the tool by being able to do pre- and post-assessment tests. Competences, gaps and progress can be monitored by using this tool. Linked to the training package provided as another result of the TrainWind project the partners hope to have created a complete support package for the sector.

IV. ACKNOWLEDGEMENTS

The work reported in the present paper have been supported by the project TrainWind (2011-1-BG1-LEO05-05035) “Transfer of innovative VET system in Wind Energy Technologies”, partially cofounded by the Lifelong Learning Programme “Transfer of Innovation, Multilateral Projects, Leonardo da Vinci Lifelong Learning Programme (LLP)” of the Directorate-General Education and Culture of the European Commission.

REFERENCES:

[1] VOKA – Kamer van Koophandel, WegWijs in competenties, ESF-project Praktijkgids
[2] Van Beirendock L., Iedereen competent, Scriptum, Schiedam, 2009.
[3] Seynhaeve K., Praktijkgids competentieontwikkeling, Acco, Leuven, 2006.
[4] www.werk.be
[5] European Commission, Assessment of Key Competences in initial education and training: Policy Guidance, Strasbourg, 2012
[6] www.vdab.be

Contacts:

Valérie Vanhecke, Project Office, Syntra West, Spoorwegstraat 14, 8200 Brugge, Belgium
Phone: +32-50-40 30 84,
Email: valerie.vanhecke@syntrawest.be

Reviewer:

Assoc. Prof. Dr. Eng. Bohos Aprahamian - TU-Varna

INTERACTIVE MULTIMEDIA TOOLS AND APPLICATIONS IN VOCATIONAL EDUCATION IN WIND ENERGY TECHNOLOGIES

Vencislav Valchev

Abstract: The current paper presents a specialized set of internet based interactive tools. The tools are implemented in an e-learning platform developed for the needs of the project TrainWind. The means to accomplish interactivity through the use of different computer design technologies as flash animations, three dimensional visualization software and vector graphics are discussed. The capability of these technologies to provide a wide range of tools and approaches to design specific for the course graphical products with better user acceptance and opportunities for user control and participation are presented. As a concussion a presentation of the contribution to better efficiency of the educational process tough the proposed interactivities is made.
Keywords: Wind energy technologies, interactive tools, internet media

I. INTRODUCTION

Conventional electrical energy generation has in many ways proven to be a leading cause for fuel poverty and ecologic degradation. An alternative on conventional electric generation based on fossil fuels or nuclear fission are the so called renewable energy sources.

Renewable energy sources are based on various power inputs that can be renewed over reasonable amount of time. One of the most popular renewable energy sources include solar and wind energy.

Wind energy is converted into electrical energy by the means of devices called wind energy generators. Wind energy is a popular in the European Union (EU) as well as in Bulgaria.

Currently more than 100GWs of wind energy have been installed across EU and more than 680MWs are installed in Bulgaria. Furthermore future plans consider installation of 150MWs of new power across the EU until 2030 and 800MWs of power across Bulgaria until 2030. [1]

This significant amount of turbines requires numerous work hours in maintenance and installation. Thus wind turbines have to be supported by appropriate workforce. Studies show that 15 workers are required for operation and maintaining each MW of installed wind energy power. Workers involved in wind energy generation are required to have a broad knowledge in electrics, mechanics and hydraulics. At the same time experience in work at highs and safety specifics are needed. This puts high demands on the wind turbine specific expertise that workers should acquire before starting actual work on wind turbines. [2] [3]

As renewable energy sources are quite new concept, presently there are few education programs in high schools that train workers for maintenance and operation of wind turbines. As example up-to date information for Bulgaria shows that currently there are 10 high school programs for training in wind energy technologies and 11 university one. [3] Furthermore the wind turbine technician has to complete a number of training courses in order to obtain the certificates required to work on a wind turbine.

In this scope a specialized vocational education training course has been developed. The TrainWIND course combines the efforts of several European countries including: Bulgaria represented by the Technical University of Varna, ABC Wind Farm and the Association of producers of ecologic energy; Belgium represented by Syntra West; Spain represented by CENIFER; and the UK represented by the Embrace Corporation. The work on the course is funded by the Human Resource Development center - program Leonardo de Vinci (LLP)

The main purpose of the TrainWIND course is to offer an electronic based training platform that can prepare future wind turbine workers. The platform provides basic and specific knowledge on: wind energy fundamentals, wind turbine fundamentals, wind turbine maintenance, wind turbine safety. The educational materials provided aim at people that have experience or education for technicians and seek jobs in the sector but have no prior knowledge on wind turbines. This proves advantages for both employers and employees as the following courses that the worker has to attend, in order to obtain required certificates, will be easy to master due to initial fundamental knowledge.

