



Технически Университет - София



Електротехнически факултет

# **ДНИ НА НАУКАТА В ТУ – СОФИЯ**

## **I Научна конференция**

### **ЕФ 2009**

Созопол, 1 – 4 октомври 2009 г.

**СЪДЪРЖАНИЕ****Секция „ЕЛЕКТРОТЕХНИКА” ..... 6**

МОДЕЛИРАНЕ НА ЛАБОРАТОРНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ТРАНСФОРМАТОРИ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА MATLAB/SIMULINK .....	7
Радослав Спасов .....	7
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА АСИМЕТРИЧНО АКСИАЛНО ИЗМЕСТВАНЕ НА ПОЛЮСИТЕ НА ХИДРОГЕНЕРАТОРИ ВЪРХУ ВИБРАЦИИТЕ.....	12
Димитър Сотиров, Пламен Ризов, Ивайло Панайотов .....	12
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДОПУСТИМИТЕ ГРАНИЦИ НА ИЗМЕНЕНИЕ НА РЕАКТИВНАТА МОЩНОСТ НА ХИДРОГЕНЕРАТОРИ В ЗАВИСИМОСТ ОТ ЗАГРЯВАНЕТО НА КРАЙНИТЕ ПАКЕТИ НА СТАТОРА .....	19
Димитър Сотиров, Михо Михов, Стоян Баташки.....	19
МОБИЛНА ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА С МИКРОПРОЦЕСОРНО УПРАВЛЕНИЕ ЗА ИЗСЛЕДВАНИЯ, ТЕСТВАНЕ И ИЗПИТАНИЯ НА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ .....	27
Стоян Гишин, Васил Господинов, Красимир Боев .....	27
МЕТОДИКА ЗА ИЗСЛЕДВАНИЯ, ТЕСТВАНЕ И ИЗПИТАНИЯ НА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ.....	32
ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕЖДУНАВИВКОВО КЪСО СЪЕДИНЕНИЕ В ТРАНСФОРМАТОР .....	40
Георги Тодоров, Калин Благов, Георги Ганев.....	40
ВЛИЯНИЕ НА ПОСОКАТА НА ОТНОСИТЕЛНОТО ДВИЖЕНИЕ ВЪРХУ ИЗХОДНИЯ СИГНАЛ НА ТРАНСФОРМАТОРЕН ЕЛЕКТРОМАГНИТЕН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ С ОТМЕСТЕНИ НАМОТКИ.46	
Стефчо Гунински и Валери Иванов.....	46
ЕДИН ПОДХОД ЗА РЕШАВАНЕ НА МЕТРОЛОГИЧНИТЕ ПРОБЛЕМИ ПРИ ПОВИШАВАНЕ НА ТОЧНОСТТА НА СИСТЕМИТЕ ЗА ТЪРГОВСКО ИЗМЕРВАНЕ НА ГОЛЕМИ КОЛИЧЕСТВА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ.....	53
Петко З. Костадинов, Живко А. Даскалов, Стефчо Г. Гунински и Калинка М. Тодорова .....	53
НОВИ ВИСОКОЕФЕКТИВНИ ИЗОЛАЦИОННИ СИСТЕМИ ЗА ВИСОКОВОЛТОВИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ .....	60
Димитър Сотиров, Пламен Ризов, Валентин Филипов, Владимир Дойчев, Боян Крачев.....	60
АНАЛИЗ НА ОБЩИТЕ ИЗИСКВАНИЯ ПРИ ОФОРМЯНЕ НА ТЕХНИЧЕСКА ДОКУМЕНТАЦИЯ.....	69



---

Калинка Тодорова .....	69
МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛИРАНЕ НА АСИНХРОНЕН ГЕНЕРАТОР С НАКЪСО СЪЕДИНЕН РОТОР .....	77
Владимир Лазаров, Людмил Стоянов, Костадинка Бъндева, Захари Зарков, Димитър Спиров .....	77
МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛИРАНЕ НА АСИНХРОНЕН ГЕНЕРАТОР С НАВИТ РОТОР .....	86
Владимир Лазаров, Людмил Стоянов, Костадинка Бъндева, Захари Зарков, Димитър Спиров .....	86
МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛИРАНЕ НА СИНХРОНЕН ГЕНЕРАТОР .....	94
Владимир Лазаров, Димитър Спиров, Захари Зарков, Людмил Стоянов .....	94
УПРАВЛЕНИЕТО НА ЕНЕРГИЙНИТЕ ПОТОЦИ В ХИБРИДНА СИСТЕМА С ВЪЗОБНОВЯЕМИ ИЗТОЧНИЦИ НА ЕНЕРГИЯ .....	102
Брюно Франсоа, Владимир Лазаров, Жил Нотон, Людмил Стоянов, Захари Зарков, Християн Кънчев .....	102
ЕДНОФАЗЕН ИНВЕРТОР ЗА ВЪЗОБНОВЯЕМИ ИЗТОЧНИЦИ НА ЕНЕРГИЯ, СВЪРЗАН С МРЕЖАТА .....	110
Владимир Лазаров, Захари Зарков, Християн Кънчев .....	110
ЙОННО-ПЛАЗМЕНО ЕЦВАНЕ И ФУНКЦИОНАЛИЗИРАНЕ НА ПОЛИ(ДИМЕТИЛСИЛОКСАНОВИ) ПОВЪРХНОСТИ .....	119
Петър Динев, Тодорка Владкова, Диляна Господинова, Иван Керанов .....	119
ХОМОГЕНЕН АТМОСФЕРЕН БАРИЕРЕН РАЗРЯД .....	132
Петър Динев .....	132
ИЗСЛЕДВАНЕ НА УМОКРЯНЕТО НА НИСКОЕНЕРГИЙНИ ПОВЪРХНОСТИ СЛЕД ПЛАЗМЕНО-ХИМИЧНО ОКИСЛЕНИЕ .....	141
Петър Динев, Диляна Господинова .....	141

**Секция “ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА И ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ” ... 150**

СТЕНД - СИМУЛАТОР НА ОПЕРАТИВНИ ПРЕВКЛЮЧВАНИЯ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИ УРЕДБИ.....	151
Десислав Тодоров, Андрей Крумов, Александър Овчаров, Красимир Боев, Георги Бакалски, Атанас Апостолов, Добри Добрев, Стефан Драгостинов, Маргарита Гъркова, Албена Костова, Емил Вълчев.....	151
МОДЕЛИРАНЕ НА ПРИХОДИТЕ ПРИ АНАЛИЗ НА ПРОЕКТИТЕ С ВЪЗОБНОВЯЕМИ ИЗТОЧНИЦИ НА ЕНЕРГИЯ .....	156
Кондю Андонов, Красимир Мартев, Константин Коев, Огнян Диолов, Атанаска Новакова .....	156
РАЗРАБОТВАНЕ НА УНИФИЦИРАНА МЕТОДИКА ЗА ОБУЧЕНИЕ ПО ОБСЛЕДВАНЕ ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА АСИНХРОННИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ.....	162
Огнян Диолов, Кондю Андонов, Анка Кръстева, Константин Коев ....	162
СИСТЕМА ЗА АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА УЛИЧНИ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ .....	166
Ангел Пачаманов, Николай Матанов, Константин Христов .....	166
УПРАВЛЕНИЕ НА ИНВЕРТОРНО АСИНХРОННО ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ С ПРОГРАМИРУЕМ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕР ОТ ФАМИЛИЯТА SIMATIC S7-200 НА SIEMENS .....	175
Георги Павлов, Васил Димитров .....	175
ИЗСЛЕДВАНЕ СЕЗОННИТЕ КОЛЕБАНИЯ НА СЛЪНЧЕВАТА ЕНЕРГИЯ .....	181
Ивайло Стоянов.....	181
ИЗСЛЕДВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНА СИСТЕМА НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ ЗАХРАНВАЩА ПОМПЕНА СТАНЦИЯ.....	186
Светлана Цветкова, Ангел Петлешков, Цанчо Цанев.....	186
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГЕТИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ ИНСТАЛАЦИИ ЗА ГЕОГРАФСКОТО МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ НА ГР. ВАРНА .....	193
Владимир Чиков, Валентин Гюров, Румен Киров.....	193
СТЕНД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕАКТИВНИ ТОВАРИ С ПРОМЕНЛИВ ХАРАКТЕР И ТЯХНОТО КОМПЕНСИРАНЕ.....	199
В Георгиев, Б. Бойчев, Н. Матанов, В. Господинов .....	199
СКАЛАРЕН МОДАЛЕН АДАПТИВЕН СТАБИЛИЗАТОР ЗА СТАТИЧЕН УПРАВЛЯЕМ КОМПЕНСТОР .....	204
Николай Джагаров, Живко Гроздев, Милен Бонев.....	204



---

КОНСТРУИРАНЕТО НА УЛИЧНИ ОСВЕТИТЕЛИ СЪС СВЕТОДИОДИ ИЗИСКВА НОВИ БАЗИ ЗНАНИЯ .....	210
Христо Василев, Вълчан Георгиев, Ганчо Ганчев .....	210
ОПТИМИЗИРАНЕ ЗАГУБИТЕ НА МОЩНОСТ И ЕЛ. ЕНЕРГИЯ ЧРЕЗ НАМАЛЯВАНЕ ПЛЪТНОСТТА НА ТОКА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ МРЕЖИ СН И НН В КОМУНАЛНО-БИТОВИЯ СЕКТОР.....	224
Валентин Гюров, Румен Киров, Владимир Чиков.....	224
СИСТЕМА ЗА МРЕЖОВО УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛ НА ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ В ОБЩЕСТВЕНИ СГРАДИ.....	230
Ангел Пачаманов, Ива Петринска, Николай Матанов.....	230
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ТИПОВИ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ В ХОТЕЛИ.....	238
Камелия Николова .....	238
АСПЕКТИ НА ПРОМЕНИТЕ В УПРАВЛЕНИЕТО НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА СИСТЕМА, СВЪРЗАНИ С ДИРЕКТИВА 2009/72/ЕС И ПРОИЗТИЧАЩИ ОТ ТЯХ ВЪЗМОЖНОСТИ .....	248
Мария Кънева, Димо Стоилов .....	248
ПОСТОЯННОТОКОВ ЦИФРОВ АМПЕРМЕТЪР ЗА ЛАБОРАТОРНИ СТЕНДОВЕ .....	254
Иван Ангелов .....	254
ФОТОВОЛТАИЧНА СИСТЕМА ЗА РАЙОННО ОСВЕТЛЕНИЕ .....	258
Мирослав Петков.....	258
ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИНСТАЛАЦИИ .....	265
Захари Иванов .....	265
ОГРАНИЧАВАНЕ НА БЛУЖДАЕЩИТЕ ТОКОВЕ ПРИ ПОСТОЯННОТОКОВ РЕЛСОВ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСПОРТ .....	272
Полина Петкова.....	272
ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ И СВЕТЛИННИ ТЕХНОЛОГИИ .....	277
Христо Василев .....	277



ТУ-София

Дни на Науката в ТУ-София



Електротехнически факултет

I Научна конференция ЕФ'2009

Созопол, 1 – 4 октомври 2009 г.

---

# Секция „ЕЛЕКТРОТЕХНИКА”



## МОДЕЛИРАНЕ НА ЛАБОРАТОРНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ТРАНСФОРМАТОРИ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА MATLAB/SIMULINK

Радослав Спасов

**Резюме:** Тази статия описва създадените в среда MATLAB/Simulink модели за изпитване на трансформатори при натоварване, празен ход и късо съединение, както и методите за определяне на параметрите на заместващата схема. Тези симулационни модели са създадени с цел повишаване нивото на обучение на студентите обучавани в Електротехнически факултет на ТУ-София

### УВОД

Курсът по електрически машини е един от основните за всички студенти от Електротехнически факултет на Технически университет – София. Той се състои, както повечето основни курсове, от лекции, семинарни упражнения и лабораторни упражнения. Основните предпоставки за въвеждане на симулационни модели в курса по електрически машини са следните:

Широкото разпространение на мощни математически пакети за изследване на разнородни физически процеси като MATLAB

Възможност за методологично обединение на лекционния материал със семинарните и лабораторните упражнения;

Достъпно и интересно представяне на сложните процеси за преобразуване на енергията в електрическите машини.

Директно съпоставяне на резултатите от лабораторните измервания с теоретичните модели на електрическите машини

Като първа стъпка в процеса на осъвременяване на лабораторните упражнения в катедра „Електрически машини“ е разработен стенд за изследване на трифазен трансформатор. Стенда се състои от измервателна част за аналогово и цифрово измерване на входящите и изходящите величини, компютърна система за обработка на цифровите резултати от измерванията и методика и модели в среда MATLAB за предварително симулиране на лабораторните упражнения. В тази статия е представен модела за лабораторно упражнение за изследване на трифазен трансформатор и методологията за определяне на параметрите на заместващата схема по която е съставен математическия модел на трансформатора.

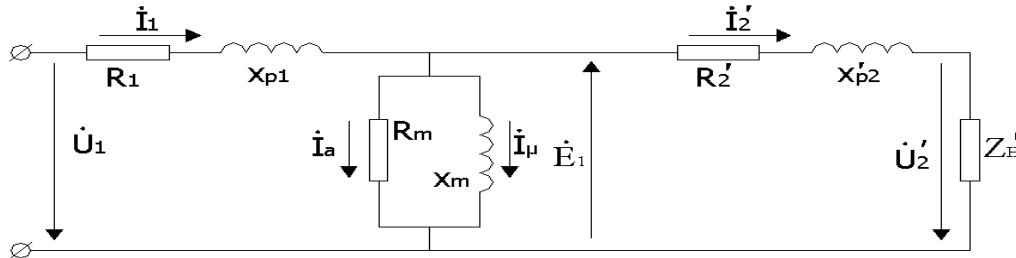
### Моделиране на лабораторни упражнения за изследване на трансформатор в среда MATLAB

Заместващата схема за изследване на работните характеристики на трансформатора е показана на фиг.1, а симулационният модел е показан на фиг.2.

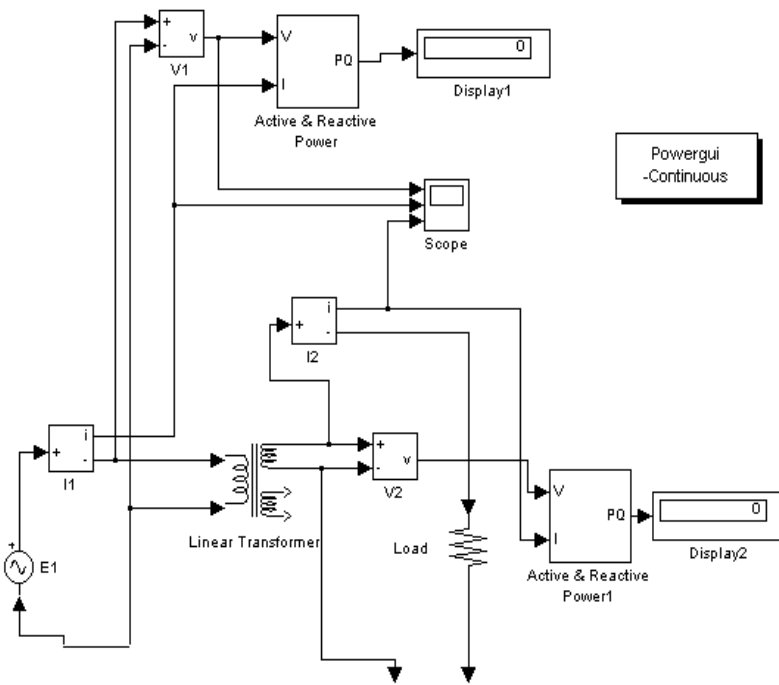
Параметрите на заместващата схема на трансформатора са представени в относителни единици.

Базовите означения на параметрите на трансформатора са: изчислителна пълна мощност  $S$ , обозначена като  $P(VA)$ , номинална честота (Hz), номинално напрежение (V) на съответната намотка. За всяка намотка относителните съпротивление и индуктивност се определят с изразите:

$$R_n(pu) = \frac{R_n}{Z_{bn}}; \quad L_n(pu) = \frac{x_n}{Z_{bn}}, \quad \text{където } Z_{bn} = \frac{U_n^2}{S} \quad (1)$$



Фиг.1 Заместваща схема за изследване на трансформатора



Фиг.2 Модел за изследване на трансформатора

Параметрите на трансформатора в относителни единици изчислени от паспортните данни на завода производител по изразите:

$$R_m = \frac{R_0}{Z_b} = \frac{S}{U_1 I_{10} \cos j_0}, \quad L_m = \frac{x_0}{Z_b} = \frac{S}{U_1 I_{10} \sin j_0}, \quad j_0 = \arccos \frac{P_{10}}{U_1 I_{10}} \quad (2)$$

$$3) R_1 = R_2' = \frac{R_k}{2Z_b} = \frac{S U_k \cos j_k}{2U_1^2 I_H}, \quad L_{p1} = L_{p2}' = \frac{x_k}{2Z_b} = \frac{S U_k \sin j_k}{2U_1^2 I_H}, \quad j_k = \arccos \frac{P_k}{U_k I_H}$$





Работните характеристики получени от модела при изменение на товара от нула до номиналния за чисто активен товар ( $\cos\varphi = 1$ ) са представени на фиг.3.

Следващата стъпка е да се изчислят параметрите на заместващата схема на трансформатора с данни от проведените опити на празен ход и късо съединение. От опита на празен ход могат да се изразят параметрите на намагнитващия клон  $Z_m$ ,  $r_m$  и  $x_m$ . Това се осъществява като се пренебрегнат параметрите на първичните намотки които са с незначителни стойности при опит на празен ход.

$$(4) \quad z_0 = |Z_1 + Z_m| \approx Z_m; \quad r_0 = r_1 + r_m \approx r_m; \quad x_0 = x_1 + x_m \approx x_m$$

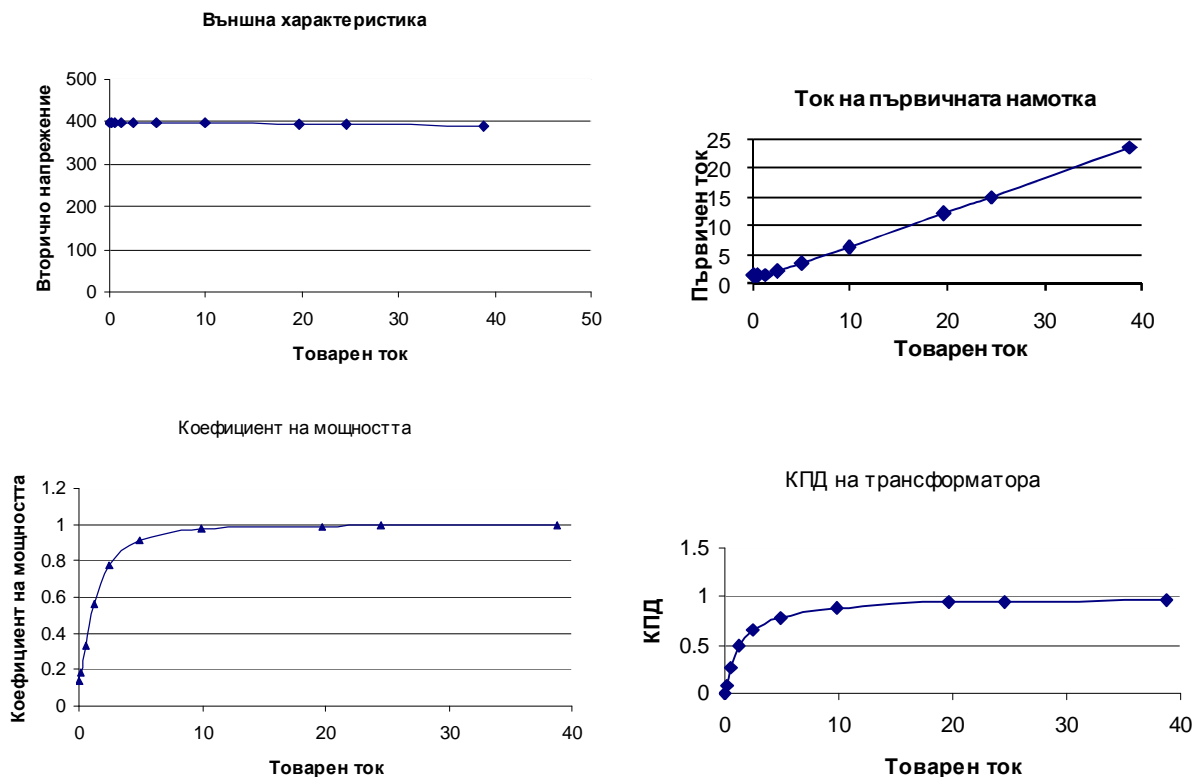
Тук  $z_1$ ,  $r_1$  и  $x_1$  са съответно пълното, активното и индуктивното съпротивление на разсейване на първичната намотка,  $Z_m$  – пълното съпротивление на намагнитващия клон,  $r_m$  – активното съпротивление което отчита загубите в стоманата,  $x_m$  – индуктивното съпротивление на взаимна индукция. Определянето на параметрите на намагнитващия клон за изследвания трансформатор става по:

$$\begin{aligned} z_0 &= z_m = \frac{U_0}{\sqrt{3} I_0} \quad \text{за} \quad U_0 = U_n \\ r_0 &= r_m = \frac{P_0}{3 I_0^2} \\ x_0 &= x_m = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} \end{aligned} \quad (5)$$

От получените от опита на късо съединение стойности на  $P_k$ ,  $U_k$  при  $I_k = I_n$  се изчисляват параметрите на заместващата схема които се отнасят към намотките на трансформатора. За определянето на горните величини се пренебрегва влиянието на намагнитващия контур.

$$z_k = |Z_1 + Z_2'|; \quad r_k = r_1 + r_2'; \quad x_k = x_1 + x_2' \quad (6)$$

$$\begin{aligned} z_k &= \frac{U_k}{\sqrt{3} I_k} \quad \text{за} \quad I_k = I_n, \quad r_k = \frac{P_k}{3 I_k^2} \\ x_k &= \sqrt{z_k^2 - r_k^2} \end{aligned}$$



Фиг.3 Работни характеристики на трансформатор

Реда за провеждане на лабораторното изследване на трифазен трансформатор е следният:

1. Запознаване на студентите със софтуера и хардуера на лабораторния стенд
2. По данните от табелката на трансформатора, студентите определят параметрите на заместващата схема, използвана в модела
3. С получените параметри се симулират опитите на празен ход и късо съединение
4. Провеждат се реални опити на празен ход и късо съединение, като данните се събират от цифровата система и от аналоговите апарати.
5. Изчисляват се параметрите на заместващата схема по данните от опита на празен ход и на късо съединение
6. С получените параметри отново се симулират проведените изпитания
7. Сравняват се резултатите от симулациите и реално проведените експерименти.
8. След анализ на точността на модела и стойностите на параметрите се симулира работа на трансформатора при различни товари
9. Построяват се работните характеристики на трансформатора

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на грешките получени при симулиране на опита на празен ход и на късо съединение на трифазен трансформатор показва, че този модел е добро средство за анализ на работата на трансформатора в установен режим и при плавно изменение на натоварването. При преходни режими на работа и при работа с нелинейни товари грешките са значителни, затова работата за усъвършенстване на лабораторния стенд е насочена към



въвеждане на модели с променливи параметри и модели за оценка и изчисляване на параметрите.

Въпреки недостатъците си, модела за лабораторни упражнения е много добро средство за обучение и за предварителна оценка на работните характеристики на трансформатор по каталожни данни.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] SIMULINK, Model-Based and System-Based Design, Using Simulink, MathWorks Inc., Natick, MA, 2000.

[2] SimPowerSystems for Use with Simulink, User's Guide, MathWorks Inc., Natick, MA, 2002

[3] **IEEE Std C57.110™-2008** IEEE Recommended Practice for Establishing Liquid-Filled and Dry-Type Power and Distribution Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents

[4] **IEEE Std C57.12.36™-2007** IEEE Standard Requirements for Liquid-Immersed Distribution Substation Transformers

[5] Rafajlovski G., Ratz, Emil, Manov D., Hristovski D., Modeling Analysis and Simulation of Motor Parameter Variation in Vector Controlled Electrical Drives., IEEE, PESC97 Volume II, pp. 1475-1479, Catalog Number 97CH36043, Missouri, USA, 1997.

[6] Rafajlovski G., Ratz, Emil, Manov D., Hristovski D., Assessment of Motor Parameter Variation in Vector Controlled Induction Motor, Proceeding of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol.2., pp.522-526, Guimaraes – Portugal, ISIE'1997.

Гл. ас д-р Радослав Лазаров Спасов - Технически университет - София, катедра „Електрически машини”, [rls@vmei.acad.bg](mailto:rls@vmei.acad.bg)

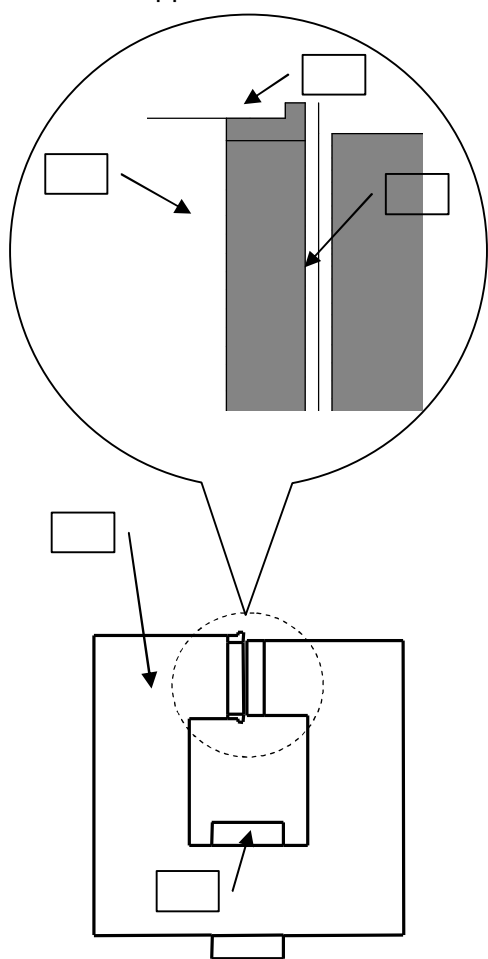
## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА АСИМЕТРИЧНО АКСИАЛНО ИЗМЕСТВАНЕ НА ПОЛЮСИТЕ НА ХИДРОГЕНЕРАТОРИ ВЪРХУ ВИБРАЦИИТЕ

Димитър Сотиров, Пламен Ризов, Ивайло Панайотов

**Резюме:** Тази При ремонт на хидрогенератори съпроводен с цялостен демонтаж на ротора и статора при последващото монтиране на хидрогенератора е възможно да се допусне изместване на магнитните оси на ротора и статора в аксиално направление или неравномерно изместване по височина на полюсите на ротора. В тези случаи при възбуждане на хидрогенератора на празен ход се появяват небалансирани сили, които имат електромагнитен характер. Те обуславят вибрации в лагерните възли, амплитудата на които е пропорционална на големината на възбудителния ток.

Целта на настоящата работа е да се разработи симулационен модел базиран на МКЕ, приложим за качествена и количествена оценка на възможните причини, предизвикващи вибрации в лагерните възли на хидрогенератор при възбуждането му на празен ход.

### МОДЕЛ ЗА ЧИСЛЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ



Фиг. 1.

Методът се прилага в случаите когато измерванията на ХГ показват, че неравномерността на въздушната междина е в допустимите граници, роторът е статично и динамично балансиран, а вибрации възникват при възбуждане на ХГ. Обикновено характера на вибрациите на горен и долен лагерни възли води към заключение, че електромагнитната сила, водеща до вибрации е предизвикана от несиметрично разположение на полюсите в аксиална посока, което е допуснато при монтажа на хидрогенератора. При симетрично разположение на полюсите спрямо статорния пакет при възбуждане на магнитен поток между тях възникват електромагнитни сили на привличане. Поради симетрията на машината в която да е радиална равнина тези сили взаимно се уравновесяват. При асиметрично изместване на полюс в горния му край, който съвпада с посоката на изместване, магнитното поле се увеличава, а в долния, противоположния му край съответно се намалява. Това води до нарушаване на равновесието на електромагнитните сили, действащи върху полюсите на ротора в долния и горния му край. В горната и долната крайни радиални равнини на ротора се получават резултантни неуравновесени сили, насочени в противоположни посоки. При асиметрично изместване на повече полюси неуравновесените сили, действащи в горната и долната крайни радиални равнини на ротора ще се получат като резултантни от силите, действащи в краищата на полюсите. Съставения модел позволява да се извършат теоретични числени изследвания на влиянието на несиметричното



аксиално изместване на полюсите, като се определи разпределението на магнитното поле в краищата на полюсните накрайници и се изчисли големината на електромагнитните сили, действащи в тези зони. Съставянето на модела включва следните стъпки:

1. **Избор на геометрична област от синхронния хидрогенератор за провеждане на изследванията чрез МКЕ.** В радиално направление на хидрогенератора съществува периодичност в геометрията, с период равен на един роторен полюс. Тя позволява в симулационния модел да се използва аксиално сечение на полюса, разположено по оста му на симетрия. По отношение на статорния пакет, то минава през оста на статорен зъб. По този начин моделът е дефиниран като планиметричен, като при изчисляване на електромагнитната сила е взета предвид реалната дължина на роторния полюс в радиално направление. Тъй като в аксиално направление потокът в челната зона по отношение на статорния пакет преминава основно през статорните зъби, то реалната широчина на роторния полюс е редуцирана до онази част, която се припокрива само със статорните зъби, разположени срещу полюса.

2. **Магнитна верига на симулационния модел.** На фиг.1 е показана геометричната конфигурация на симулационния модел. Тя се състои от две части - основна и допълнителна част. Основната част включва магнитопроводите на статора 1, роторния полюс 2 и въздушната междина. Магнитната индукция във въздушната междина е със стойност съответстваща на стойността на магнитната индукция при празен ход – 0.85 Т. В модела стоманите са моделирани със съответните криви на намагнитване. По този начин е отчетено насищането на магнитопроводите, което е много близко до реалното. Допълнителната част 4 от магнитната верига на симулационния модел е необходима за да се затвори магнитната верига на потока, преминаващ през основната част. Тя е моделирана с висока магнитна проницаемост, с цел да се сведе до минимум влиянието на допълнителната част върху точността на модела. Източник на магнитното поле е тока в помощната бобина, поставена в допълнителната част. Въздушната междина е приета за равномерна, като е направено редуциране, тъй като в действителност в краищата и средата на полюса тя е различна. Редуцирането се състои в увеличаване на минималната и намаляване на максималната въздушни междини по такъв начин, че да се запази големината на м.д.н.  $F_{\delta}$  за въздушната междина след редуцирането и непроменена.

3. **Избор на област за контрол в магнитната верига.** Контролирането на стойностите на магнитната индукция и потока се извършва в средата на въздушната междина.

4. **Избор на математичен алгоритъм за моделиране на електромагнитното поле в хидрогенератора чрез МКЕ.** Математичният алгоритъм е изграден на базата на първия закон на Максвел, приложен към стационарно електромагнитното поле, т.е. отчетени са само възбудителите с потенциален характер.

5. **Избор на математичен модел за изчисляване на електромагнитната сила.** За изчисляване на електромагнитната сила във въздушната междина на хидрогенератора е възможно да се приложат метода на виртуалната работа или метода на тензора на напреженията на Максвел. В симулационния модел е избран метода на тензора на напреженията на Максвел, при който се отчитат нормалната и тангенциалната компонента на магнитната индукция във въздушната междина. Интеграционният контур  $\Gamma$  е разположен по средата на въздушната междина. В аксиално направление той включва и зоните, където съществува потока на челно разсейване.

Контурът  $\Gamma$  се състои от отсечки, които представляват страните на триъгълните елементи, с които е извършена пространствената дискретизация. Електромагнитната сила се определя като:

$$/1/ \quad F = \frac{l_d}{m_0} \sum_{i=1}^m (B_n B_t)_i \Delta l_i$$

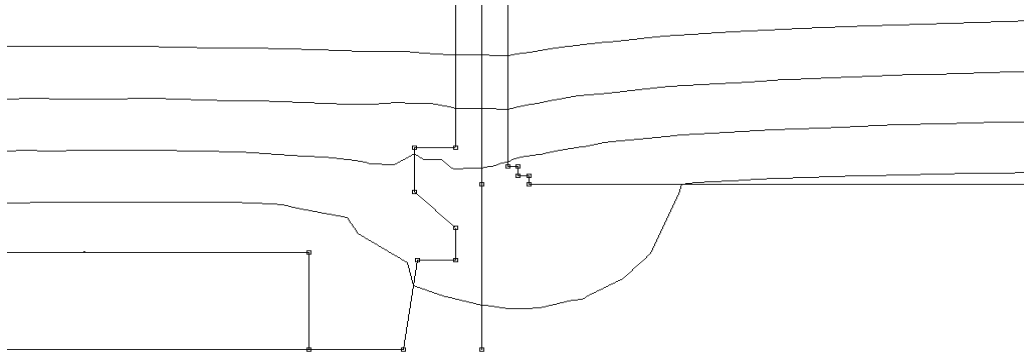


В /1/ с  $m$  е означен броят на елементите в изследваната област, през които минава контура  $\Gamma$ . Членът  $(B_n B_\tau)_i$  представлява произведението на нормалната и тангенциалната компонента на магнитната индукция за  $i$ -тия елемент,  $\Delta l_i$  - дължината на елементарните участъци от  $\Gamma$ , а  $l_d$  - широчина на полюса.

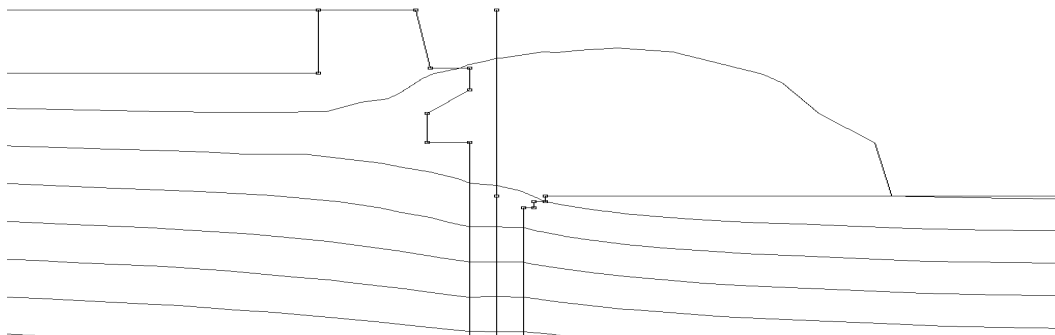
#### РЕЗУЛТАТИ ОТ ЧИСЛЕНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Обект на изследване е ХГ1 на ВЕЦ „Момина клисура“ след извършване на основен ремонт. Чрез симулационния модел са проведени числени изследвания за различни стойности на изместването на магнитната ос на полюса от симетралната равнина на статорния пакет. На фиг. 2 и 3 е показано схематично взаимното положение на долния съответно горния край на полюса спрямо статорния пакет и разположението на силовите линии при изместване от 45 мм, а на фиг. 4 и 5 карта на разпределение на индукцията при същото положение на полюса. На фиг. 6 е дадена диаграмата на пространственото разпределение на магнитната индукция във въздушната междина по дължина на полюса за изместването му съгласно фиг. 4 и 5. В таблица 1 са дадени стойностите на силите на магнитно привличане между полюса и статорния ярем, които действат в горния и долния край на полюса, в зависимост от аксиалното изместване на полюса  $\Delta L$ . С  $dF$  е означена разликата между силите които действат в горния и долния край на полюса и пораждат вибрации на лагерните възли от вида на измерените при ХГ1 на ВЕЦ „Момина клисура“.

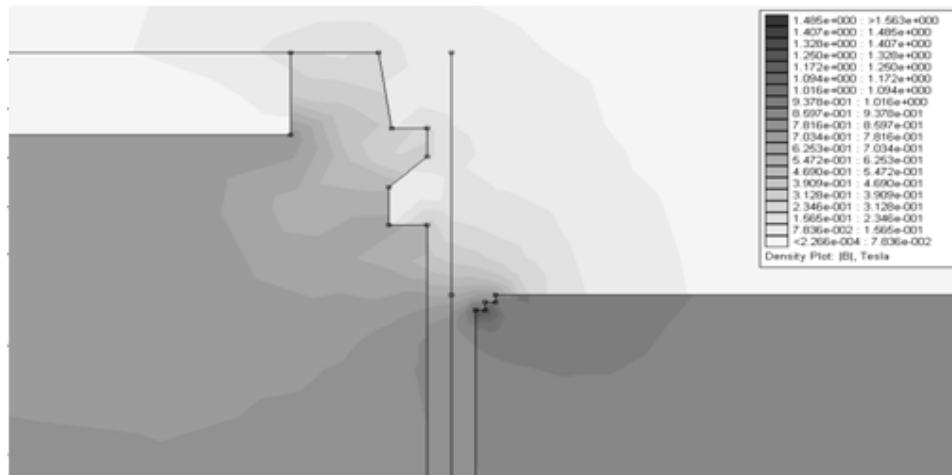
С  $dL$  е означено изместването на полюса от симетричното му разположение спрямо статорния пакет, mm;  $F_{спг}$  е специфичната стойност на силата на привличане между



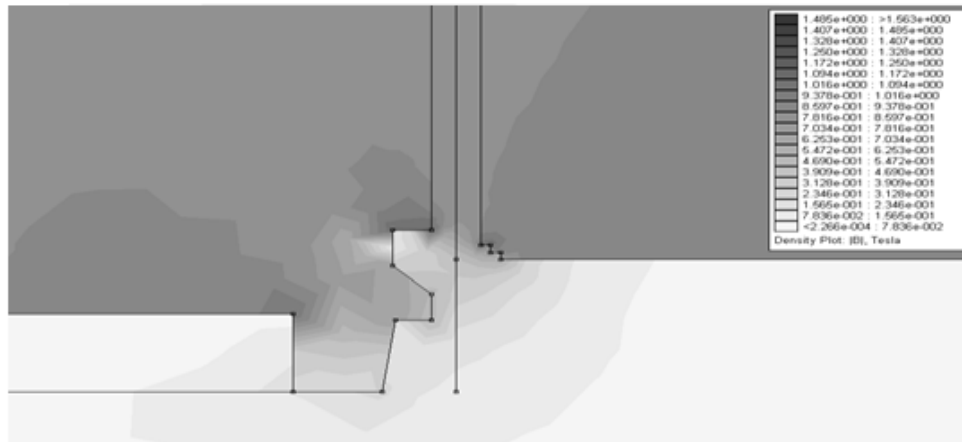
Фиг.2. Силови линии в долния край на полюса при максимално изместване 40мм



Фиг.3. Силови линии в горния край на полюса при максимално изместване 40мм



Фиг.4 Разпределение на магнитната индукция в горния край на полюса при отместване 40 мм



Фиг.4 Разпределение на магнитната индукция в долния край на полюса при отместване 40 мм

Таблица 1

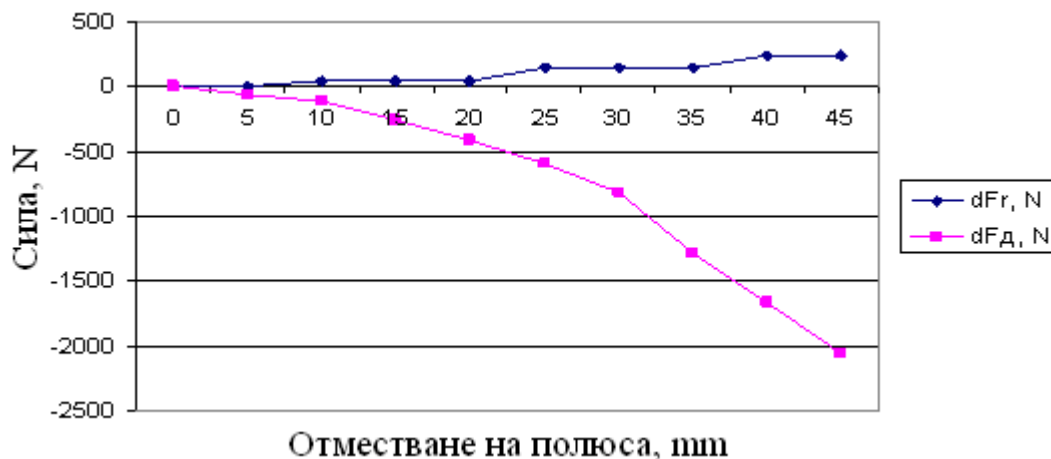
dL, mm	$F_{сп г}, N$	$F_{сп д}, N$	$F_{г}, N$	$F_{д}, N$	$dF_{г}, N$	$dF_{д}, N$
0	239.65	239.61	127014.5	126993.3	0	0
5	239.66	239.5	127019.8	126935	5.3	-58.3
10	239.72	239.4	127051.6	126882	37.1	-111.3
15	239.72	239.12	127051.6	126733.6	37.1	-259.7
20	239.72	238.82	127051.6	126574.6	37.1	-418.7
25	239.92	238.49	127157.6	126399.7	143.1	-593.6
30	239.93	238.06	127162.9	126171.8	148.4	-821.5
35	239.94	237.18	127168.2	125705.4	153.7	1287.9
40	240.1	236.47	127253	125329.1	238.5	1664.2
45	240.1	235.73	127253	124936.9	238.5	2056.4

статорния пакет и горната половина на полюския накрайник за 1 mm от дъгата на полюския накрайник;  $F_{сп д}$  е специфичната стойност на силата на привличане между статорния пакет и долната половина на полюския накрайник за 1 mm от дъгата на полюския накрайник;  $F_{г}$  е резултантната стойност на силата на привличане между статорния пакет и



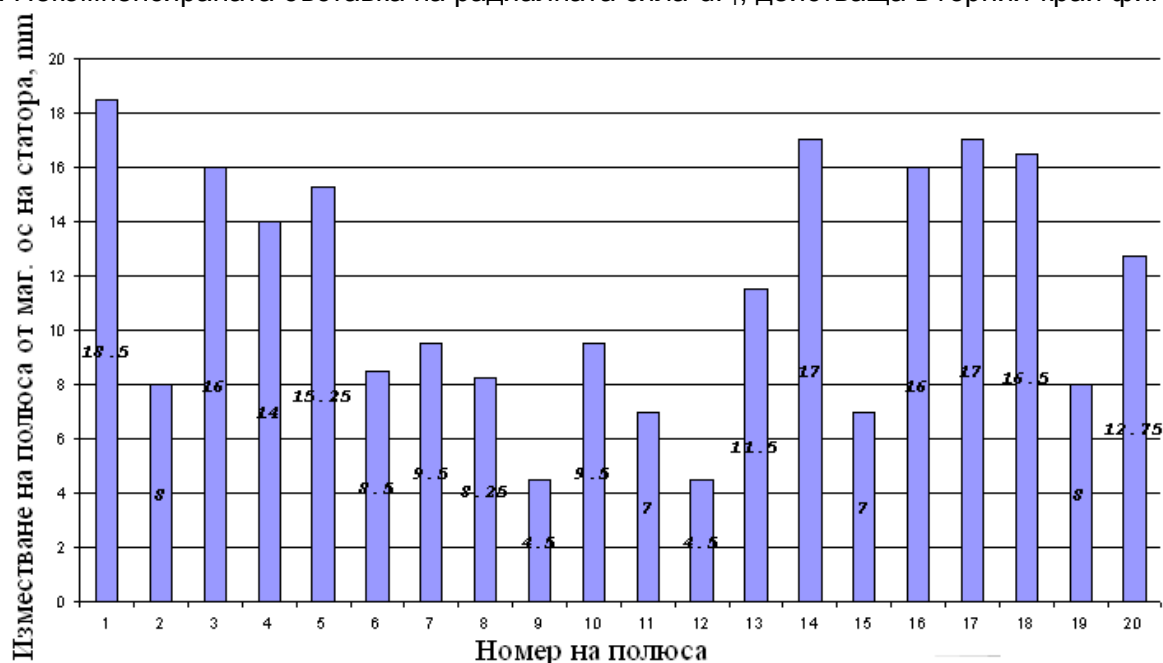
Созопол, 1 – 4 октомври 2009 г.