As an online training course the TrainWIND faces many challenges, since most existing courses, as well as the source material are not developed as online courses. Not prior online resources for education in wind energy were

available when the course was developed. This led the team working on the TrainWIND course to seeking new techniques for representing and visualizing the education material. Many of the multimedia on the source material was replaced by innovative interactive tools.

The current paper aims at presenting those materials and point their advantages in the scope of the above introduced importance of wind energy and consequently education and training in wind energy.

II. MAIN CONSIDERATION ON CONVERTING INTERACTIVE MULTIMEDIA

By analyzing the content of the initial source course material [4] and the specifics of its multimedia content several direction of improvements trough interactive content were considered. Those included:

- *Reducing the window space that each of the multimedia materials takes.*

Since the course is online - best reading and browsing through the materials is obtained by concentrating the education material of one sub-section into one computer screen - scrolling should be avoided since it distracts the reader. This however proves difficult because of the size of and number of formulas, diagrams, pictures and their description - contained in each section.

- *Adding user interaction in order to improve the learning process.*

A major advantage for online education materials is the possibility of adding user interaction. This allows - learning trough visual demonstration and experience. Such materials however are not widely available and should be developed for the specific case.

- *Developing additional interactive tools for visualizing and describing material that is otherwise difficult to explain.*

Wind turbine specifics contain a lot of effects and processes that can be hard to explain and be thought outside the scientific and engineering language. The TrainWIND on the other hand is course aimed at vocational training of people with high education. In order to present those materials special animated movies and user interactions can be developed.

- *Improving the overall quality of the course and developing materials that can be viewed in the selected platform.*

Here conventional materials can be further developed in order to improve their graphical quality and compatibility with online platforms.

III. INTERACTIVE TOOLS DEVELOPED

Following the indentified specific described in the previous section several approaches based on existing and newly developed interactive media concepts were taken. Those included:

1. Interactive equations

The interactive formula content includes a set of wind energy specific equations that presented as an application. In conventional visual representation the different elements of the