горната половина на полюсия накрайник;  $F_d$ , е резултантната стойност на силата на привличане между статорния пакет и долната половина на полюсия накрайник;  $dF_r$  е разликата от силите на привличане между статорния пакет и горната половина на полюсия накрайник при симетрично ( $dL=0$ ) и изместено положение ( $dL \neq 0$ ) на полюса спрямо статорния пакет;  $dF_d$  е разликата от силите на привличане между статорния пакет и долната половина на полюсия накрайник при симетрично ( $dL=0$ ) и изместено положение ( $dL \neq 0$ ) на полюса спрямо статорния пакет при стойности на  $dL$  от 0 до 45 мм. Графично зависимостите  $dF_r = f(dL)$  и  $dF_d = f(dL)$  са показани на фиг. 6. Големината на силите зависи от квадрата на разстоянието на изместване на полюсите.



фиг. 6

Получените зависимости позволява да се намерят некомпенсирани съставки на радиалните сили  $dF_r$  и  $dF_d$ , действащи в горния и долния край на полюса при изместването му от симетрично разположение спрямо статорния пакет. Тези сили могат да се разглеждат като съсредоточени в средата на дъгата на полюсия накрайник, срещу края на статорния пакет. Некомпенсирания съставка на радиалната сила  $dF_r$ , действаща в горния край фиг. 7



фиг. 7

на полюса (в случая под горен край се разбира края на полюса, разположен от страната по посока на изместване на полюса) е с посока от оста на ротора към статора. В долния





край на полюса тази съставка е с посока към оста на ротора, т.е. може да се разглежда като сила

с посока от оста на ротора към статора, действаща върху срещуположния полюс (полюса, разположен на  $180^\circ$  геометрически от разглеждания).

Изследвания хидрогенератор е с  $2p=20$ , като изместването на полюсите в аксиална посока от симетричното разположение спрямо статорния пакет е дадено на фиг. 7. По ординатната ос е нанесено изместването в mm, а по абсцисната ос номера на полюса от 1 до 20. За всеки полюс при съответното изместване се определят от фиг. 6 големините на силите  $dF_r$  и  $dF_d$ , като получените стойности са дадени в Таблица 2.

Таблица 2

Полюс №	dL, mm	$dF_r$ , N	$dF_d$ , N	$F_{r_i} - F_{r_{(i+10)}}$ , N	$F_{d_i} - F_{d_{(i+10)}}$ , N
1	18.5	37.1	-371	19.1	-291.5
2	8	24.4	-90.1	19.63	-37.6
3	16	37.1	291.5	0	-135.7
4	14	37.1	-230	0	93.3
5	15.25	37.1	267.7	19.1	-188.2
6	8.5	27.6	-95.4	-9.5	196.1
7	9.5	33.9	-106	-3.2	217.3
8	8.25	26	-92.8	-11.1	214.6
9	4.5	4.77	-52.5	-19.63	37.6
10	9.5	33.9	-106	-3.2	86.9
11	7	18	-79.5		
12	4.5	4.77	-52.5		
13	11.5	37.1	155.8		
14	17	37.1	323.3		
15	7	18	-79.5		
16	16	37.1	291.5		
17	17	37.1	323.3		
18	16.5	37.1	307.4		
19	8	24.4	-90.1		
20	12.75	37.1	192.9		

За всяка двойка диаметрално разположени полюси се намира резултантата неуравновесена сила за горната и долната равнина съответно  $F_{r_i} - F_{r_{(i+10)}}$ , и  $F_{d_i} - F_{d_{(i+10)}}$ , където  $i$  има стойности от 1 до 10.

Тъй като разглежданите сили действат по радиуса на генератора може да се построи звезда на силите и да се намери геометричната им сума за две равнини, съвпадащи с края на статорния пакет по и срещу посоката на аксиално изместване на полюса.

Резултантната сила  $F_{\Sigma r}$  действаща в горната равнина на полюсите накрайници се получава като геометрична сума от силите  $F_{r_i} - F_{r_{(i+10)}}$ , съответно за долната равнина  $F_{\Sigma d}$  като геометрична сума от силите  $F_{d_i} - F_{d_{(i+10)}}$ . За  $F_{\Sigma r}$  се получава стойност от 70.8 N, а  $F_{\Sigma d} = 861,9$  N. Силата  $F_{\Sigma r}$  действа в радиална посока между 1<sup>-ви</sup> и 20<sup>-ти</sup> полюс, а силата  $F_{\Sigma d}$  между 9<sup>-ти</sup> и 10<sup>-ти</sup> полюс. Изчислената стойност на ъгъла между тези сили е  $161^\circ$  геометрични.



#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

При пусково-наладъчните работи е извършено динамично балансиране на ротора в сглобено състояние на ХГ. След като ротора е динамично балансиран с остатъчна вибрация по-малка от  $3.5 \mu\text{m}$  е подаден възбудителен ток и генераторът е възбуден до номинално възбуждане. В резултат от изместването на полюсите възникват неуравновесени електромагнитни сили в горната и долната равнина на ротора, които водят до завишени вибрации на лагерните възли. При празен ход на ХГ са измерени стойности на вибрационното преместване от  $81 \mu\text{m}$  на долния лагер на ХГ и  $36 \mu\text{m}$  на горния, като по направление преместванията са дефазирани приблизително на  $180^\circ$  геометрични и съвпадат по направление с изчислените радиални сили. След изместване на полюсите и възстановяване на аксиалната симетрия е измерено ниво на вибрациите на лагерите за долен направляващ лагер  $33 \mu\text{m}$  и за горен лагер  $5,5 \mu\text{m}$  при номинален режим на натоварване на генератора 60 MW. Това ниво на вибрациите е значително под допустимата граница от  $80 \mu\text{m}$  при номинален товар и гарантира продължителна безаварийна работа на хидрогенератора.

#### Литература

- [1] Ангелов А.М., Д.А. Димитров. Електрически машини, I и II част, ДИ "Техника", София, 1976, 1988.
- [2] Абрамов А. И., А. В. Иванов-Смоленский. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов, "Высшая школа", Москва, 2001.
- [3] Копылов И. П. Электрические машины, Изд. "Высшая школа", Москва, 2000.
- [4] Шуйский В. П. Расчет электрических машин, Изд. "Энергия", Ленинград, 1968.
- [5] Силвесстер П, Шумилов Ю. Метод конечных элементов, Изд. "Мир", Москва, 1969.
- [6] Guerin Chr. Modelisation de regions minces et prise en compte de la saturation des materiaux magnetiques en regime harmonique, these de l'INPG, Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble, 1994.

**Разработката е финансирана по договор с фонд Научни изследвания на ТУ-София.**

#### Biographies

**Dimitar Sotirov** was born in Velingrad, Bulgaria, on Mart 1, 1946. He graduated the Technical University of Sofia and acquired Dr degree from the same university in 1983.

Since 1969 he worked in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia as a Lecturer, Associate Professor, 1986 and Head of Department of Electrical Machines, 2000.

Dimitar Sotirov is with the Faculty of Electrical Engineering, Technical University of Sofia, 8, Kl. Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria, e-mail: [dkso@tu-sofia.bg](mailto:dkso@tu-sofia.bg).

**Plamen Rizov** was born in Berkovitsa, Bulgaria, on December 23, 1960. He graduated the Technical University of Sofia and acquired Dr degree from the same university in 1998.

Since 1991 he worked in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia as a Lecturer and Associate Professor, 2002.

Plamen Rizov is with the Faculty of Electrical Engineering, Technical University of Sofia, 8, Kl. Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria, e-mail: [pmri@tu-sofia.bg](mailto:pmri@tu-sofia.bg).

**Ivaylo PANAYOTOV** was born in Tervel, Bulgaria, on January 28, 1980. He studied at the Technical University of Sofia-Bulgaria and received Eng. degree from the same university in 2004.

Since 2002 he worked in the Electrical Machines Industry now is director APPE of "Elprom trafo CH"AD Kustendil, Dondukov 63, email: [i.panayotov@elpromch.com](mailto:i.panayotov@elpromch.com).



## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДОПУСТИМИТЕ ГРАНИЦИ НА ИЗМЕНЕНИЕ НА РЕАКТИВНАТА МОЩНОСТ НА ХИДРОГЕНЕРАТОРИ В ЗАВИСИМОСТ ОТ ЗАГРЯВАНЕТО НА КРАЙНИТЕ ПАКЕТИ НА СТАТОРА

Димитър Сотиров, Михо Михов, Стоян Баташки

**Резюме:** Тази В електроенергийната система на България работят хидрогенератори с обща мощност около 2400 MW. Те са произведени основно през шейсетте – седемдесетте години на миналия век и като правило за тях няма заводски P-Q диаграми, които да регламентират диапазона на работа по реактивна мощност. Съвременните системи за управление на електроенергетиката изискват работа на генераторите при индуктивна и капацитивна реактивна мощност. Това води до опасност от недопустимо загряване на крайните статорни пакети при капацитивна мощност (режим на недовъзбуждане) и поради това енергийната система се лишава от възможността да използва възможностите на ХГ за регулиране по напрежение. Задача на работата е разработване на експериментална методика за определяне на границите на изменение на реактивната мощност на ХГ с отчитане на загряването на крайните пакети на статорния магнитопровод.

### ВЪВЕДЕНИЕ

При симетричен режим на работа на хидрогенератора магнитодвижещите напрежения на челните части на намотките на статора се въртят и образуват въртящо се магнитно поле на разсейване. Магнитодвижещите напрежения на челните части на намотката на ротора са неподвижно свързани с него и също при въртенето си образуват въртящо се магнитно поле. Двете полета образуват резултантно въртящо се магнитно поле на разсейване, което пресича неподвижните конструктивни елементи в челната зона и крайните пакети. Характерът на разпределение на магнитното поле в значителна степен зависи от съотношенията на отделните съставки на индукцията. За всеки зададен режим на работа взаимното разположение на векторите на магнитодвижещите напрежения на челните части на намотките на статора  $F_1$  и ротора  $F_2$  остава неизменно, но при промяна на фактора на мощността  $\cos\varphi$  се изменя съотношението между абсолютните им стойности. Това е свързано с различието на магнитните пътища, по които се затварят потоците на разсейване на челните части на роторните и статорните намотки. Крайните пакети на активната стомана на статора и конструктивните елементи на челната зона са разположени по отношение на челните части на роторната намотка на разстояние значително по-голямо, от колкото спрямо челните части на статорните намотки. Поради това м.д.н. на челните части на роторната намотка участва в създаването на резултантния поток на разсейване в значително по-малка степен от колкото м.д.н. на челните части на статорните намотки. При неизменни стойности на напрежението и тока на статора при увеличение на  $\cos\varphi$  до 1 и преминаване в режим на потребление на индуктивна мощност възбудителния ток се намалява. Изменя се и взаимното разположение на векторите на м.д.н. на челните части на намотките на статора  $F_1$  и на ротора  $F_2$ . Геометричната сума на  $F_1$  и  $F_2$  се увеличава, което е причина за увеличението на магнитната индукция и съответно на загубите във феромагнитните части на челната зона при високи стойности на  $\cos\varphi$  и при недовъзбуждане на генератора. Както е установено от многобройни изследвания загубите в челните части се определят основно от аксиалната съставка на магнитната индукция на полето на разсейване  $B_z$ , като може да се приеме, че са пропорционални на втората степен на индукцията  $B_z^2$ . Пределно допустимата температура на зъбите на статора в съответствие с топлинния клас на изолацията на статорната намотка се достига при определена стойност на магнитната индукция  $B_{zгр}$ . В съответствие с тази стойност на  $B_{zгр}$  се ограничава



натоварването на генератора. Прониквайки в пакета на статора перпендикулярно на плоскостта на листовите електротехническа стомана тя индуцира вихрови токове, които се затварят по лист с променливо магнитно съпротивление, което се предизвиква от една страна от структурата на валцоване на стоманата, а от друга от сложната конфигурация на пакета (зъби, шлицы и т.н.). При хидрогенераторите въздушната междина е сравнително по-малка, отколкото при турбогенераторите, поради което основните загуби и свързаните с тях загрявания са съсредоточени в крайната част на крайния пакет на статора. При това съществено по-силно влияние, отколкото при турбогенераторите оказват потоците на разсейване на челните части на роторната намотка. Това в редица случаи предизвиква повишено загряване на крайните пакети дори и при режими на превъзбуждане. Основните загуби се съсредоточават на височина около една трета от височината на зъба от въздушната междина. Конструктивните елементи на челната зона не се загряват чувствително и като цяло не ограничават областта на допустимите работни режими.

#### МЕТОДИКА ЗА ИЗПИТВАНЕ

Въз основа на описаната теоретична постановка е разработена методика за изпитване на мощни хидрогенератори (ХГ) за определяне на загряването на крайните статорни пакети и в съответствие с това определяне на границите на изменение на реактивната мощност. Ограничителните условия при съставяне на методиката са продиктувани от изискванията за работа на хидрогенераторите в режим на групово управление по напрежение и работа в режим на остров или коридор. Тези условия са:

- работа на ХГ при номинална активна мощност;

- поддържане на основните величини (напряжения, токове, температури на отделните елементи) в допустимите от действащите стандарти и предписаните от завода производител граници;

- работа на ХГ при типичните условия, определени от местоположението му в електроенергийната система и силовата електрическа схема на съответната ВЕЦ.

Режимите на работа при изпитване на ХГ се определят така, че да се обхванат възможно най-пълно допустимите граници на изменение на натоварването на генераторите.

- Работа при номинално натоварване:  $S = S_n$ ;  $P = P_n$ ;  $Q = Q_n$ ,  $U = U_n$ .

- Работа при натоварване с номинална активна мощност  $P = P_n$ , реактивна мощност  $Q = 0.5Q_n$ ; и  $U = U_n$ .

- Работа при натоварване с номинална активна мощност  $P = P_n$ , реактивна мощност  $Q = 0.2Q_n$ ; и  $U = U_n$ .

- Работа при натоварване с номинална активна мощност  $P = P_n$ , реактивна мощност  $Q = 0$  и  $U = U_n$ . Ако температурата на зъбната зона на крайните пакети е по-висока от стойностите, измерени при  $Q = 0.5Q_n$  се намалява активната мощност до достигане на режим на работа, при който температурата на зъбната зона на крайните пакети е равна на стойностите, измерени при  $Q = 0.5Q_n$ .

- Работа при натоварване с реактивна мощност  $Q = -0.3Q_n$ ,  $U = U_n$ , като се определя големината на активната мощност  $P$ , при която температурата на зъбната зона на крайните пакети е равна на стойностите, измерени при  $Q = 0.5Q_n$ .

- Работа при натоварване с реактивна мощност  $Q = -0.6Q_n$ ,  $U = U_n$ , като се определя големината на активната мощност  $P$ , при която температурата на зъбната зона на крайните пакети е равна на стойностите, измерени при  $Q = 0.5Q_n$ .

- Желателно е измерванията да се проведат и при напряжения  $0.95U_n$  и  $1.05U_n$ .

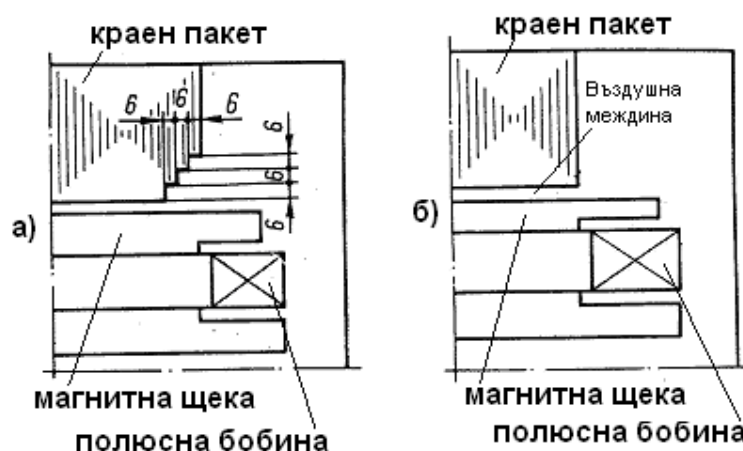
- При невъзможност да се поддържат зададените стойности на напряженията, както е при използване на отделни блочни трансформатори за всеки генератор, измерванията се правят при стойности на напряжението за различните режими в граници от  $0.95U_n$  до  $1.05U_n$ . Това съответства на реалните условия на работа на генераторите при недовъзбуждане.

- Зоната на допустимите режими на работа на хидрогенераторите се определя от така снетата P-Q диаграма при която температурата на зъбната зона на крайните пакети не надвишава стойностите, измерени при  $Q = 0.5Q_n$ .

Техническите средства за провеждане на експерименталните изследвания са термовизионна камера за заснемане на картината на температурата в зъбната зона и притискащите палци на крайните пакети с възможност за измерване на температурата в пет точки и контактни термодатчици. При провеждане на експерименталните изследвания: описаните технически средства се монтират така, че в обсега им на действие да се намира зъбната зона и притискащите палци на крайните пакети, като се използват люковете в предпазните капаци на челните съединения на хидрогенератора. За режими на работа с активен и реактивен товар се провеждат измервания при достигане на установена температура в измерваните точки. Отчитат се и температурите в намотката и статорния пакет в зоните, в които са монтирани контактни термодатчици при производството или рехабилитацията на хидрогенератора.