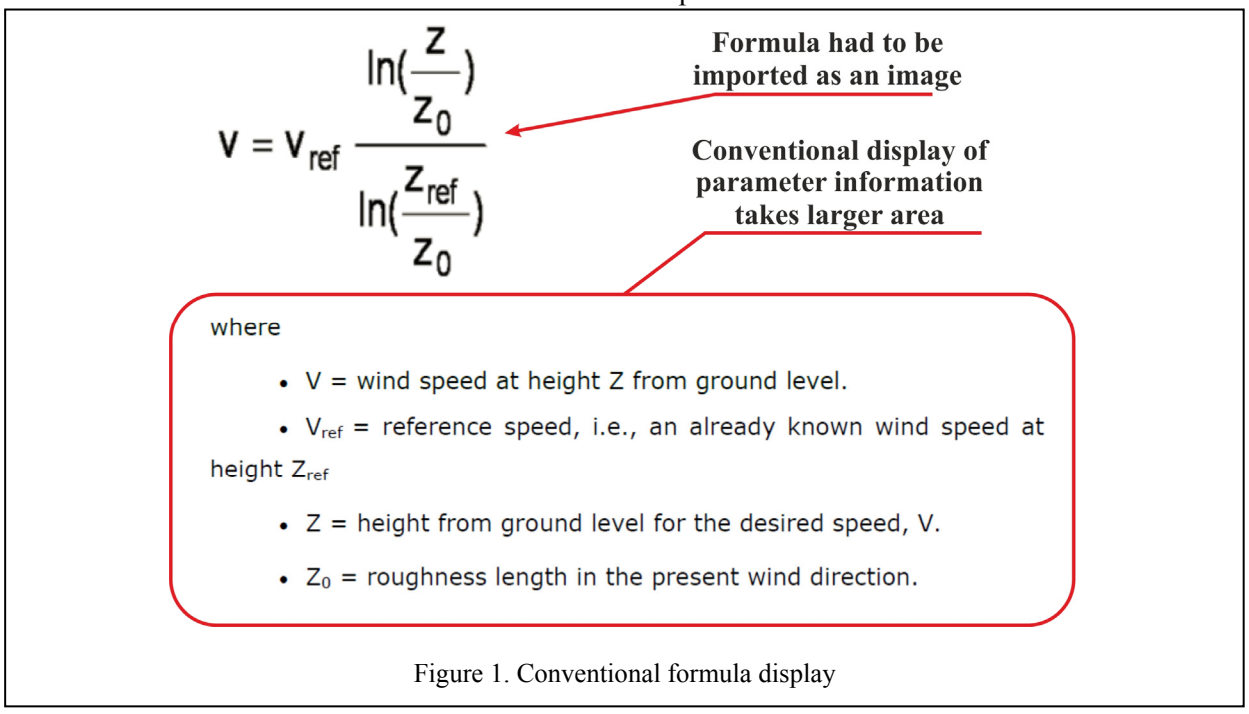


Figure 1. Conventional formula display

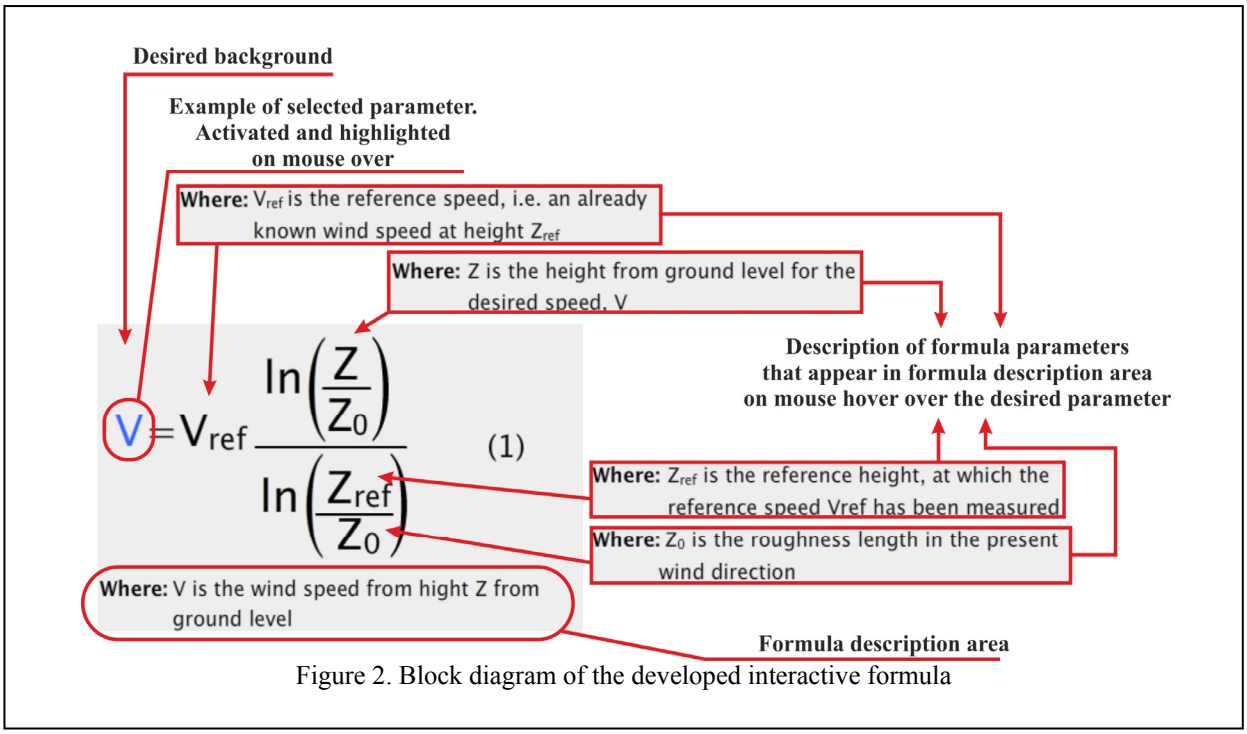


Figure 2. Block diagram of the developed interactive formula

equitation which have not been presented to the reader are described in text bellow the equation - Fiugre 1. This however takes of the screen size - each equation element description takes at least one line of text. In this way presenting equations with several elements could take more screen space. This makes it difficult to fit sections into separate one screen presentations - which as explained before deteriorate the quality of the course.

The developed solution uses a simple interactive media with a minimum of code programming. In this interactive media the elements of the equation are presented to the user by pointing on them - providing description to one element at a time. This saves up screen space, as well as adds exploration to the learning process. It also lets the user pick up the equation components that he doesn't know.

The developed interactive equation is presented and described in detail on figure 2.

2. Interactive visualization of specific in installing wind generators

Visualization in vocational education and training is a predominant factor. Usually when courses are short and present only the essentials visual information plays an important role. A majority of the of the visuals developed for the course are dedicated to installation of wind generators. In order to comply with the set directions in the previous chapter, most of the information is presented in the form of interactive tables. Those tables allow an easy grouping of the information in sections, as well as reduce the overall space taken in one course screen.

The developed interactive media that is used for visualization is presented and explained in figure 3.

3. Interactive representation and visualization of control in wind generators

Those visualizations were used in order to improve the presentability of the course materials and allow the wind turbine specific to be explained without the use of high level engineering on scientific language. Those of materials included two types of representation - three dimensional (3D) animations and two dimensional (2D) animations. An example of the 3D approach is presented at figure 4 and an example of the 2D approach is presented at figure 5.

IV. CONCLUSIONS

The paper had presented three inactive media methods used to improve the quality of online courses in renewable energy and more specifically - wind energy technologies. The discussed methods are based on set of directives developed throughout the course development. Each the interactive media presents possibilities of reducing the content screens and improving quality and interaction.