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Изпитани са хидрогенератори с пълна мощност от 18 до 50 MVA с различна конструкция на крайните пакети на статорния магнитопровод. Анализът на документацията показва, че изпитваните ХГ по отношение крайните пакети се свеждат до два основни типа конструкции, показани на фиг. 1 а) и б). Конструкцията от фиг. 1 а) е с магнитна щека на



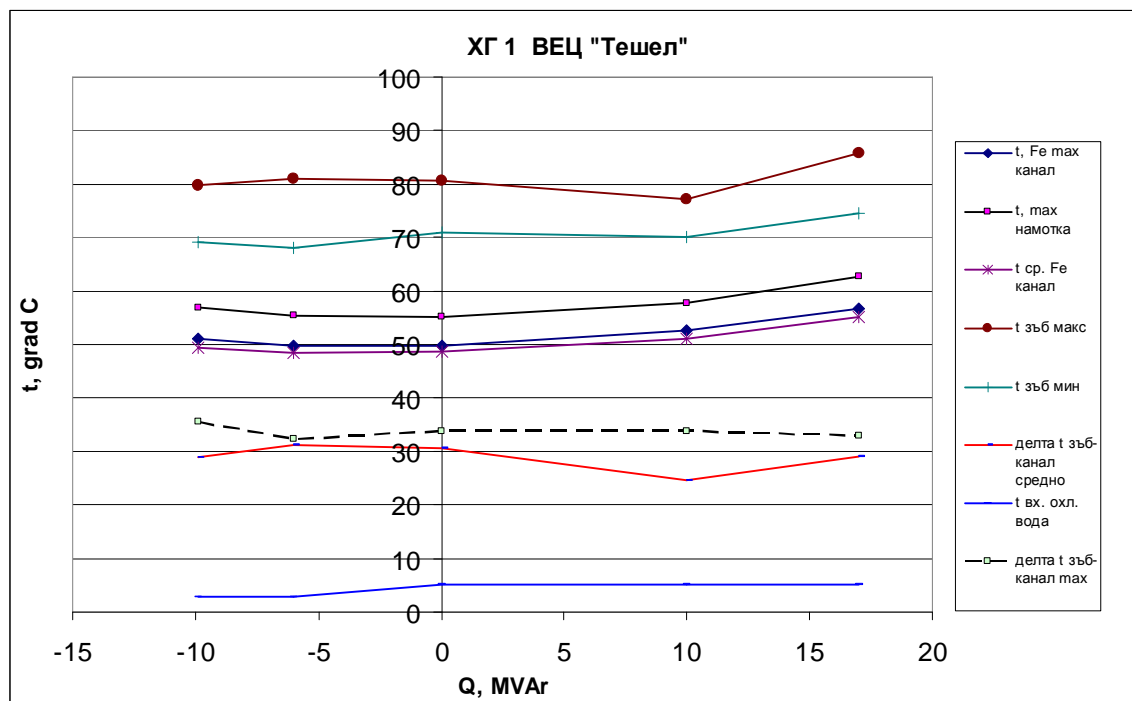
Фиг. 1

полюса и стъпаловидно изпълнение на крайния пакет, така че в края на статора въздушната междина нараства. Като правило дебелината на крайния пакет е по-малка от дебелината на вътрешните пакети. Втората конструкция показана на фиг. 1 б) е с правоъгълен край на статорния пакет и магнитна щека на полюса, като дебелината на крайния пакет е по-голяма от дебелината на вътрешните пакети. И при двете конструкции статора е с радиални вентилационни канали с ширина 10 mm, а ширината на пакетите е от 45 до 55 mm. Както показват теоретичните изследвания стъпаловидното изпълнение води до значително намаление на полето на разсейване и намалява загряването на крайните пакети. По-малката ширина (обикновено с 10-15 mm) на крайния пакет подобрява охлаждането му и е благоприятно за намаляване на температурата.

#### 1. Резултати от изпитване на ХГ със стъпаловидно изпълнение на крайния пакет - Хидрогенератор 1 с данни:

Пълна номинална мощност  $S_n = 35,3$  MVA;  
Номинална активна мощност  $P_n = 30,0$  MW;  
Номинално напрежение  $U_n = 10,5$  kV;

Номинален ток  $I_n = 1941$  A;  
Номинален  $\cos\varphi = 0,85$ ;  
Номинална скорост  $n_n = 500$  min<sup>-1</sup>.



Фиг. 2

Резултатите от изпитването на ХГ1 са дадени на фиг. 2. Използваните означения са:  $t, Fe \text{ max канал}$  – максимална стойност на температурата на стоманата в дъното на канала, измерена с вградени температурни датчици;

$t, \text{max намотка}$  - максимална стойност на температурата на медта на намотката в канала, измерена с вградени температурни датчици;

$t, \text{зъб max}$  - максимална стойност на температурата на зъбите на крайния пакет;

$t, \text{зъб min}$  – минимална стойност на температурата на зъбите на крайния пакет;

$t, \text{ср. Fe канал}$  - средна стойност на температурата на стоманата в дъното на канала, измерена с вградени температурни датчици;

$\text{делта } t \text{ зъб-канал средно}$  – средна стойност на прегряването на стоманата на зъбите на крайния пакет над температурата на стоманата в дъното на канала;

$\text{делта } t \text{ зъб-канал max}$  – максимална стойност на прегряването на стоманата на зъбите на крайния пакет над температурата на стоманата в дъното на канала;

$t \text{ вх. охл. вода}$  - температура на входящата охлаждаща вода.

При измерване на температурата на зъбите на крайния пакет се получават значителни разлики на получените за различните зъби температури, затова се дава максималната и минималната измерена стойности.

#### -Хидрогенератор 2 с данни:

Пълна номинална мощност  $S_n = 50 \text{ MVA}$ ;

Номинална активна мощност  $P_n = 45,0 \text{ MW}$ ;

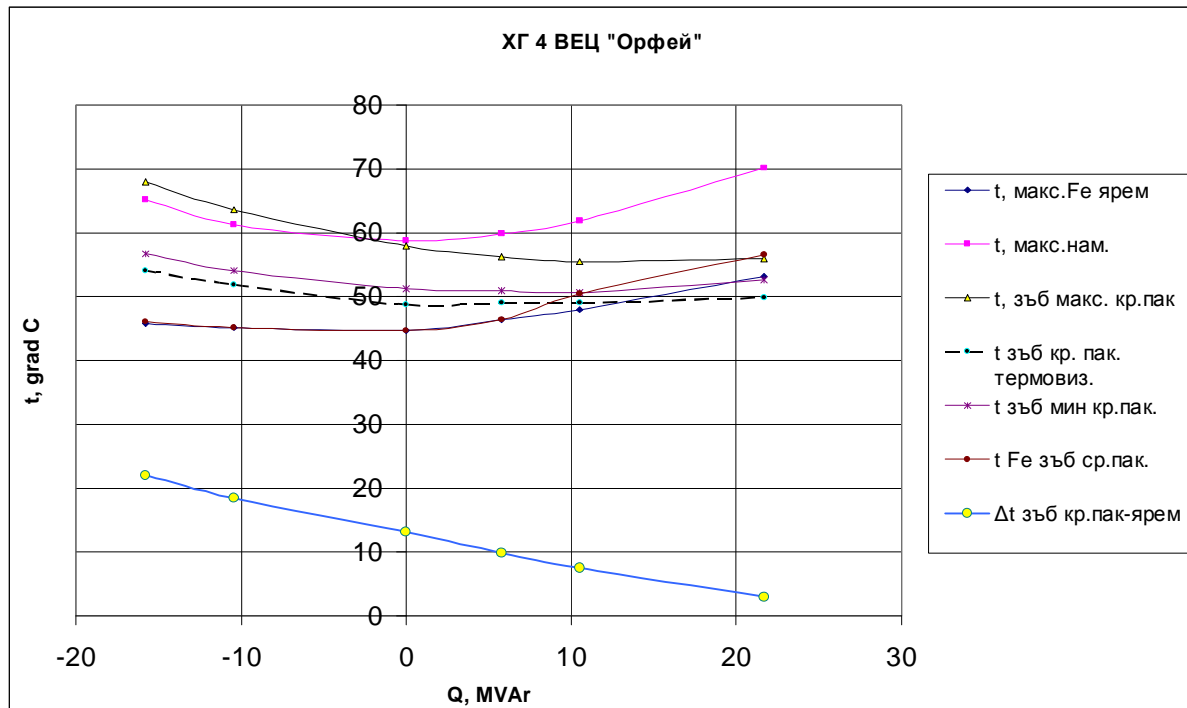
Номинално напрежение  $U_n = 10,5 \text{ kV}$ ;

Номинален ток  $I_n = 2740 \text{ A}$ ;

Номинален  $\cos\phi = 0,9$ ;

Номинална скорост  $n_n = 214 \text{ min}^{-1}$ .

Резултатите от изпитването на ХГ2 са дадени на фиг. 3. Използваните означения са както при фиг.2, като в случая има вградени температурни датчици на зъбите на крайните пакети, по които се отчитат температурите  $t, \text{зъб max}$  кр. пак. и  $t, \text{зъб min}$  кр. пак., съответно има датчици в ярема, от които се отчита  $t, \text{max. Fe ярем}$ .



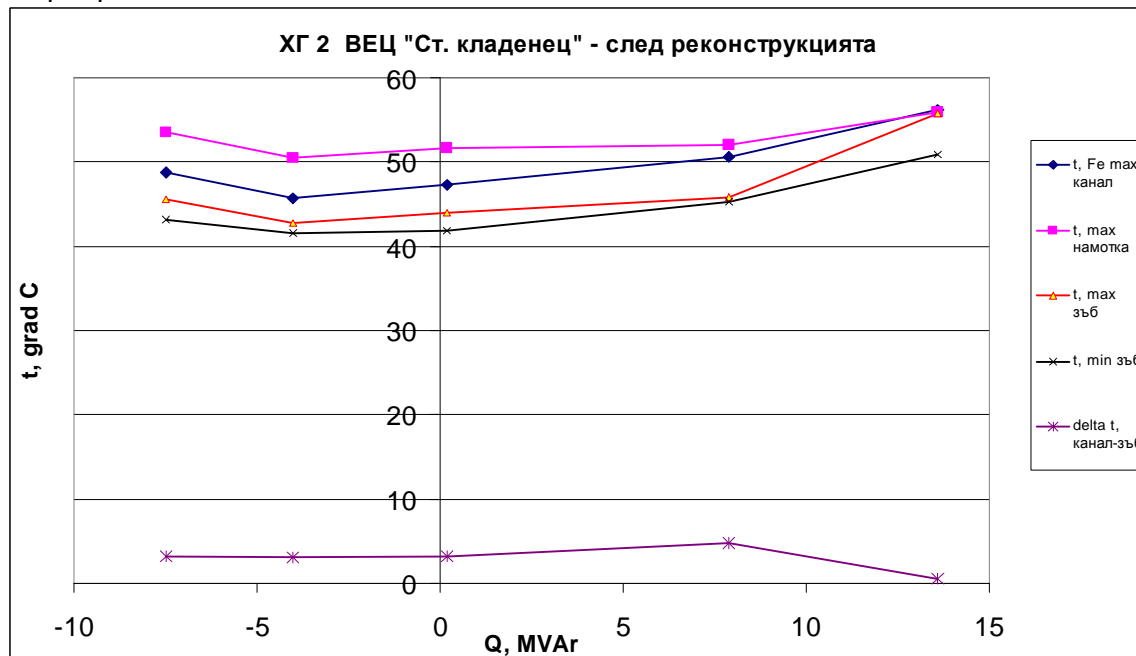
фиг. 3

**-Хидрогенератор 3 с данни:**

Пълна номинална мощност  $S_H = 22,5$  MVA;  
 Номинална активна мощност  $P_H = 18,0$  MW;  
 Номинално напрежение  $U_H = 10,5$  kV;

Номинален ток  $I_H = 1240$  A;  
 Номинален  $\cos\phi = 0,8$ ;  
 Номинална скорост  $n_H = 214$  min<sup>-1</sup>.

Резултатите от изпитването на ХГ3 са дадени на фиг. 4. Използваните означения са както при фиг.2.



Фиг. 4

**2. Резултати от изпитване на ХГ с правоъгълен край на крайния пакет****-Хидрогенератор 4 с данни:**

Пълна номинална мощност  $S_H = 31$  MVA;  
 Номинална активна мощност  $P_H = 24,8$  MW;

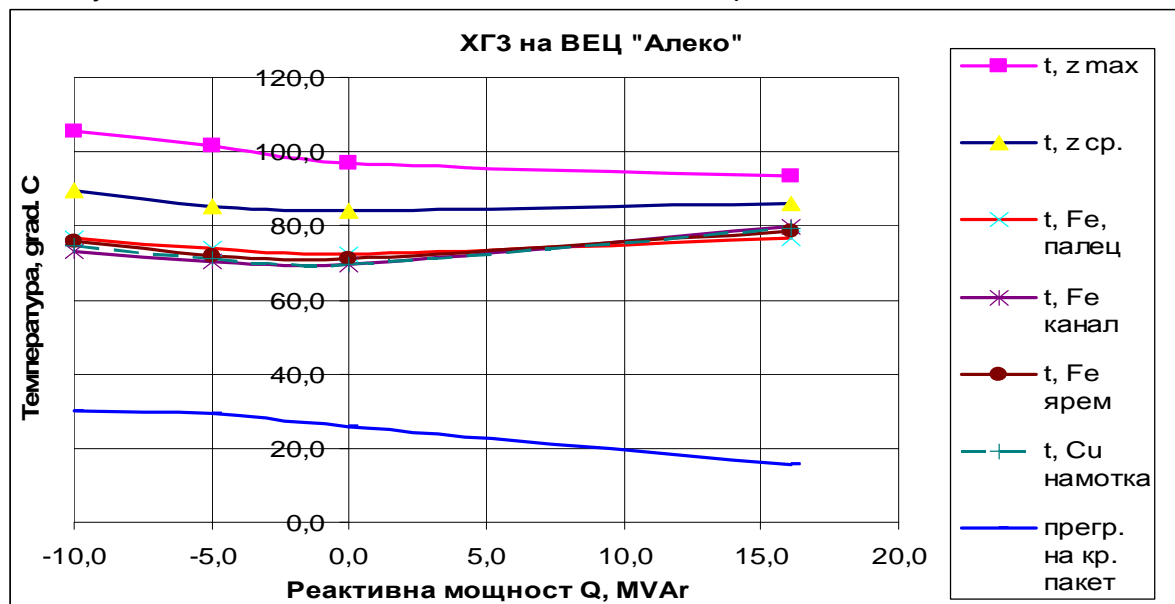
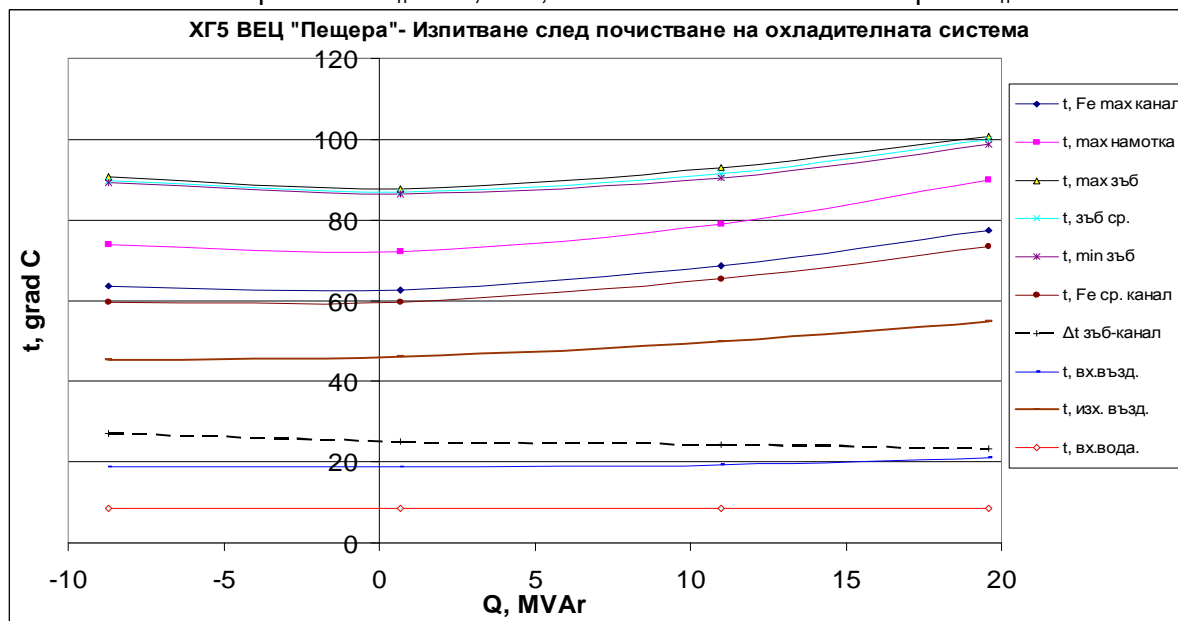
Номинален ток  $I_H = 1705$  A;  
 Номинален  $\cos\phi = 0,8$ ;



Созопол, 1 – 4 октомври 2009 г.

Номинално напрежение  $U_n = 10,5 \text{ kV}$ ;Номинална скорост  $n_n = 500 \text{ min}^{-1}$ .

Резултатите от изпитването на ХГ4 са дадени на фиг.5.

**-Хидрогенератор 5 с данни:**Пълна номинална мощност  $S_n = 35 \text{ MVA}$ ;Номинален ток  $I_n = 1870 \text{ A}$ ;Номинална активна мощност  $P_n = 28,0 \text{ MW}$ ;Номинален  $\cos\phi = 0,8$ ;Номинално напрежение  $U_n = 10,5 \text{ kV}$ ;Номинална скорост  $n_n = 600 \text{ min}^{-1}$ .

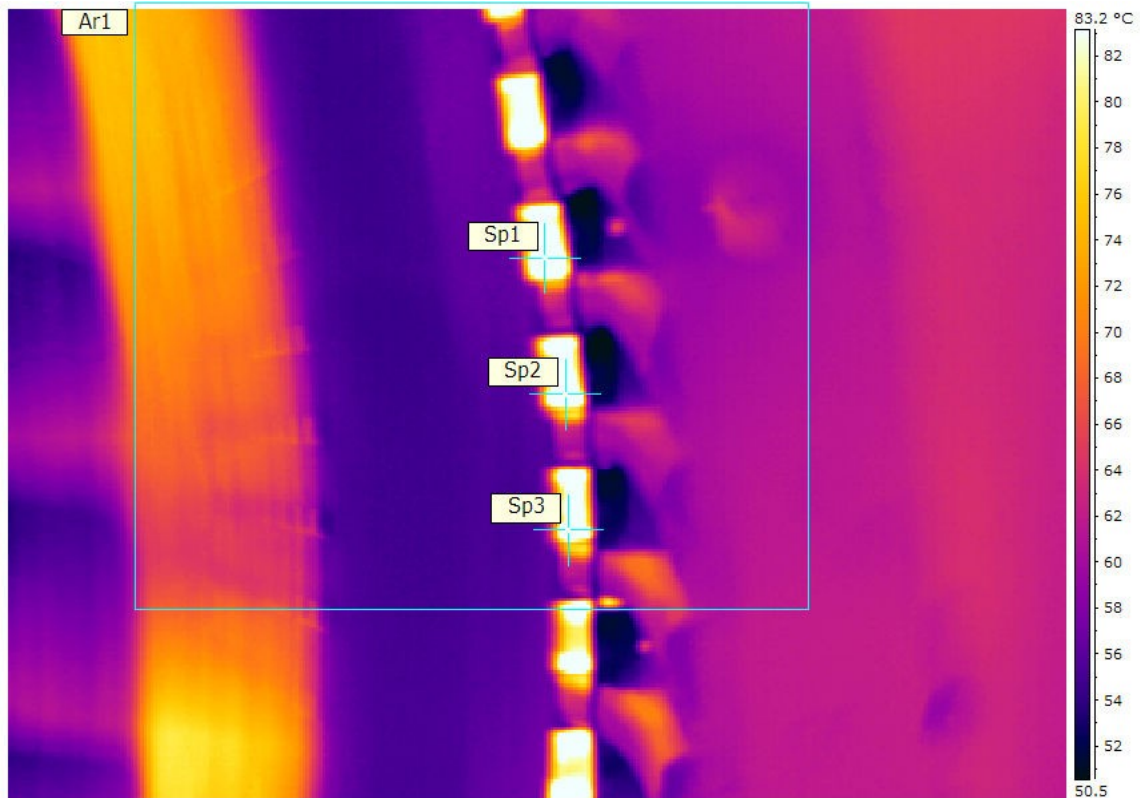
Резултатите от изпитването на ХГ5 са дадени на фиг.6 с означения както на фиг.2.

При измерванията на загряването на крайните пакети с използване на термовизионна камера ThermoCAM P65 резултатите от изпитването се получават във вид на цветна снимка на температурата на контролираната област на ХГ, както е показано на фиг. 7. Специализиран софтуер позволява да се измерва температурата в три точки чрез преместване на курсора в желаните положения. Получените стойности се дават в цифров вид. Получената картина ясно показва температурата на зъбите на крайните пакети,





челните съединения на статорната намотка и елементи от ротора, който се върти, поради което образа е размазан. В случая е показана снимка на крайните пакети на ХГ5 на ВЕЦ



Фиг. 7

„Пещера” при режим на работа  $P=27,7 \text{ MW}$ ,  $Q=19.8 \text{ MVar}$ . Резултатите от измерването се публикуват във следния вид:

Ar1 Min 50,3 °C Max 100,8 °C Average 61,0 °C

Sp1 100,2 °C

Sp2 98,6 °C

Sp3 100,8 °C

Filename IR\_0749.jpg Date 08.12.2008 г. 12:06:32

От тук се получават стойностите на минималната и максималната температура в зоната оградена със светлия правоъгълник, а чрез преместване на контролните точки Sp1, Sp2 и Sp3 се намират температурите в зоната на зъбите на крайните пакети. Поради значителната разлика в температурите на различните зъби се подбират зъби на крайните пакети с максимални, средни и минимални стойности на температурите. Като правило температурата на притискащите палци е по-ниска от температурата на зъбите като зъбите на крайните пакети загряват до най-високата температура в ХГ, която лимитира границите на използването му.

#### АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

На база резултатите от изпитванията като се има предвид, че генераторите са произведени приблизително по едно и също време с използване на сходни технологии и материали, всички са със затворен цикъл на охлаждане и с близки по стойност електромагнитни натоварвания може да се направят следните изводи:

- Прегряването на зъбите на крайните пакети спрямо температурата на стоманата на статорния пакет, измерена в дъното на канала достига до 32°C. Това прегряване е измерено по отношение температурата на зъба на крайните саторни пакети на височина около 20 mm от въздушната междина (това е видимата част от зъба, температурата на която може да



се измери с термовизионна камера), а максималната температура на зъбите на крайните пакети е на височина средно 30-40 mm. Това означава, че най-загрялата точка на зъба е с няколко градуса по-висока и при оценка на възможността на ХГ да работи при дадения режим трябва да се взема пред вид.

-Максималните измерени температури на зъбите на крайните пакети в повечето случаи са далеч от допустимите стойности и генераторите могат да работят в режим на недовъзбуждане в широки граници на изменението на реактивната мощност. При това температурата на зъбите на крайните пакети на генератори 1, 3 и 5 е най-висока при максимална индуктивна мощност, става минимална при нулева стойност на реактивната мощност и отново нараства при капацитивна мощност. Причина за това е общото нарастване на загубите и загряването на ХГ, като прегряването на крайните пакети нараства при изменение на реактивната мощност от максимална индуктивна до максимална капацитивна. Това съответства на общо приетите схващания. Различно е поведението на генератори 2 и 4. При тях температурата на зъбите на крайните пакети е минимална при максимална индуктивна мощност и монотонно нараства при изменение на реактивната мощност до максимална капацитивна. Такова изменение е характерно за турбогенератори и е нехарактерно за хидрогенераторите.

-При всички хидрогенератори прегряването на зъбите на крайните пакети нараства при изменение на реактивната мощност от максимална индуктивна до максимална капацитивна. Най-силно е изразена тази тенденция при генератори 2 и 4.

- Конструкцията със стъпаловидно изпълнение на крайния пакет намалява загряването на зъбите на крайните пакети в сравнение с правоъгълното изпълнение. Това се вижда от по-ниските прегрявания на генератори 2 и 3, но не е така при генератор 1. Видно е, че има допълнителни фактори със съществено влияние които трябва да се анализират.

-От всички изпитани генератори ограничения за работа в режим на недовъзбуждане се налагат при генераторите на ВЕЦ „Алеко”, тъй като при тях в този режим температурата на зъбите на крайните пакети достига 105°C и може да се очаква, че ще има зони с по-висока температура, което води до съкращаване на срока на експлоатация на изолацията.

#### Литература

1. Ангелов А.М., Д.А. Димитров, Електрически машини II част, ДИ «Техника», София, 1988.
2. Копилов И.П. и к-в, Проектиране на електрически машини, ДИ «Техника», София, 1988.
3. Шуйский В.П., Расчет электрических машин, «Энергия», Ленинградское отделение, 1968.
4. Вольдек А.И., Я. Б. Данилевич, В. И. Косачевский, В. И. Яковлев. Электромагнитные процессы в торцевых частях электрических машин, «Энергоатомиздат», Ленинградское отделение, 1983.
5. Копылов И. П., Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев. Проектирование электрических машин, Москва ФГУП Издательство «Высшая школа», 2005.
6. Копылов И. П., Электрические машины, Москва ГУП Издательство «Высшая школа», 2000.

**Разработката е финансирана по договор с фонд Научни изследвания на ТУ-София.**



## МОБИЛНА ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА С МИКРОПРОЦЕСОРНО УПРАВЛЕНИЕ ЗА ИЗСЛЕДВАНИЯ, ТЕСТВАНЕ И ИЗПИТАНИЯ НА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

Стоян Гишин, Васил Господинов, Красимир Боев  
Технически университет – София

**Резюме:** Апаратурата е приложима за акумулаторни батерии от различни електрохимични системи- оловно киселинни, никел-кадмиеви и други, както за обслужваеми, така и за херметични батерии. Електронната апаратура е приложима за стационарни, тягови и стартерни акумулаторни батерии. Електронната апаратура е използвана при тестване и изпитания на батерии на НЕК ЕАД, ЕСО ЕАД, EVN Bulgarien, НК „Железопътна инфраструктура“ Unicredit BulBank и други.

Известно е, че ежегодно в нашата страна за индустриални и граждански приложения се произвеждат, доставят и монтират десетки хиляди акумулаторните батерии (АБ) от различни електрохимични системи-оловно киселинни, никел кадмиеви и други.

Едно от основните приложения на стационарните АБ е за собствени нужди (СН) в електрическите подстанции (ПС) на Национална Електрическа Компания, Електроенергийния системен оператор, АЕЦ, ТЕЦ, ВЕЦ, тягови подстанции (ТПС) на железопътната инфраструктура, Телекомуникации, Базови станции на EVN –България, Сигнализационни системи на железопътните гари, UPS системи, Интернет доставчици, фотоволтаични системи и други.

Едно от основните приложения на тяговите АБ е за електрокари, електромобили, палетни колички, голф колички, инвалидни колички и други .

Едно от основните приложения на стартерните АБ е за дизеловите и бензинови автомобили, микробуси и автобусите, камиони, дизелови локомотиви, дизелови генератори и други.

Известни са изискванията за електрическите характеристики на акумулаторните батерии за надеждна и безопасна работа на електрическите, тяговите и възлови подстанции при отпадане на променливотоковото електрозахранване, за голям стартов ток при запалване на двигателите, продължителна работа на тяговите батерии за електромобилите, електрокарите и други индустриални и граждански приложения.

Първото и едно от основните и най отговорно изисквания е при използване на АБ при аварийен режим за собствени нужди в продължение на 2 часа, разрядното напрежение да не падне под определено електрическо напрежение, което гарантира надеждна и безопасна работа на електрическата, тяговата и възлова подстанция. Много са факторите които оказват влияние върху този отговорен електрически показател, но най-важни са средното напрежение при под заряд , електродвижещото напрежение и електрическото напрежение при аварийен разряден ток на клетките.

Основно изисквания за АБ е електрическото напрежение при под заряд от 2,23 до 2,27 V с допустимо отклонение от 1,0 % ( 0,0023 – 0,0027 V ) при оловно киселинни батерии, от 1,40 до 1,45 V с допустимо отклонение от 1,0 % ( 0,0014 – 0,00145 V ) при никел кадмиеви батерии, което гарантира изпълнението на предното основно изискване – разрядно електрическо напрежение при аварийен разряд да бъде над определена стойност , което гарантира надеждна и безопасна работа на подстанцията.

Съгласно изискванията на Наредба 3 от 2004 година се допуска максимум 1,5 % от всички клетки на АБ да имат отклонение максимум от 5 % от средното електрическо напрежение на клетка при под заряд.

Друго основно изискване е вътрешното електрическо съпротивление на всеки елемент ( клетка от 2,0 V, моноблок от 4,0 V или 6,0 V и други) , което гарантира средно електрическо



напрежение при под заряд на оловно киселинни клетки от 2,23 до 2,27 +/- 1,0 % V при оловно киселинни батерии, от 1,40 до 1,45 V с допустимо отклонение от 1,0 % +/- 1,0 % V при никел кадмиеви батерии и съответно минимално допустимо разрядно напрежение на АБ над определена стойност.

Всички тези електрически показатели зависят и се определят еднозначно от активното вътрешно съпротивление на клетките. Това показва колко значимо е при периодичното гаранционно и извън гаранционно тестване на АБ за СН на електрическите подстанции и други индустриални и граждански приложения да се определи вътрешното съпротивление на всички клетки

Изхождайки от горепосочените много отговорни изисквания за електрическите характеристики на АБ, съгласно Наредба 3, Устройство на електрическите уредби и електропроводните линии от 9.06.2004 година, BDS, EN, BS и други е необходимо да се провеждат периодични измервания, тествания, изследвания и изпитания на АБ. При периодичното гаранционно и извънгаранционно измервания, тествания, изследвания и изпитания на АБ е необходимо да се спазват много изисквания, което осигурява готовността на АБ за гарантирано автономно постоянно токово захранване за СН- да не се изключват батериите от нормалната експлоатация и други. Необходимо е да отбележим, че за съжаление и основен недостатък на фирмите вносителки на АБ е, че не предлагат:

1. Тестване и изпитания на АБ при доставка, преди и след монтажа за експлоатация, понеже някои батерии престояват по-дълго време от допустимото, съгласно изискванията на фирмите производители.

2. И не могат да реализират гаранционно и извънгаранционно обслужване по време на 10-20 годишната експлоатация.

Причина за гореизложеното е, че фирмите вносителки на АБ не разполагат с подготвени специалисти, методики за тестване и изпитания, мобилна електронна апаратура за тестване и изпитания на батериите в тази много отговорна интердисциплинарна област.

Освен това има една практика, която не гарантира качеството на акумулаторните клетки, които се внасят. Тази практика е, че вносителите на АБ предлагат и приемателните изпитания се „провеждат“ във фирмите производители. Веднага ще отбележим, че изпитанията на определен брой акумулаторните клетки, които са подготвени предварително от фирмата, не гарантира същите електрически характеристики на по-късно доставените десетки пъти по-голямо количество. Това наше отрицателно мнение се потвърждава от практиката в Република България за внесените АБ от различни наши фирми и от различни Европейски фирми производители, което сме установили от наши периодични гаранционни и извънгаранционни измервания, тествания, изследвания и изпитания на АБ от различни електрохимични системи и за различни индустриални приложения.

В Електротехническият факултет на Техническият университет - София е разработена и изработена мобилна електронна апаратура за тестване, изследвания и изпитания на акумулаторни батерии за Енергетиката и други индустриални и граждански приложения.

Апаратурата е изработена с финансова помощ на проектите за научни изследвания през 2008 и 2009 година на ТУ-София.

Всички параметри за измерване, тестване, изследвания и изпитания на акумулаторни батерии ( заряден ток, времетраене на зарядния ток, разряден ток, времетраене на разрядния ток, форма на зарядния или разрядния ток, максимално допустимо зарядно електрическо напрежение, минимално допустимо разрядно електрическо напрежение и други) се задават предварително и по време на тестването се управляват, измерват и регистрират в табличен и графичен вид от преносими компютри.

Основните предимства на разработената мобилна електронна апаратура в ТУ-София е за реализация на патентно защитени технологии, измервания, тестване, изследвания и изпитания на АБ за енергетика, телекомуникации и др.

Някои от изработената апаратура с компютърен контрол и управление ( ККУ), микропроцесорен контрол и управление (МПКУ) с конкретните технически данни и индустриални и граждански приложения са:



1. Програмируем токоизточник с компютърен контрол, управление и регистрация (ПТИ с ККУ).

Номинални данни:

- заряден и разряден импулсен ток - 20 А,

- номинално напрежение - до 34 V.

- електротехнологията защитена с патенти у нас и чужбина (САЩ, Русия, Германия, Англия и други).

Приложение:

- заряд с импулсен ток на акумулаторни батерии

- рециклиране с импулсен ток на акумулаторни батерии

- изпитания на самолетни, стартерни, тягови, херметични и стационарни (киселинни и алкални) акумулаторни батерии.

- приемателни изпитания при внос и износ на акумулаторни батерии.

2. Стенд за обучение и изследвания на системи за собствени нужди в електроенергетиката

номинални данни:

- заряден импулсен ток - 20 А,

- разряден импулсен ток – 20 А

- номинално зарядно и разрядно напрежение 200-300 V.

- Методът и електротехнологията са защитени с патенти у нас и чужбина (САЩ, Русия, Германия, Англия и др.).

Приложение:

Заряд с импулсен ток на оловни акумулаторни батерии.

Заряд с импулсен ток на алкални акумулаторни батерии.

Зарядно разрядни цикли с импулсен ток за възстановяване на електрическите характеристики и гарантиране на експлоатационния живот на АБ за енергетиката, телекомуникациите, транспорта и др.

Приемателни изпитания на стационарни и тягови акумулаторни батерии за различни индустриални приложения.

Сервизно обслужване стационарни и тягови акумулаторни батерии за различни индустриални приложения.

3. Програмируем токоизточник (ПТИ) с микропроцесорен контрол и управление (МПКУ)

Номинални данни:

заряден и разряден импулсен ток до 10 А,

зарядно и разрядно електрическо напрежение – 12 и 24 V

инсталирани са 24 софтуерни програми:

- с различен заряден и разряден импулсен ток.

- с различно зарядно и разрядно време на импулсния ток

- за акумулаторни батерии с различен номинален и резервен капацитет

Приложение:

Автоматичен заряд и разряд на различни акумулаторни батерии за:

- рециклиране на активната маса.

- изравняване и намаляване на вътрешното съпротивление на клетките.

- възстановяване на електрическите характеристики на клетките.

- изравнителен заряд на акумулаторните батерии.

- до зареждане на акумулаторните батерии.

- де сулфатизация на оловни акумулаторни батерии

4. Програмируем разряден генератор на ток (ПРГТ) с компютърен контрол, управление и регистрация (ККУ)

Номинални данни:

- номинален кратковременен (100 сек.) разряден ток - до 100 А

- номинален продължителен (до 10 ч.) разряден ток - до 30 А

- номинално разрядно напрежение 200 - 300 V



## Приложение:

- Изследване и изпитания на стационарни и тягови никел кадмиеви и оловни акумулаторни батерии за електрически централи, подстанции, автономно електрозахранване за различни индустриални приложения-телекомуникации, транспорт, системи за сигнализация и безопасност.

- Тестване на стационарни и тягови никел кадмиеви и оловни акумулаторни батерии

- Приемателни изпитания на различни стационарни и тягови никел кадмиеви и оловни акумулаторни батерии .

5. Програмируем разряден генератор на ток (ПРГТ) с микропроцесорно управление и регистрация (МПУР)

Номинални данни:

разряден ток до 300 А, според номиналния капацитет.

разрядно електрическо напрежение от 8 до 12 V

автоматично отпечатване на резултатите върху хартия:

- електродвижещо напрежение на акумулаторната батерия.
- разряден ток при тестване.
- разрядно напрежение за 1-ва, 2-ра, 3-та, 4-та и 5-та секунда
- информация за всяка акумулаторна батерия:

1. BATTERY OK - Батерията отговаря.
2. NOT EQUAL TO REQUIREMENT- Не отговаря на изискванията.
3. TEST FAILED U < 8,00 V - Теста се провали.
4. Date / signature:..... - Дата и подпис.

## Приложение:

- Автоматично тестване на различни АБ под товар за:
- степен на зареденост на акумулаторната батерия.
- късо съединение в клетка.
- прекъсната връзка в акумулаторната батерия и др.

С електронната апаратура са провеждат тестване, измервания, изследвания и изпитания на оловно киселинни и алкални САБ за различни индустриални и граждански приложение.

През последното десетилетие се разработват и въвеждат в експлоатация нови видове и типове не обслужваеми АБ (НАБ) [6].

НАБ се характеризират с изключително висока надежност, много ниско вътрешно съпротивление и други съществени качества.

Както бе отбелязано по-горе един от електрическите параметри на акумулаторните клетки е ниското и еднакво вътрешно съпротивление на акумулаторните батерии, което гарантира дълъг експлоатационен живот- над 15-20 години.

От извършеният анализ на получените резултати може да бъдат направени следните по-важни изводи и препоръки:

1. Разработени са и изработена мобилна електронна апаратура за тестване, изследвания и изпитания на акумулаторни батерии за Енергетиката и други индустриални и граждански приложения.

2. На всички АБ за Енергетиката и други индустриални и граждански приложения е необходимо да бъдат провеждани приемателни, гаранционни и извън гаранционни измервания и тестове за гарантиране на основните електрически изисквания, което осигурява надеждна и безопасна работа на електрическите , тяговите и възлови под станции и други.

3. На всички АБ за СН е необходимо да бъдат провеждани приемателни измервания, изпитания и тестове за гарантиране на основните електрически изисквания, съгласно техническите изисквания, Наредба 3, Устройство на електрическите уредби и електропроводните линии от 9.06.2004 година, БДС, Е N и други , след като бъдат внесени и монтирани на обектите, което ще гарантира реално надеждна и безопасна работа на електрическите под станции и други по време на експлоатационен живот над 15 години.



4. Необходимо е да се провеждат периодично рециклиращи цикли заряд-разряд с импулсен ток с компютърен контрол, управление и регистрация на зарядно-разрядния ток, зарядно и разрядно напрежение, автоматично изчисление на количество електричество и електроенергия, активното вътрешно съпротивление на всички клетки на АБ, което ще доведе до намаляване на вътрешното съпротивление на клетките, удължаване и гарантиране на експлоатационния живот на АБ и съответно надеждна и безопасна работа на електрическите, тягови и възлови подстанции и друга апаратура и съоръжения.

#### Литература

1. Гишин С., В. Господинов, Кр. Боев., Изследвания и изпитания на стационарни акумулаторни батерии за собствени нужди СН в електрическите централи и подстанции, Енергиен форум, 13-16 юни 2007, Варна, Р. България
2. Наредба № 3 Устройство на електрическите уредби и електропроводните линии, Том 18, АВС техника ООД, С., 2004.
3. Gishin S., Patent № 4216064, USA, №161102, Germany, № 2022617B, Grey Britania
4. Сидеров С., К. Кутлев, В. Господинов, С. Стоянов, С. Гишин. Справочник по енергетика, том 6, С., АВС техника ООД, 1999.
5. Справочник по енергетика, том XI, глава XIV, С., АВС техника ООД, 2001.
6. Гишин С. Акумулатори, М П „Издателство ТУ-София“, 2008.
7. Gishin S., Kr.Boev., V. Gospodinov., Training and research centre for the investigation and testing of accumulator batteries, Energy Test 2006, 23-25 November 2006, Athens, Greece.
8. Гишин С., Кр. Боев. ХИТ в системите СН на ел. централи и подстанции, Научна конференция с международно участие-Енергиен форум, юни 2005 г. Варна, Р. България
9. Гишин С., Проблеми при реализацията на акумулаторни батерии за собствени нужди в подстанциите, Списание „Енергетика“ 6-7 брой, 2008.
10. Господинов В., С. Гишин, Кр. Боев, Стенд за обучение и изследвания на системи за собствени нужди в енергетиката, Списание „Енергетика“ 8 брой, 2008
11. Гишин С., Патенти №№ 52056, 60570 и други, Р. България

#### Автори:

Стоян Стоицов Гишин, електрохимик, д-р по Технология на електрохимически източници на ток, старши научен сътрудник по Електротехнология, катедра „Електрически апарати“, Електротехнически факултет, сл. тел. 965 3167, факс 8686719, e-mail: [gishin@tu-sofia.bg](mailto:gishin@tu-sofia.bg)  
инж. Васил Спасов Господинов, електроинженер, доктор, доцент в катедра „Електроснабдяване, Електрообзавеждане и Електротранспорт“, e-mail: [vgos@tu-sofia.bg](mailto:vgos@tu-sofia.bg)  
инж. Красимир Иванов Боев, електроинженер, доктор, доцент в катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, сл. тел. 965 2117, e-mail: [boevkr@tu-sofia.bg](mailto:boevkr@tu-sofia.bg)

**МЕТОДИКА ЗА ИЗСЛЕДВАНИЯ, ТЕСТВАНЕ И ИЗПИТАНИЯ НА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ****Стоян Гишин, Васил Господинов, Красимир Боев**

**Резюме:** Създадени са методики и софтуерни програми за автоматично тестване и изпитания на оловно киселинни, никел кадмиеви и други акумулатори и батерии. Основните предимства на методиките и софтуерни програми са, че тестванията се извършват без да се прекратява използването на батериите за автономно електрозахранване. С методиките и софтуерните програми, които са инсталирани на мобилна електронна апаратура се определя степен на зареденост, прекъсната връзка, късо съединение в клетка, вътрешно съпротивление на всяка клетка и други.

Акумулаторите и акумулаторните батерии (АБ) са много разпространени и всяка фирма и всеки човек ежедневно има контакт с тях, понеже се използват при леките автомобили, мобилни телефони, товарни автомобили, енергетика, телекомуникации, електромобили, видеокамери и фотоапарати, електрокари, железопътен и въздушен транспорт и други.

За ежедневните индустриални и граждански приложения се използват както стационарни, тягови и стартерни оловно киселинни, така също и алкални батерии.

Използваните акумулаторни батерии са обслужваеми, което позволява измерване концентрацията на електролита и съответно доливане с дестилирана вода при необходимост. През последните години се използват необслужваеми акумулаторни батерии, които са херметично затворени и не е необходимо периодично измерване на плътността и доливане на дестилирана вода

Известно е, че ежегодно в нашата страна за индустриални и граждански приложения се произвеждат и внасят, десетки хиляди стационарни, тягови и стартерни акумулаторни батерии (АБ) от различни електрохимични системи-оловно киселинни, никел кадмиеви и други.

Известни са изискванията за електрическите характеристики и експлоатационния живот на стартерни, стационарни и тягови акумулаторните батерии за надеждна и безопасна работа при различните индустриални, граждански и военни цели.