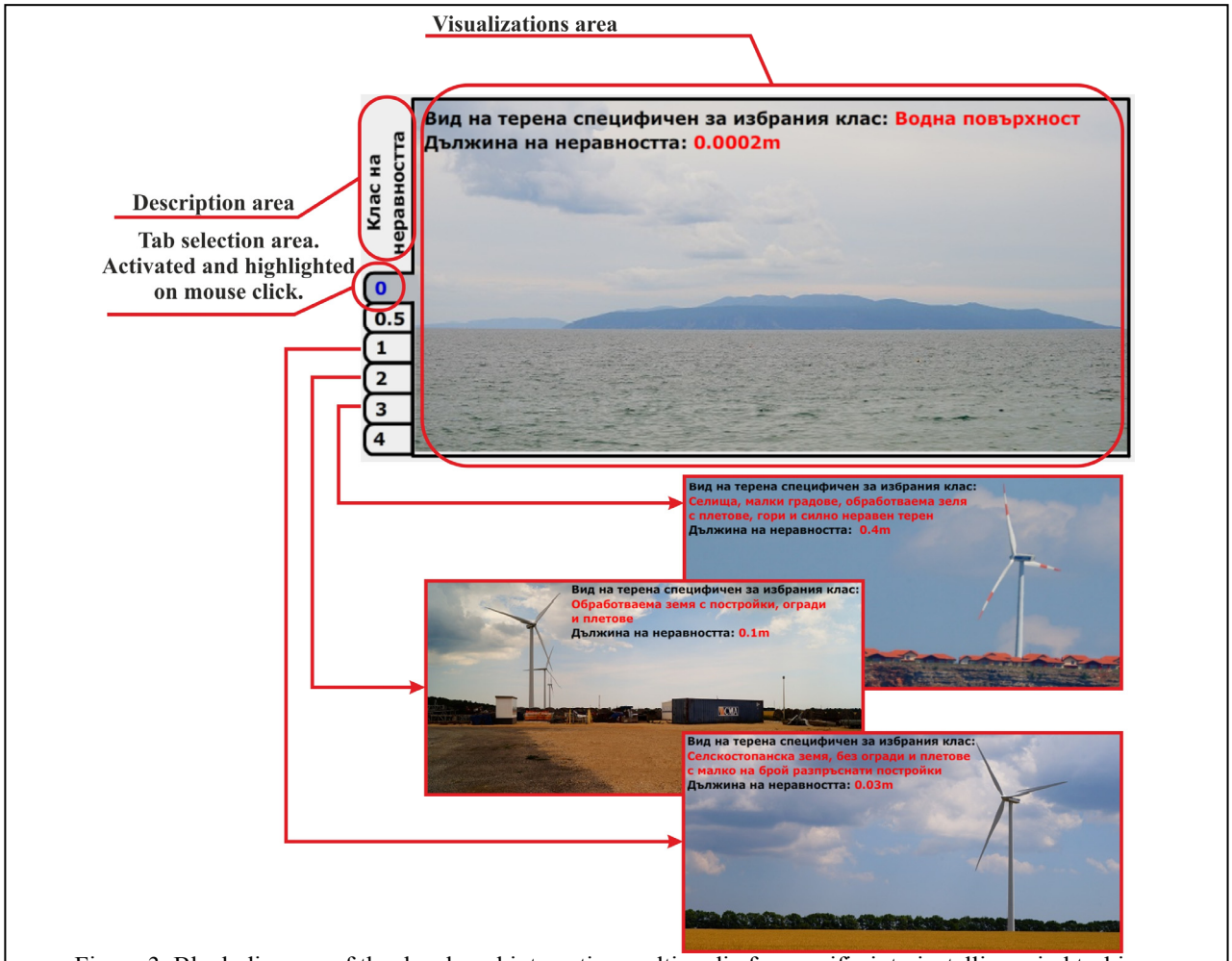


Figure 3. Block diagram of the developed interactive multimedia for specific into installing wind turbines