Едно от основните и най отговорно изискване при използване на стационарни АБ при аварийен режим за собствени нужди в продължение на 2 часа, разрядното напрежение да не падне под определено напрежение, което гарантира надеждна и безопасна работа на електрическата, възловата и тягова подстанция. Много са факторите които оказват влияние върху този отговорен електрически показател, но най-важни са средното напрежение при под заряд , електродвижещото напрежение и електрическото напрежение при аварийен разряден ток на клетките, моноблокове и съответно на цялата АБ.

Едно от основните и най отговорно изискване при използване на тягови АБ е продължителна ( часове ) работа, което гарантира бързи товаро – разтоварни работи на електрокарите и по-дълъг пробег на електромобилите.

Едно от основните и най отговорно изискване при използване на стартерни АБ е голям разряден ток в продължение до 7 секунди при температура до минус 18о С.

Друго основно изискване на стационарни акумулаторни батерии е вътрешното електрическо съпротивление на всеки елемент (клетка от 2,0 V, моноблок от 4,0 V или 6,0 V: клетка от 1,2 V и други) , което гарантира средно електрическо напрежение при под заряд на оловно киселинни клетки от 2,23 до 2,27 +/- 1,0 % V и съответно от 1,40 до 1,45 V +/- 1,0 % V при алкалните клетки и съответно минималното разрядно напрежение на АБ при експлоатация в работен режим е над допустимото.

Тези електрически показатели зависят и се определят еднозначно от активното вътрешно съпротивление на клетките. Това показва колко значимо е при периодичното гаранционно и извън гаранционно тестване и изпитания на АБ за собствени нужди (СН) на електрическите, възловите и тягови подстанции, автономни постоянно токови





електрозахранвания на банки и стратегически обекти, да се определи вътрешното съпротивление на всички клетки, което автоматически и еднозначно показва дали отговарят или не отговарят на изискванията и съответно да гарантират надежна и безопасна работа.

Изхождайки от горепосочените много отговорни изисквания за електрическите характеристики на стационарни, тягови и стартерни акумулаторни батерии, съгласно Наредба 3, Устройство на електрическите уредби и електропроводните линии от 9.06.2004 година, BDS, EN, BS и други е необходимо да се провеждат периодични измервания, тествания, изследвания и изпитания на АБ. При периодичното гаранционно и извънгаранционно измервания, тествания, изследвания и изпитания на АБ е необходимо да се спазват много изисквания, което осигурява готовността на АБ за гарантирано автономно постоянно токово захранване за СН, да не се изключват батериите от редовна експлоатация и други. Необходимо е да отбележим, че за съжаление и основен недостатък на фирмите вносителки на стационарни, тягови и стартерни акумулаторни батерии е, че не предлагат и не могат да реализират гаранционно и извънгаранционно обслужване, понеже не разполагат с подготвени специалисти, методики и апаратура в тази много отговорна интердисциплинарна област. Фирмите вносителите на стационарни оловно киселинни и никел кадмиеви АБ предлагат и приемателните изпитания се „провеждат“ с апаратура и методики във фирмите производители. Веднага ще отбележим, че изпитанията на определен брой акумулаторните клетки, които са подготвени предварително от фирмата, не гарантира същите електрически характеристики на по-късно доставените десетки пъти по-голяма количество. Освен това някои от изпитанията продължават десетки часове и „присъстващите“ на изпитанията наши „специалисти“ нямат физическа възможност да наблюдават процесите. Това наше мнение се потвърждава от практиката в Република България за внесените АБ от различни наши фирми и от различни Европейски фирми производители, което сме установили от наши периодични гаранционни и извънгаранционни измервания, тествания, изследвания и изпитания на АБ от различни електрохимични системи и за различни индустриални приложения.

Друг основен недостатък на внасяните АБ за различни индустриални и граждански цели, е че няма акумулаторни центрове, които да установят реалните електрически параметри на батериите, причините за влошените експлоатационни характеристики, които не гарантират експлоатационния живот над 15-20 години и съответно надеждна и безопасна работа. Освен това за гаранционното поддържане и евентуално смяна на дефектирал елемент или моноблок се налага идването на сервизни специалисти от фирмата производител, след продължителна телефонна и писмена кореспонденция. Идването на сервизни специалисти се договаря трудно и продължително време, поради необходимостта от комуникации, големи разстояния, много финансови средства за самолетни билети, престоя на високоплатените фирмени специалисти и други проблеми. Освен това след идването на специалистите започват дискусиите по установяване на действителната причина за рекламацията, писане на протоколи за установените параметри, и съответно дали се приема или не се приема рекламацията и съответно ако не се приема разходите са за нашите държавни и частни фирми. Проблемът става още по-голям когато изтече гаранционния срок, а батериите имат експлоатационен живот над 15 години. Тогава времето за отстраняване на неотговарящите елементи, моноблокове, изразходваните средства за материали, пътувания и труд, се увеличават многократно.

През последните години значително се измениха изискванията към по-рано използваните АБ [ 2, 4 и 5 ] спрямо изискванията към съвременните обслужваеми и не обслужваеми АБ [ 6 ].

През последното десетилетие се разработват, изработват и въвеждат в експлоатация нови видове и типове не обслужваеми АБ (НАБ) [ 6 ].

Водещ производител в Европейския съюз на необслужваеми стационарни акумулаторни батерии за енергетиката, сигнализационни системи за ж.п. гари, телекомуникации, интернет доставчици, фотоволтаични системи и други е германската фирма HOPPECKE Batteries GmbH & Co.KG.



Водещ производител в Европейския съюз на необслужваеми стартерни акумулаторни батерии за автомобили, камиони, микробуси, автобуси, строителна техника и други е австрийската фирма BANNER Batterien.

НАБ се характеризират с изключително висока надежност, много ниско вътрешно съпротивление и други съществени качества

В Електротехническият факултет на Техническият университет - София са разработени методики и софтуерни програми за изследвания, тестване и изпитания на стационарни, тягови и стартерни акумулаторни батерии.

Методиките и софтуерните програми, които са инсталирани на мобилната електронна апаратура са разработени с финансова помощ на проектите за научни изследвания през 2008 и 2009 година на ТУ-София.

Както бе отбелязано по-горе един от основните електрически параметри на акумулаторните клетки е ниското и еднакво вътрешно съпротивление на акумулаторните батерии, което гарантира дълъг експлоатационен живот- над 15-20 години.

В Електротехническият факултет на Техническият университет – София е разработена методика и програма за изчисляване на вътрешното електрическо съпротивление на всички клетки на стационарни, тягови и стартерни АБ, по време на нормална експлоатация без да се прекъсва гарантираното автономното електрозахранване при различни индустриални и граждански приложения. С методиката и програмата се изчислява вътрешното съпротивление на всички клетки, както по време на заряд, под заряд с различен ток, така също и по време на разряд с различен разряден ток на стационарни, тягови и стартерни АБ и при различна околна температура.

При разработената методика се измерват и запамятват с електронна апаратура конкретните стойности на тока и напрежението на всички клетки при заряд, разряд, без да се прекъсва нормалната експлоатация на стационарни, тягови и стартерни АБ при различните индустриални и граждански приложения. Измерените стойности на тока и електрическото напрежение по време на под заряд, заряд при различен ток, разряд при различни стойности на разрядния ток, както и електродвижещото се напрежение на електрохимичните клетки, моноблокове или батерии се прехвърлят в РС, съгласно разработената методика и програма, където автоматично се изчислява вътрешното съпротивление на всички клетки, моноблокове или батерии при заряд, под заряд, разряд с различен ток, както и при заряд по различни електротехнологии и стандарти на фирмите производители и държави- Европейски съюз, Япония, САЩ и други. Получените оригинални и действителни резултати за активното съпротивление на акумулаторните клетки, моноблокове или батерии при различните електрохимични процеси се разпечатват във вид на таблици и графики. От таблиците и графиките се виждат веднага номерата на акумулаторните клетки, моноблокове или батерии, които имат значимо различно вътрешно съпротивление и съответно не отговарят на изискванията и не гарантират надеждна и безопасна работа на автономното електрозахранване на различни индустриални или граждански приложения.

Всички параметри за измерване, тестване, изследвания и изпитания на клетки, моноблокове на акумулаторни батерии ( заряден ток, времетраене на зарядния ток, разряден ток, времетраене на разрядния ток, форма на зарядния или разрядния ток, максимално допустимо зарядно електрическо напрежение, минимално допустимо разрядно електрическо напрежение и други) се задават предварително и по време на тестването се управляват, измерват и регистрират в табличен и графичен вид от преносими компютри.

Основните предимства на разработената методика и софтуерни програми, инсталирани на мобилна електронна апаратура на ТУ-София е за реализация на изискванията на фирмите производители, БДС- Европейски норми, патентно защитени електротехнологии, измервания, тестване, изследвания и изпитания на стационарни, тягови и стартерни АБ за енергетика, телекомуникации, електромобили, електрокари, сигнализационни системи на железопътен транспорт и др.

Разработената методика и софтуерни програми, са инсталирани на мобилна електронна апаратура на ТУ-София Някои от изработената апаратура с компютърен контрол и



управление ( ККУ), микропроцесорен контрол и управление (МПКУ) с конкретните технически данни за индустриални и граждански приложения са:

1. Програмируем токоизточник с компютърен контрол, управление и регистрация (ПТИ с ККУ).

2. Стенд за обучение и изследвания на системи за собствени нужди в електроенергетиката

3. Програмируем токоизточник ( ПТИ ) с микропроцесорен контрол и управление ( МПКУ )

4. Програмируем разряден генератор на ток ( ПРГТ) с компютърен контрол, управление и регистрация ( ККУ)

5. Програмируем разряден генератор на ток (ПРГТ) с микропроцесорно управление и регистрация (МПУР)

С разработената методика и софтуерни програми, които са инсталирани на мобилна електронна апаратура на ТУ-София са проведени експериментални изпитания и тестване на скъпоструваща стационарна акумулаторна батерия тип 12 Gro 300 ( 2 x 110 V, 300 A h ), производство на фирма НОРРЕСКЕ Batteries GmbH & Co.KG – Германия, която се експлоатира на електрическа подстанция на Електроенергийния системен оператор на Република България.

Получените експериментални данни за вътрешното съпротивление за всички клетки на оловно киселинната АБ тип Gro E, по време на под заряд и разряд за СН, съгласно разработената методика, софтуерна програма и използваната мобилна електронна апаратура и РС са показани в таблици 1 и 2 , и съответно в графичен вид- фиг. 1 и 2.

Таблица 1

Столник Pb АБ-1 Rзрядно (Rз)

№ на елемент	Uз на елемент	ЕДН на елемент	Iз	Rз (Uз-E)/Iз	№ на елемент	Uз на елемент	ЕДН на елемент	Iз	Rз (Uз-E)/Iз
	V	V	A	Ω		V	V	A	Ω
1	2,26	1,99	2,4	0,1125	61	2,25	1,99	2,4	0,108333
2	2,24	1,98	2,4	0,108333	62	2,25	1,98	2,4	0,1125
3	2,25	1,98	2,4	0,1125	63	2,25	1,99	2,4	0,108333
4	2,25	1,99	2,4	0,108333	64	2,25	1,99	2,4	0,108333
5	2,03	1,99	2,4	0,016667	65	2,24	2	2,4	0,1
6	2,24	1,98	2,4	0,108333	66	2,25	1,96	2,4	0,120833
7	2,08	1,98	2,4	0,041667	67	2,102	1,96	2,4	0,059167
8	2,25	1,98	2,4	0,1125	68	2,24	1,99	2,4	0,104167
9	2,25	1,98	2,4	0,1125	69	2,25	1,99	2,4	0,108333
10	2,09	1,99	2,4	0,041667	70	2,045	1,96	2,4	0,035417
11	2,25	1,99	2,4	0,108333	71	2,25	1,99	2,4	0,108333
12	2,26	1,98	2,4	0,116667	72	2,255	1,99	2,4	0,110417
13	2,26	1,99	2,4	0,1125	73	2,255	1,97	2,4	0,11875
14	2,21	1,97	2,4	0,1	74	2,255	1,98	2,4	0,114583
15	2,25	1,94	2,4	0,129167	75	2,25	1,99	2,4	0,108333
16	2,26	1,95	2,4	0,129167	76	2,25	1,99	2,4	0,108333
17	2,25	1,98	2,4	0,1125	77	2,25	1,99	2,4	0,108333
18	2,25	1,98	2,4	0,1125	78	2,25	1,99	2,4	0,108333
19	2,25	1,99	2,4	0,108333	79	2,25	1,99	2,4	0,108333
20	2,25	1,98	2,4	0,1125	80	2,245	1,99	2,4	0,10625
21	2,093	1,99	2,4	0,042917	81	2,24	1,98	2,4	0,108333
22	2,25	1,99	2,4	0,108333	82	2,24	1,98	2,4	0,108333
23	2,25	1,98	2,4	0,1125	83	2,25	1,99	2,4	0,108333
24	2,25	1,98	2,4	0,1125	84	2,26	1,99	2,4	0,1125
25	2,25	1,99	2,4	0,108333	85	2,105	1,99	2,4	0,047917
26	2,17	1,99	2,4	0,075	86	2,133	1,96	2,4	0,072083



27	2,25	1,98	2,4	0,1125	87	2,25	1,96	2,4	0,120833
28	2,26	2	2,4	0,108333	88	2,24	1,94	2,4	0,125
29	2,25	1,99	2,4	0,108333	89	2,058	1,95	2,4	0,045
30	2,26	1,95	2,4	0,129167	90	2,24	1,95	2,4	0,120833
31	2,26	1,94	2,4	0,133333	91	2,25	1,94	2,4	0,129167
32	2,26	1,95	2,4	0,129167	92	2,26	1,95	2,4	0,129167
33	2,26	1,95	2,4	0,129167	93	2,26	1,94	2,4	0,133333
34	2,26	1,96	2,4	0,125	94	2,26	1,95	2,4	0,129167
35	2,26	1,96	2,4	0,125	95	2,26	1,95	2,4	0,129167
36	2,25	1,95	2,4	0,125	96	2,26	1,95	2,4	0,129167
37	2,26	1,93	2,4	0,1375	97	2,25	1,99	2,4	0,108333
38	2,26	1,93	2,4	0,1375	98	2,25	1,94	2,4	0,129167
39	2,26	1,94	2,4	0,133333	99	2,25	1,99	2,4	0,108333
40	2,26	1,93	2,4	0,1375	100	2,25	1,99	2,4	0,108333
41	2,26	1,95	2,4	0,129167	101	2,25	1,99	2,4	0,108333
42	2,25	1,95	2,4	0,125	102	2,26	1,99	2,4	0,1125
43	2,25	1,95	2,4	0,125	103	2,26	1,99	2,4	0,1125
44	2,25	1,94	2,4	0,129167	104	2,25	1,98	2,4	0,1125
45	2,24	1,95	2,4	0,120833	105	2,245	1,98	2,4	0,110417
46	2,25	1,95	2,4	0,125	106	2,26	1,99	2,4	0,1125
47	2,25	1,95	2,4	0,125	107	2,26	1,99	2,4	0,1125
48	2,25	1,94	2,4	0,129167	108	2,1	1,99	2,4	0,045833
49	2,25	1,94	2,4	0,129167	109	2,25	1,99	2,4	0,108333
50	2,24	1,94	2,4	0,125	110	2,25	1,99	2,4	0,108333
51	2,25	1,94	2,4	0,129167	111	2,25	2	2,4	0,104167
52	2,25	1,94	2,4	0,129167	112	2,255	1,98	2,4	0,114583
53	2,26	1,96	2,4	0,125	113	2,26	1,96	2,4	0,125
54	2,26	1,96	2,4	0,125	114	2,26	1,96	2,4	0,125
55	2,26	1,98	2,4	0,116667	115				
56	2,25	1,99	2,4	0,108333	116				
57	2,26	1,99	2,4	0,1125	117				
58	2,26	1,96	2,4	0,125	118				
59	2,1	1,99	2,4	0,045833	119				
60	2,255	1,99	2,4	0,110417	120				

От извършеният анализ на получените резултати може да бъдат направени следните по-важни изводи и препоръки:

1. Разработени са методика, софтуерни програми, които са инсталирани на изработена мобилна електронна апаратура за тестване, изследвания и изпитания на акумулаторни батерии за Енергетиката и други индустриални и граждански приложения.

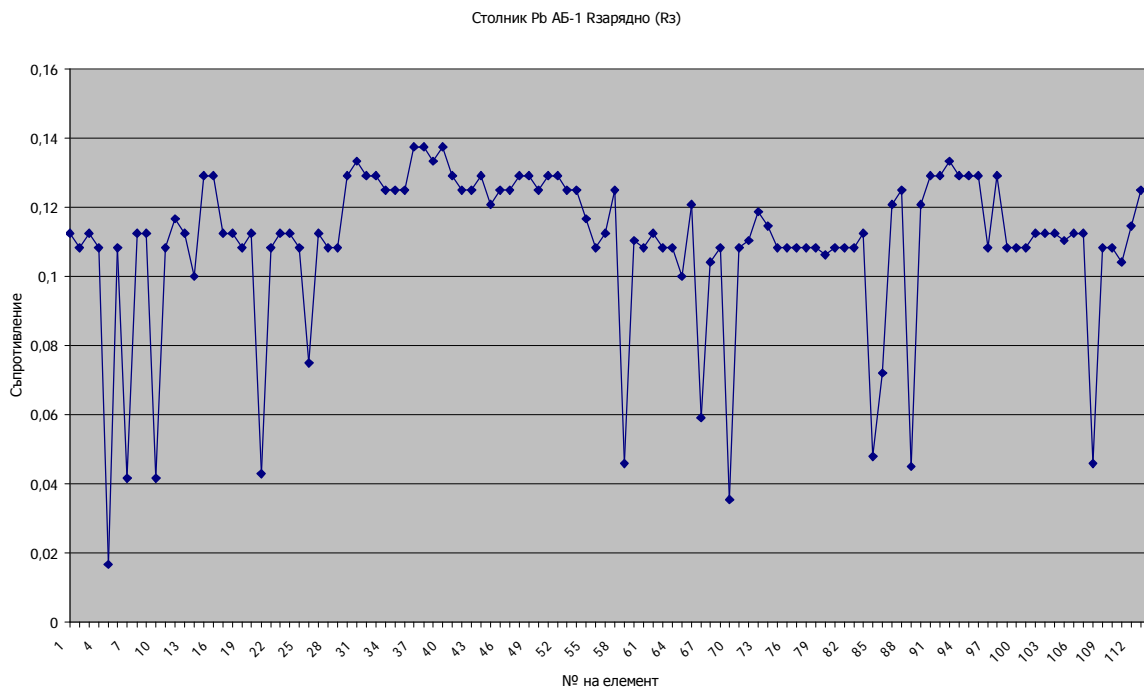
2. От таблиците и графиките ясно и еднозначно се вижда, че стойностите на вътрешното съпротивление в клетките с №№ 5, 10, 21, 59, 67, 69, 70, 85, 86, 89 и 108 при под заряд и разряд на АБ се различават от средната стойност за цялата батерия и съответно на изискванията.

3. На всички стационарни, тягови и стартерни АБ е необходимо да бъдат провеждани гаранционни и извън гаранционни измервания и тестове за гарантиране на основните електрически изисквания, което гарантира надеждна и безопасна работа на електрическите под станции и други.

4. На всички стационарни АБ за СН е необходимо да бъдат провеждани приемателни измервания, изпитания и тестове за гарантиране на основните електрически изисквания, съгласно техническите изисквания, Наредба 3, Устройство на електрическите уредби и електропроводните линии от 9.06.2004 година, БДС, Е N и други, след като бъдат внесени и монтирани на обектите което ще гарантира реално надеждна и безопасна работа на електрическите под станции и други.



Фигура 1



5. Необходимо е да се провеждат периодично рециклиращи цикли заряд-разряд с импулсен ток с компютърен контрол, управление и регистрация на зарядно-разрядния ток, зарядно и разрядно напрежение, автоматично изчисление на количество електричество и електроенергия, активното вътрешно съпротивление на всички клетки на АБ, което ще доведе до намаляване на вътрешното съпротивление на клетките, удължаване и гарантиране на експлоатационния живот на АБ и съответно надеждна и безопасна работа на електрическите подстанции.

Таблица 2

Столник Pb AB-1 Рзарядно (Rp)

№ на елемент	ЕДН на елемент	Up на елемент	Ip	Rp (E-Up)/Ip	№ на елемент	ЕДН на елемент	Up на елемент	Ip	Rp (E-Up)/Ip
	V	V	A	$\Omega$		V	V	A	$\Omega$
1	1,99	1,85	30	0,004667	61	1,99	1,84	30	0,005
2	1,98	1,85	30	0,004333	62	1,98	1,83	30	0,005
3	1,98	1,85	30	0,004333	63	1,99	1,84	30	0,005
4	1,99	1,84	30	0,005	64	1,99	1,84	30	0,005
5	1,99	1,6	30	0,013	65	2	1,85	30	0,005
6	1,98	1,84	30	0,004667	66	1,96	1,79	30	0,005667
7	1,98	1,67	30	0,010333	67	1,96	1,63	30	0,011
8	1,98	1,85	30	0,004333	68	1,99	1,84	30	0,005
9	1,98	1,85	30	0,004333	69	1,99	1,69	30	0,01
10	1,99	1,54	30	0,015	70	1,96	1,58	30	0,012667
11	1,99	1,85	30	0,004667	71	1,99	1,84	30	0,005
12	1,98	1,85	30	0,004333	72	1,99	1,84	30	0,005
13	1,99	1,85	30	0,004667	73	1,97	1,82	30	0,005
14	1,97	1,84	30	0,004333	74	1,98	1,83	30	0,005

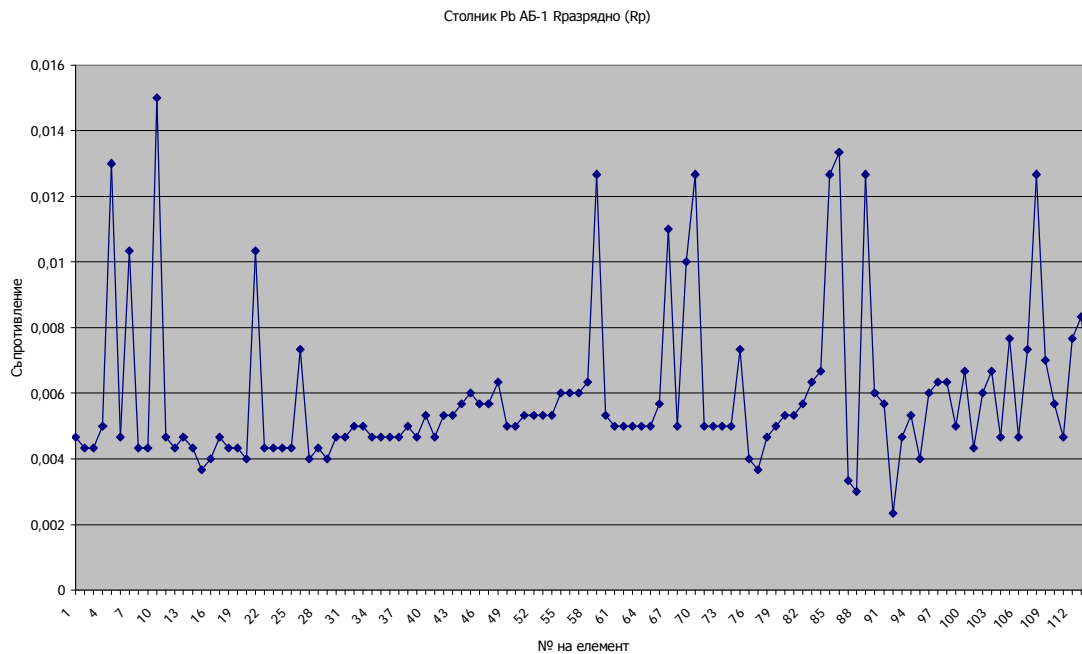


Созопол, 1 – 4 октомври 2009 г.

15	1,94	1,83	30	0,003667	75	1,99	1,77	30	0,007333
16	1,95	1,83	30	0,004	76	1,99	1,87	30	0,004
17	1,98	1,84	30	0,004667	77	1,99	1,88	30	0,003667
18	1,98	1,85	30	0,004333	78	1,99	1,85	30	0,004667
19	1,99	1,86	30	0,004333	79	1,99	1,84	30	0,005
20	1,98	1,86	30	0,004	80	1,99	1,83	30	0,005333
21	1,99	1,68	30	0,010333	81	1,98	1,82	30	0,005333
22	1,99	1,86	30	0,004333	82	1,98	1,81	30	0,005667
23	1,98	1,85	30	0,004333	83	1,99	1,8	30	0,006333
24	1,98	1,85	30	0,004333	84	1,99	1,79	30	0,006667
25	1,99	1,86	30	0,004333	85	1,99	1,61	30	0,012667
26	1,99	1,77	30	0,007333	86	1,96	1,56	30	0,013333
27	1,98	1,86	30	0,004	87	1,96	1,86	30	0,003333
28	2	1,87	30	0,004333	88	1,94	1,85	30	0,003
29	1,99	1,87	30	0,004	89	1,95	1,57	30	0,012667
30	1,95	1,81	30	0,004667	90	1,95	1,77	30	0,006
31	1,94	1,8	30	0,004667	91	1,94	1,77	30	0,005667
32	1,95	1,8	30	0,005	92	1,95	1,88	30	0,002333
33	1,95	1,8	30	0,005	93	1,94	1,8	30	0,004667
34	1,96	1,82	30	0,004667	94	1,95	1,79	30	0,005333
35	1,96	1,82	30	0,004667	95	1,94	1,82	30	0,004
36	1,95	1,81	30	0,004667	96	1,95	1,77	30	0,006
37	1,93	1,79	30	0,004667	97	1,99	1,8	30	0,006333
38	1,93	1,78	30	0,005	98	1,94	1,75	30	0,006333
39	1,94	1,8	30	0,004667	99	1,99	1,84	30	0,005
40	1,93	1,77	30	0,005333	100	1,99	1,79	30	0,006667
41	1,95	1,81	30	0,004667	101	1,99	1,86	30	0,004333
42	1,95	1,79	30	0,005333	102	1,99	1,81	30	0,006
43	1,95	1,79	30	0,005333	103	1,99	1,79	30	0,006667
44	1,94	1,77	30	0,005667	104	1,98	1,84	30	0,004667
45	1,95	1,77	30	0,006	105	1,98	1,75	30	0,007667
46	1,95	1,78	30	0,005667	106	1,99	1,85	30	0,004667
47	1,95	1,78	30	0,005667	107	1,99	1,77	30	0,007333
48	1,94	1,75	30	0,006333	108	1,99	1,61	30	0,012667
49	1,94	1,79	30	0,005	109	1,99	1,78	30	0,007
50	1,94	1,79	30	0,005	110	1,99	1,82	30	0,005667
51	1,94	1,78	30	0,005333	111	2	1,86	30	0,004667
52	1,94	1,78	30	0,005333	112	1,98	1,75	30	0,007667
53	1,96	1,8	30	0,005333	113	1,96	1,71	30	0,008333
54	1,96	1,8	30	0,005333	114	1,96	1,78	30	0,006
55	1,98	1,8	30	0,006	115				
56	1,99	1,81	30	0,006	116				
57	1,99	1,81	30	0,006	117				
58	1,96	1,77	30	0,006333	118				
59	1,99	1,61	30	0,012667	119				
60	1,99	1,83	30	0,005333	120				



Фигура 2



## Литература

1. Гишин С., В. Господинов, Кр. Боев., Изследвания и изпитания на стационарни акумулаторни батерии за собствени нужди СН в електрическите централи и подстанции, Енергиен форум, 13-16 юни 2007, Варна, Р. България
2. Наредба № 3 Устройство на електрическите уредби и електропроводните линии, Том 18, АВС техника ООД, С., 2004.
3. Gishin S., Patent № 4216064, USA, №161102, Germany, № 2022617B, Grey Britania
4. Сидеров С., К. Кутлев, В. Господинов, С. Стоянов, С. Гишин. Справочник по енергетика, том 6, С., АВС техника ООД, 1999.
5. Справочник по енергетика, том XI, глава XIV, С., АВС техника ООД, 2001.
6. Гишин С. Акумулатори, М П „Издателство ТУ-София“, 2008.
7. Gishin S., Kr. Bоев., V. Gospodinov., Trening and research centre for the investigation and testing of accumulator batteries, Energy Test 2006, 23-25 November 2006, Athens, Greece.
8. Гишин С., Кр. Боев. ХИТ в системите СН на ел. централи и подстанции, Научна конференция с международно участие-Енергиен форум, юни 2005 г. Варна, Р. България
9. Гишин С., Проблеми при реализацията на акумулаторни батерии за собствени нужди в подстанциите, Списание „Енергетика“ 6-7 брой, 2008.
10. Господинов В, С. Гишин, Кр. Боев, Стенд за обучение и изследвания на сисетми за собствени нужди в енергетиката, Списание „Енергетика“ 8 брой, 2008
11. Гишин С., Патенти №№ 52056, 60570 и други, Р. България

## Автори:

Стоян Гишин, електрохимик, д-р по Технология на електрохимически източници на ток, ст.н.с. по Електротехнологии, катедра „Електрически апарати“, Електротехнически факултет, сл. тел. 965 3167, факс 8686719, e-mail: [gishin@tu-sofia.bg](mailto:gishin@tu-sofia.bg)

инж. Васил Господинов, доктор, доцент в катедра „Електроснабдяване, Електрообзавеждане и Електротранспорт“, тел. 965 2807, e-mail: [vgos@tu-sofia.bg](mailto:vgos@tu-sofia.bg)

инж. Красимир Боев, доктор, доцент в катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Фак. ултет, тел. 965 2117, e-mail: [boevkr@tu-sofia.bg](mailto:boevkr@tu-sofia.bg)



## ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕЖДУНАВИВКОВО КЪСО СЪЕДИНЕНИЕ В ТРАНСФОРМАТОР

Георги Тодоров, Калин Благоев, Георги Ганев

**Резюме:** Влиянието на междунавивково късо съединение във вторичната намотка върху величините, подлежащи на мониторинг от първичната страна на трансформатор е изследвано в зависимост от положението на късото съединение, броят на навивките в накъсосъединения контур и захранващото напрежение. Показано е, че следенето на тока и консумираната мощност в трите фази на трансформатора позволяват диагностицирането на тази повреда.

### УВОД

Техническото състояние и надеждната работа на електрооборудването в електрическите централи, промишлените предприятия, транспорта и всички останали сфери е от първостепенна важност, тъй като авария или непредвидено прекъсване на работата може да предизвикат големи загуби от нереализирана продукция. От друга страна самите машини са скъпи и отговорни съоръжения и тяхното поддържане и ремонт представлява сериозен разход.

Много от възможните повреди се предотвратяват благодарение на текущата профилактика и ремонти, които се извършват периодично през определени периоди от време или брой наработени часове. Такъв подход се използва успешно в продължение на дълги години и може да предотврати много аварии, но същевременно може да създаде предпоставка за неочаквани повреди или инциденти в междуремонтните интервали. Липсата на информация за текущото състояние на машините в тези интервали може да струва на експлоатиращия много време, човеко-часове труд и пари. В последните години като сполучлива алтернатива се налага непрекъснатият мониторинг на съоръженията, който носи информация за работния режим, за състоянието на отделните компоненти и дава възможност да се определи ясно кога и каква профилактика е необходима, за да се предотврати настъпване на повреда.

Според продължителността на възникване, повредите може да се разделят на внезапни и постепенни [6]. Първите възникват и се развиват много бързо, за части от секундата. При тях се получават преходни процеси, свързани със скокообразни изменения на характерни величини. Тези изменения трябва да бъдат уловени от бързодействащите защити, които да предотвратят разрушителни последствия. Когато продължителността на възникване и развитие на повредата е от порядъка на дни, седмици или месеци, непрекъснатият мониторинг дава възможност не само да бъде предупреден потребителя за предстоящ проблем, но и да се предвиди след колко време може да се очаква той. При тези „бавни“повреди натрупаната от мониторинга информация позволява не само да се направи навременното диагностициране, но и да се проследи развитието на процесите и да се търсят причините за тяхната поява.

### ПОВРЕДИ В СИЛОВИТЕ ТРАНСФОРМАТОРИ

Основните компоненти на силовите трансформатори са намотки, магнитопровод, казан, масло, регулатор на напрежението. Според статистиката на регистрираните повреди [2, 3] най-голям процент се наблюдава в намотките и регулатора на напрежението.

Състоянието на намотковата и главната изолация (маслото) оказва най-силно влияние върху живота на трансформаторите. Повредите в намотките се дължат на стареене и нарушаване на качествата на изолацията. При твърдата изолация (на намотките) претоварването или локални прегрявания причиняват повишаване на температурата над





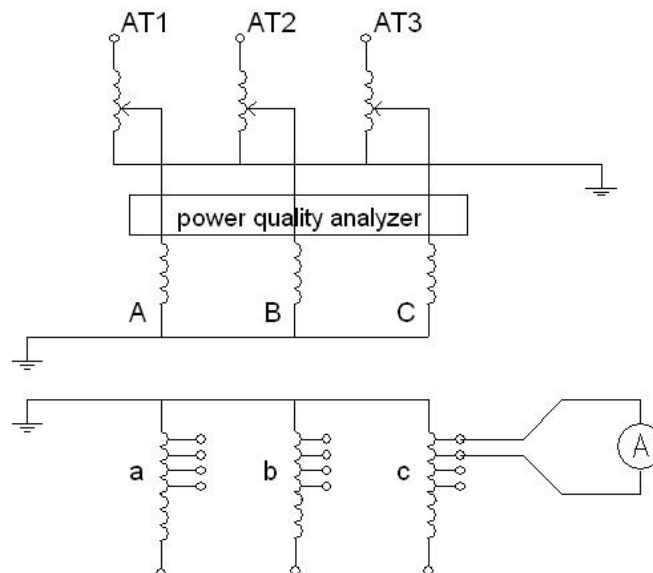
допустимите стойности и ускорено термично стареене. Методите за определяне на прегряванията може да се групират като: вграждане на термодвойки, фиброоптични сензори, инфрачервена термография и използване на температурни модели. Следенето на температурата в най-загрятите точки с помощта на контактни термосензори е затруднено поради проблеми с изолирането им, докато оптичните температурни сензори могат да бъдат сполучливо решение, но все още са много скъпи [2,3,4]. Разработките публикувани в последните години са ориентирани най-често към използването на температурни модели, с които се изчисляват стойностите на температурите в критичните зони. Като входна информация за тези изчисления се използват данни от измервания на температурата на маслото и на токовете в намотките. Общото заключение на авторите е, че за преходни режими надеждността и чувствителността, която се постига не е достатъчна и трябва да се търсят пътища за подобряването им.

Традиционен начин за следене на състоянието на маслото е газовият анализ. Ранна индикация на предстояща повреда може да бъде наличието на разтворени в маслото газове, причинени от термичното стареене на изолацията. Обикновено се следи концентрацията на водород, но все по-често в системите за мониторинг се включва и анализирането на съдържанието на кислород, въглероден оксид, въглероден диоксид, метан, етилен, ацетилен [2, 3].

Една от често срещаните повреди, във въртящите машини и в трансформаторите, е междунавивковото късо съединение [5]. Тя се отнася към категорията бавни повреди, които ако не бъдат своевременно установени предизвикват аварийно прекъсване на работата на трансформатора и захранването от него съоръжения. В настоящата работа се анализира изменението на величините, подлежащи на мониторинг на трансформатора, при появата на междунавивково късо съединение в зависимост от мястото на възникването му.

#### ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Проведено е експериментално изследване на лабораторен физичен модел на трифазен трансформатор за да се анализира поведението му при възникване на междунавивково късо съединение. Трансформаторът е сух, с обявена мощност 1600 VA и линейно напрежение на първичната намотка 380 V. Намотките са свързани звезда-звезда, като от поредица навивки на вторичната намотка са изведени изводи. Това позволява да се симулира късо съединение, възникващо на различни места – между навивки от една и съща фаза и между навивки от различни фази, разположени на съседни ядра – Фиг.1.



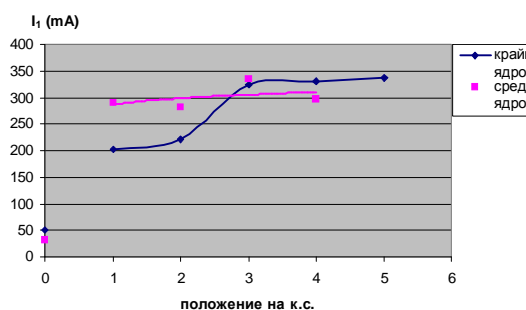
Фиг. 1 Схема на изпитвания трансформатор



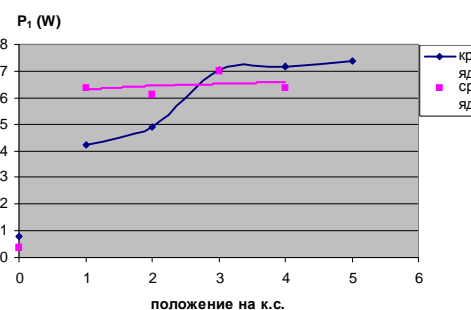
Допълнително изведените изводи са номерирани, като изводът 1 се намира най-близо до звездния център, а този с номер 5 – най-далече. Между всеки от допълнителните изводи има по 8 навивки, а навивковото напрежение е 0,505 V. Изследваният трансформатор се захранва от три еднофазни автотрансформатора с което се създава възможност за осигуряване на симетрично трифазно захранване с разлика между напреженията на трите фази не по-голяма от 0.1-0.3 V. Следените величини в първичната намотка на трансформатора се измерват с анализатор на качеството на енергията (Power Quality Analyzer) едновременно за трите фази. Допълнително се измерва токът в накъсосъединения контур от вторичната намотка. Измерванията са направени в режим на празен ход (по отношение на работните изводи на вторичната намотка) за няколко стойности на понижено захранващо напрежение, променяно между 22 V и 88 V.

### РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

За анализиране влиянието на местоположението на възникване на междунавивково късо съединение са направени поредица измервания, при всяко от които са затваряни накъсо съседни изводи, намиращи се на различна височина в намотката. Измерванията са направени за всяка от фазите и дават възможност да се оцени разликата между величините за фазите разположени на крайните ядра на трансформатора и тази на средното ядро.



Фиг.2. Ток на празен ход в първичната намотка, в зависимост от положението на междунавивковото късо съединение



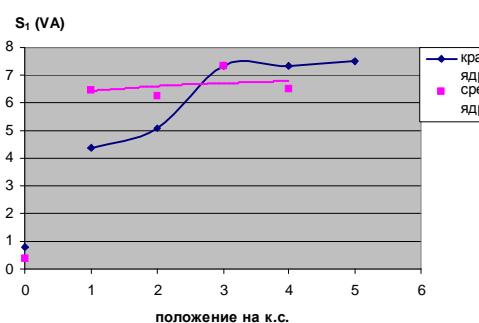
Фиг.3. Активна мощност в първичната намотка, в зависимост от положението на междунавивковото късо съединение

Интерес представляват стойностите на токовете и мощностите, измервани в първичната намотка, тъй като те са обект на мониторинг при всички режими на работа и натоварвания и може да предоставят информация за диагностициране на повреда или аномален режим при експлоатацията.

Измерените стойности на тока, активната и пълната мощности за средна и крайна фази в зависимост от положението на междунавивковото късо съединение са представени на Фиг.2 ÷4 и показват нарастване с отдалечаване на късото съединение от звездния център (съответно от ярема на трансформатора).

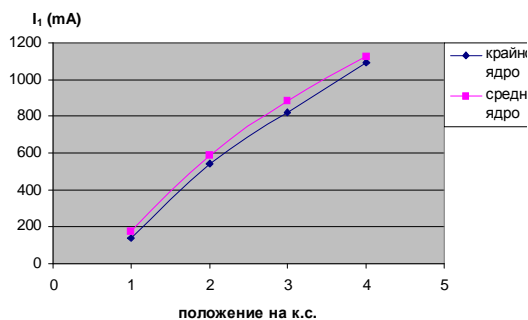
Тази тенденция е по-силно изразена за фазите, разположени върху крайните ядра.

На фигурите за положение на късото съединение 0 е показана стойността на съответната величина на изправна намотка без междунавивково късо съединение.

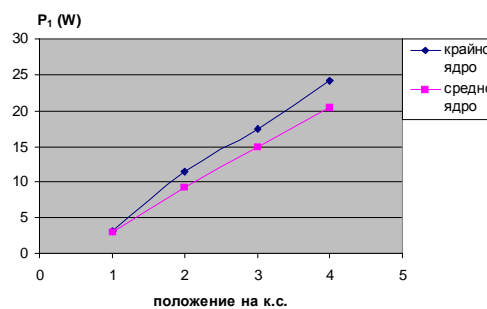


Фиг.4. Пълна мощност в първичната намотка, в зависимост от положението на междунавивковото късо съединение

Когато възниква късо съединение между навивки от две различни фази, разположени на съседни ядра, нарастването на тока в първичната намотка и консумираната мощност е още по-силно изразено с отдалечаване от звездния център, което е представено на Фиг. 5÷6.



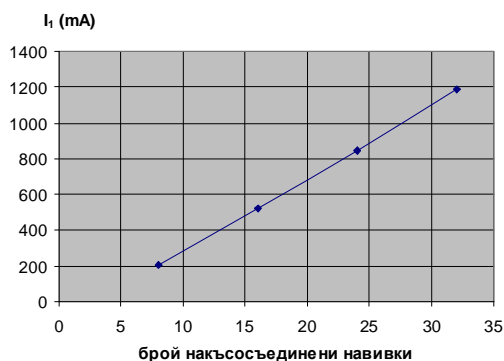
Фиг.5. Ток на празен ход в първичната намотка, при междунавивковото късо съединение между навивки от две съседни ядра



Фиг.6. Активна мощност в първичната намотка, при междунавивковото късо съединение между навивки от две съседни ядра

Всички показани на Фиг. 2÷6 резултати са измерени за контур затворен между два съседни извода при фазно захранващо напрежение 22V.