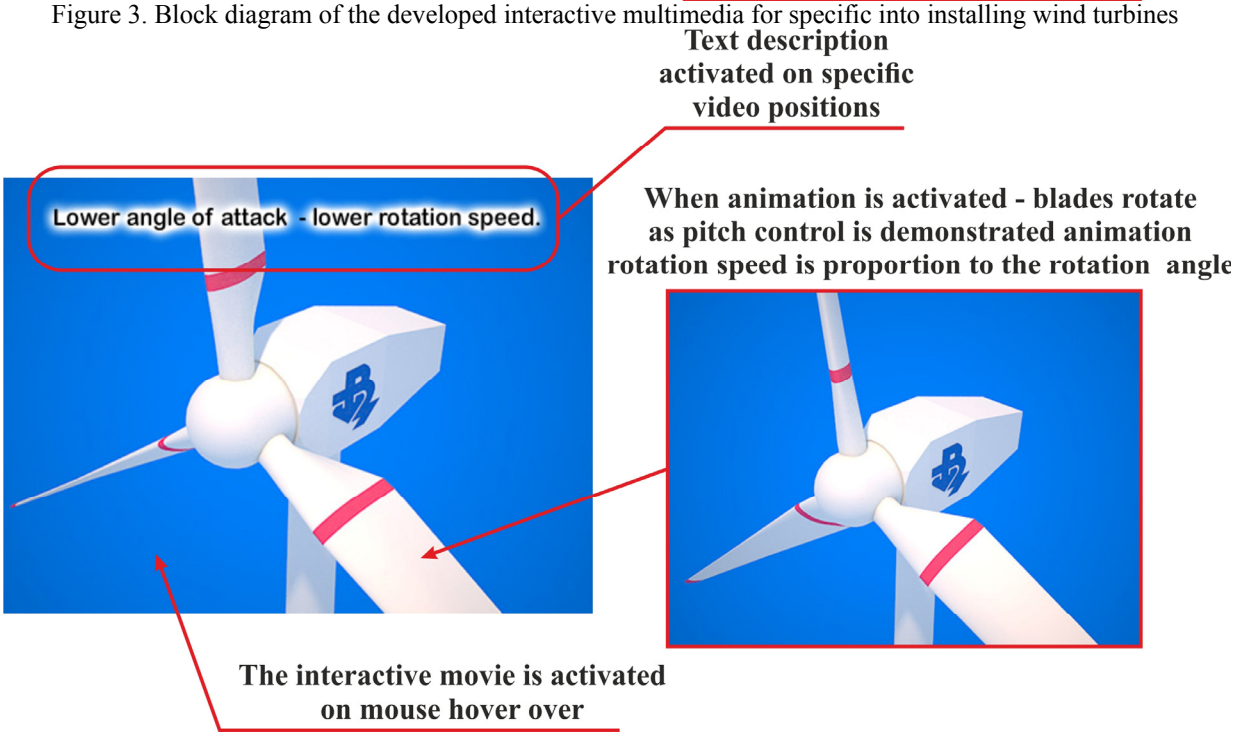
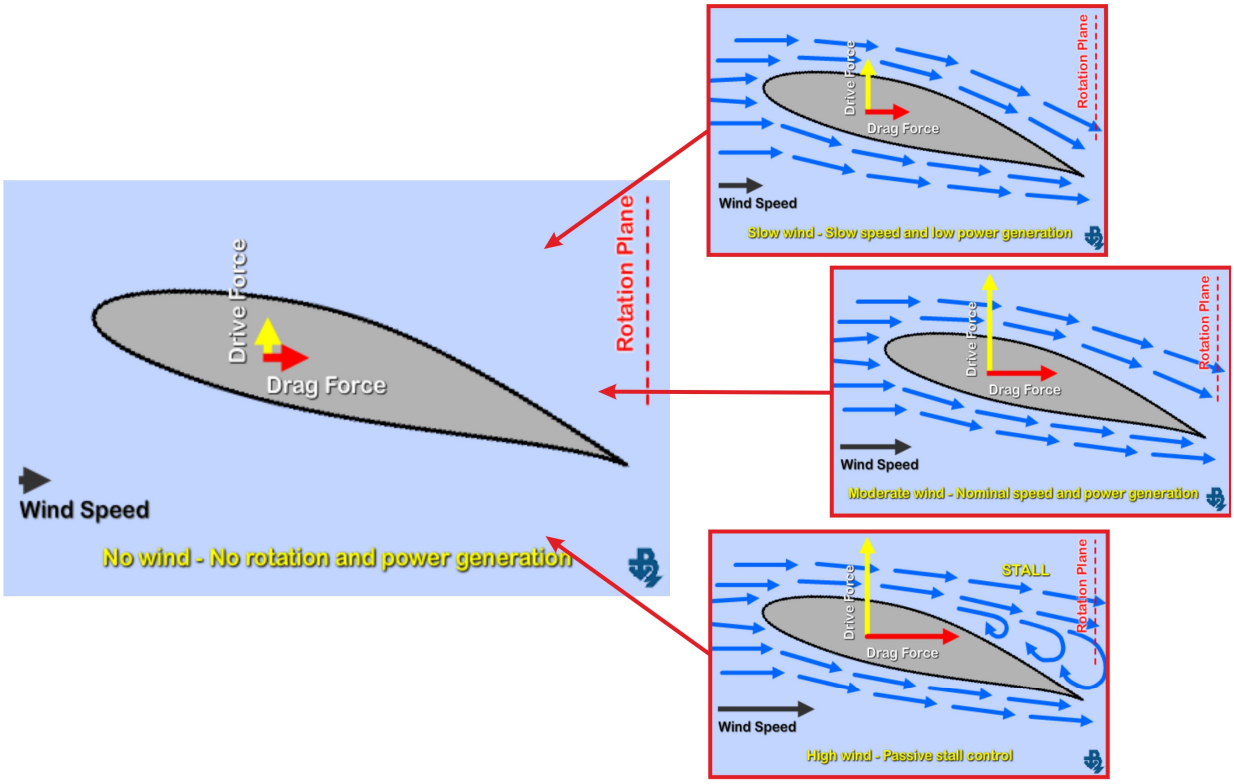


Figure 4. Block diagram of the developed interactive 3D representation and visualization of control in wind generators



Frames from the animation demonstrating the stall control. Animation activated on mouse hover over.

Figure 5. Block diagram of the developed interactive 2D representation and visualization of control in wind generators

REFERENCES:
[1]. Wind in power: 2012 European statistics, EWEA
[2]. Report: Workers wanted:The EU wind energy sector skills gap, EWEA, August 2013
[3]. Need Analysis handbook, TrainWind project, 2012
[4]. TrainWind - e-learnign course, http://195.216.228.11/www/index.php, 2013

Contacts:
Vencislav Valchev, Department of Electronics and microclectronics, Technical University of Varna, "Studentska" str. N1, 9010, Varna, Bulgaria
Phone: +359-52-383-266,
Email: vencivalchev@hotmail.com

Reviewer:
Assoc. Prof. Dr. Eng. Margreta Vassileva
TU-Varna