Ако междунавивковото късо съединение обхваща контур с по-голям брой навивки, токът и мощността, консумирани от съответната фаза на първичната намотка нарастват линейно – Фиг. 7÷8.



Фиг.7. Ток на празен ход в първичната намотка на крайно ядро в зависимост от броя навивки в накъсосъединения контур

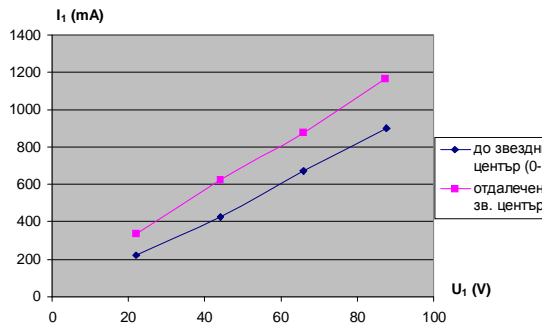


Фиг.8. Активна мощност в първичната намотка на крайно ядро в зависимост от броя навивки в накъсосъединения контур

С увеличаване на захранващото напрежение нарастването на първичния ток има линеен характер, а това на мощността – параболичен – Фиг. 9÷10.

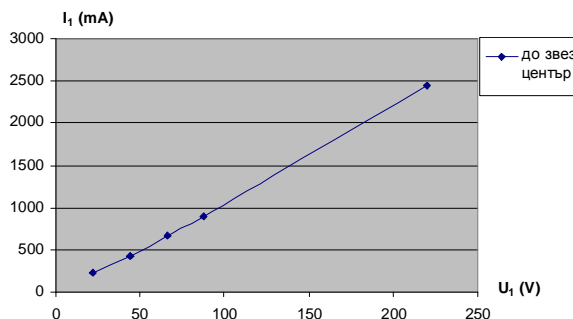
Характерът на изменение е еднакъв при различното местоположение на междунавивковото съединение, като по-големи стойности се получават с отдалечаване от звездния център.

Вижда се, че поведението на трансформатора в този случай е както при същинско късо съединение – магнитната система е ненаситена като зависимостта между тока и напрежението остава линейна и при повишаване на захранващото напрежение до номиналното – Фиг. 11.



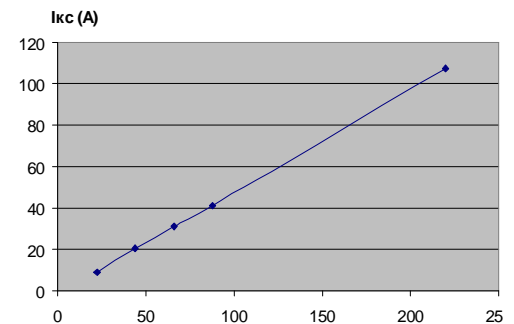
Фиг.9. Ток на празен ход в първичната намотка на крайно ядро в зависимост от захранващото напрежение

Това води до силни локални прегрявания, които могат да причинят нарушаване на изолацията на съседните навивки и „пропълзяване” на късото съединение по цялата намотка. За илюстрация на Фиг. 12 са представени измерените стойности на тока в накъсосъединения контур между два съседни извода, съдържащ 8 навивки, в зависимост от захранващото напрежение.

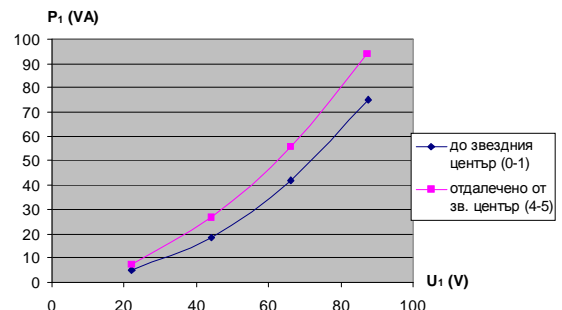


Фиг.11. Ток на празен ход в първичната намотка на крайно ядро при повишаване на захранващото напрежение

При това стойността на тока във фазата с междунавивково късо съединение нараства до стойности близки до номиналната, въпреки че по отношение на външните изводи на вторичната намотка трансформаторът работи на празен ход. Причината за това е много голямата стойност на тока в накъсосъединения контур – тя многократно надвишава тази, за която е оразмерена намотката.



Фиг.12. Ток в накъсосъединения контур п междунавивково к.с. в крайно ядро в зависимост от захранващото напрежение



Фиг.10. Активна мощност в първичната намотка на крайно ядро в зависимост от захранващото напрежение

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Експерименталното изследване на междунавивково късо съединение във вторичната намотка на трансформатор показва, че характерът на изменение на величините е подобен на този при еднофазно или междуфазно късо съединение дори и при малък брой навивки, оформящи накъсосъединения контур. Следенето на тока или мощността в първичната намотка дава възможност за навременно диагностициране на този вид повреда и предотвратяване на аварии с по-тежки последици.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията в разработката са извършени с финансовата подкрепа на Министерството на образованието, младежта и науката, Фонд “Научни изследвания”, договор № МУ-ФС-16 “ Дистанционна диагностика и мониторинг на електромеханични системи”.



ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гамм А., Л. Герасимов. Оценивание состояния в электроэнергетике, Наука, М., 1983.
- [2] Bengtsson C. Status and Trends in Transformer Monitoring. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, July 1996, pp.1379-1384.
- [3] Han Y., Y. H. Song. Condition Monitoring Techniques for Electrical Equipment — A Literature Survey. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 1, Jan. 2003, pp. 4-13.
- [4] Klingshirn E. A., H. R. Moore, E. C. Wentz, Detection of faults in power transformers, AIEE Transactions, pt. III, vol. 76, pp. 87–95, Apr. 1957.
- [5] Penman J., H.G.Sedding, B.A. Lloyd, W.T.Fink. Detection and location of interturn short circuits in the stator windings of operating motors. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 9, No. 4, Dec.1994, pp. 652-658.
- [6] Tavner P.J. Review of condition monitoring of rotating electrical machines. IET Electric Power Appl., 2008, Vol. 2, No. 4, pp. 215–247.

АВТОРИ:

1. Д-р инж. Георги Тодоров Тодоров, доцент в катедра “Електрически машини”, Технически университет – София, Каб.12326, Тел. 965-21-43, E-mail: [gtto@tu-sofia.bg](mailto:gtto@tu-sofia.bg)
2. Маг. инж. Калин Стефанов Благоев, “Мултипроцесорни системи ООД”, потенциален докторант към договор № МУ-ФС-16, E-mail: [kalin@mps.bg](mailto:kalin@mps.bg)
3. Д-р инж. Георги Ил. Ганев, гл. асистент в катедра “Електротехника”, Технически университет – София, филиал Пловдив, Тел. 032-659688, E-mail: [gganev@tu-plovdiv.bg](mailto:gganev@tu-plovdiv.bg)



## ВЛИЯНИЕ НА ПОСОКАТА НА ОТНОСИТЕЛНОТО ДВИЖЕНИЕ ВЪРХУ ИЗХОДНИЯ СИГНАЛ НА ТРАНСФОРМАТОРЕН ЕЛЕКТРОМАГНИТЕН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ С ОТМЕСТЕНИ НАМОТКИ

Стефчо Гунински и Валери Иванов

*В работата е изследвано влиянието на относителната скорост върху изходния сигнал на трансформаторен електромагнитен преобразувател с квадратни отместени намотки с близки размери. Проведени са серия числени експерименти, по резултатите от които са построени ориентировъчните диаграми и зависимостите на ефективната стойност и фазата на изходното напрежение от ъгъла, определящ посоката на движение при различни големина на скоростта и обобщения параметър.*

### УВОД

При трансформаторните вихровотокови преобразуватели (ВТП) с квадратни съосни намотки изходния сигнал много слабо зависи от скоростта на относителното им движение спрямо контролирания обект (КО) [1]. Тази зависимост се засилва при значителна разлика в дължините на страните на възбудителната намотка (ВН) и на измервателната намотка (фиг. 1), при правоъгълната им форма и особено при отместване на осите им. В [2] е изследвана зависимостта на изходния сигнал на ВТП при отместени намотки от *големината на скоростта* при различни стойности на електрофизичните параметри на КО и на честотата на възбудителното електромагнитно поле, когато посоката на скоростта е неизменно по посоката на отместване на ВН и ИН (оста  $Ox$ ).

В настоящата работа е изследвана зависимостта на изходния сигнал от *посоката на скоростта* при неизменна нейна големина също при различни стойности на електрофизичните параметри на КО и на честотата на възбудителното електромагнитно поле.

### ИЗЧИСЛИТЕЛЕН МОДЕЛ

Контролираният обект се разглежда като плоско еднородно хомогенно и изотропно изделие с линейни специфична проводимост  $\gamma = \text{const}$  и относителна магнитна проницаемост  $\mu_r = \text{const}$  (фиг. 1а). ВН е квадратна с  $N_1$  навивки и страна  $2a_1$  и по нея протича синусоиден ток  $i$  с честота  $f$ . ИН също е квадратна с  $N_2$  навивки и страна  $2a_2$  (фиг. 1б). Разглежда се случая  $a_1 \approx a_2$  при отместване на центъра на ИН на  $c_2$  по отношение на центъра на ВН в посока по оста  $Ox$ . Счита се, че размерите на КО са много по-големи от размерите на ВТП и че той е разположен далече от крайщата му, поради което КО е представен като хомогенно изотропно полупространство с линейни електрофизични параметри. Относителното движение е транслационно с константна скорост  $v$ , чиято посока сключва ъгъл  $\alpha$  с оста  $Ox$  и няма проекция по оста  $Oz$  (фиг. 1б). ВН и ИН са на разстояния съответно  $h_1$  и  $h_2$  от повърхността на КО.

Като изходен сигнал се разглежда комплексната ефективна стойност на “внесеното” напрежение  $\mathcal{U}_H$ , индуктирано в ИН. Изразът за това напрежение е частен случай на изведената от авторите в [3] обща теория на трансформаторни ВТП с най-различно разположение на правоъгълни ВН и ИН:

$$\mathcal{U}_H(v_x, v_y) = -j\tilde{g} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p l^{-2} n^{-2} f_m e^{-p(h_1+h_2)} e^{jlc_2} \sin l a_1 \sin n a_1 \sin l a_2 \sin n a_2 dl dn, \quad (1)$$

където

$$\tilde{g} = 2p^{-2} m_0 w \sqrt{N_1 N_2}, \quad f_m = \frac{m_r p - q_v}{m_r p + q_v}, \quad p = \sqrt{I^2 + n^2}, \quad q_v = \sqrt{p^2 + j \omega m g + j \omega g (I v_x + n v_y)} \quad (2)$$

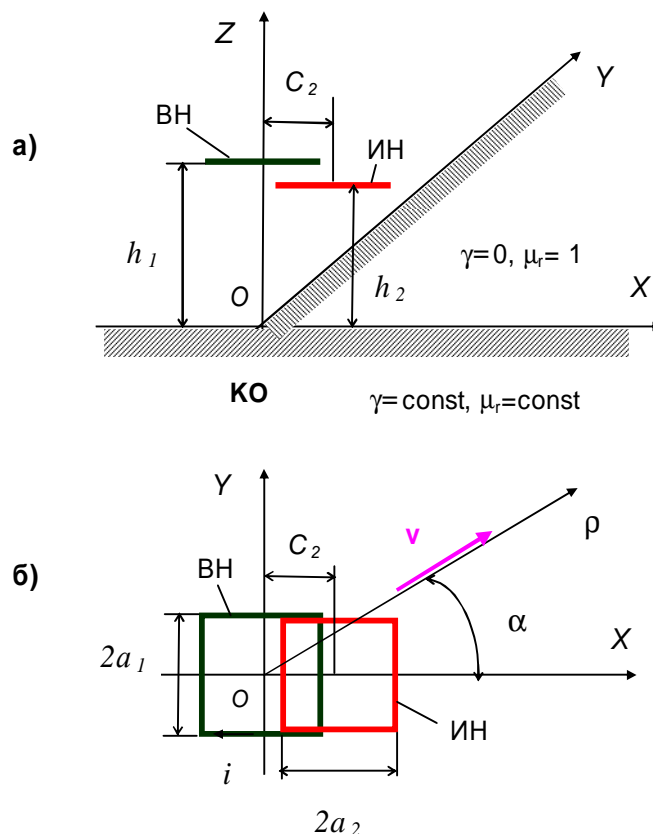
Въведени са безразмерните величини и параметри:

$$\text{- обобщен параметър } \beta^2 = \omega \gamma \mu_0 a_1^2, \quad \omega = 2\pi f; \quad (3)$$

- нормирани линейни размери  $s^* = s / a_1$ ,  $s = a_2, c_2, h_1, h_2$ ;

- относителна скорост  $\tau_{x(y)} = v_{x(y)} / (\omega a_1)$ .

$$\text{- относително внесено напрежение } U^*(t_x, t_y) = \frac{U_H(v_x, v_y) - U_H(0,0)}{U_H(0,0)} \quad (4)$$



Фиг. 1. ВТГ с отместени квадратни намотки, разположен над движещ се плосък КО

### ЧИСЛЕН ЕКСПЕРИМЕНТ

На базата на изрази (1) – (4) са изчислени компонентите на нормирания изходен сигнал от (4) – реална и имагинерна част и ефективна стойност  $U^*$  и фаза  $\Psi = \arg(U^*)$  при различни посоки и стойности на относителната скорост и на обобщения параметър. При избора на стъпка и граници на интегриране на несобствените интеграла в (1) са взети предвид изводите от [4].

Изчисленията са извършени за:

$$\mu_r = 1 \text{ - неферомагнитен КО} \quad (5)$$

$$a_2^* = 1; h_1^* = 0,055; h_2^* = 0,06. \quad (6)$$

Получените числени резултати са онагледени графично с:

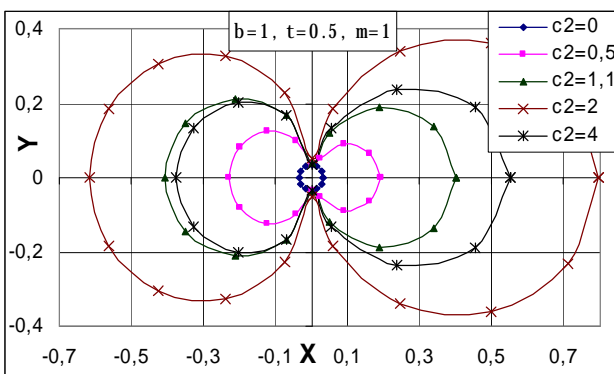


Ориентировъчни диаграми – зависимостта на ефективната стойност на нормирания изходен сигнал от ъгъла, задаващ посоката на скоростта в полярна координатна система (ефективната стойност на  $U^*$  от (4) е по оста  $O\rho$ , а ъгълът  $\alpha$ , определящ посоката на скоростта е по ъгловата координата  $\theta$  (фиг. 1б)). При  $\beta = \text{const}$ ,  $\tau = \text{const}$  и различни отмествания  $c_2$ .

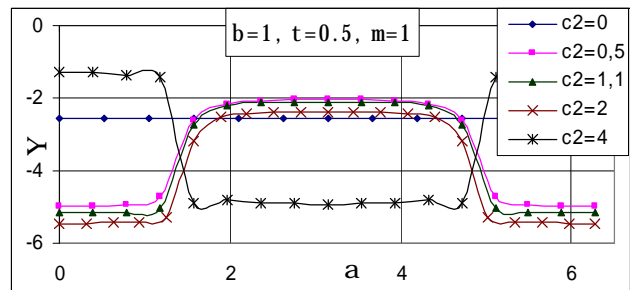
Ъглови характеристики на фазата  $\Psi(\alpha)$  - зависимостта на началната фаза  $\Psi = \arg(U^*)$  на нормирания изходен сигнал от ъгъла  $\alpha$ , задаващ посоката на скоростта в декартова координатна система. При  $\beta = \text{const}$ ,  $\tau = \text{const}$  и различни отмествания  $c_2$ .

За сравнение са показани и зависимостите при липса на отместване ( $c_2 = 0$ ).

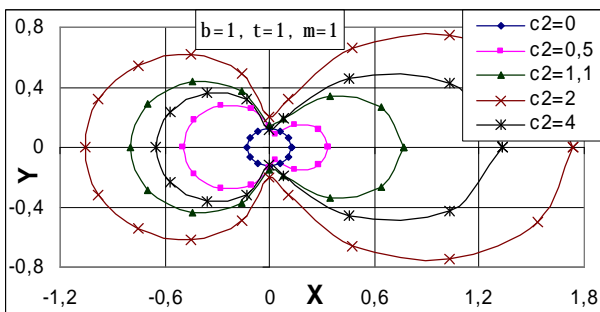
**Малки стойности на обобщения параметър ( $b = 1$ )**



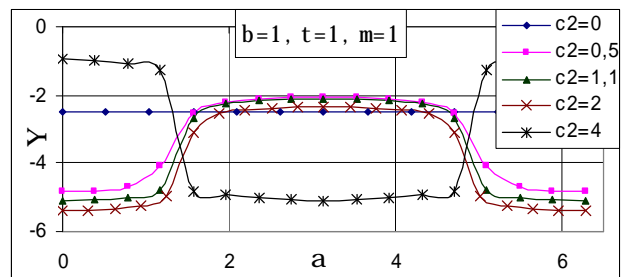
Фиг. 2. Ориентировъчни диаграми при  $\beta = 1$  и  $\tau = 0,5$ .



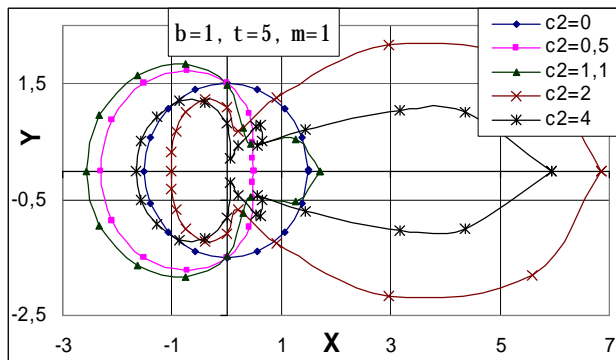
Фиг. 3. Ъглови характеристики при  $\beta = 1$  и  $\tau = 0,5$ .



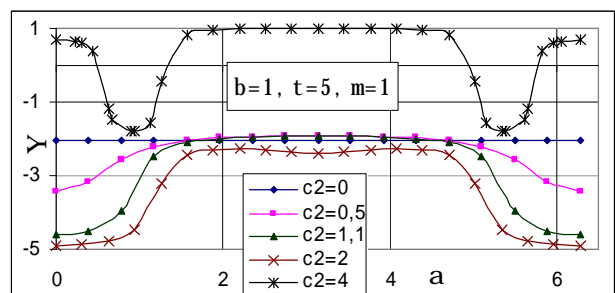
Фиг. 4. Ориентировъчни диаграми при  $\beta = 1$  и  $\tau = 1$ .



Фиг. 5. Ъглови характеристики при  $\beta = 1$  и  $\tau = 1$ .



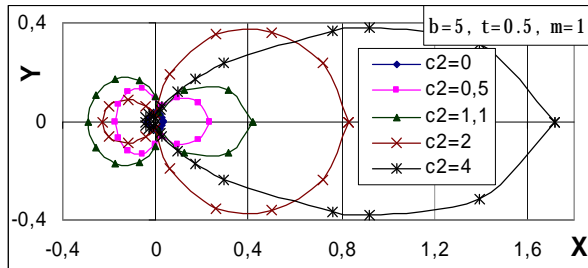
Фиг. 6. Ориентировъчни диаграми при  $\beta = 1$  и  $\tau = 5$ .



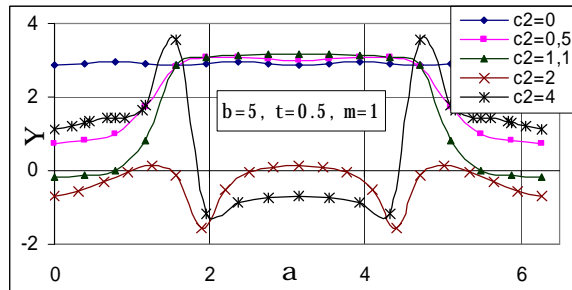
Фиг. 7. Ъглови характеристики при  $\beta = 1$  и  $\tau = 5$ .



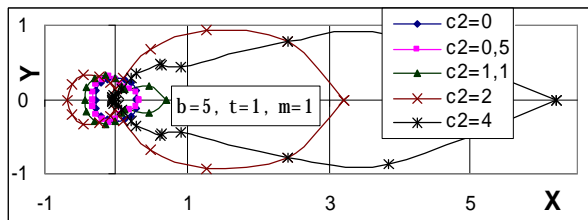
**Средни стойности на обобщения параметър ( $b = 5$ )**



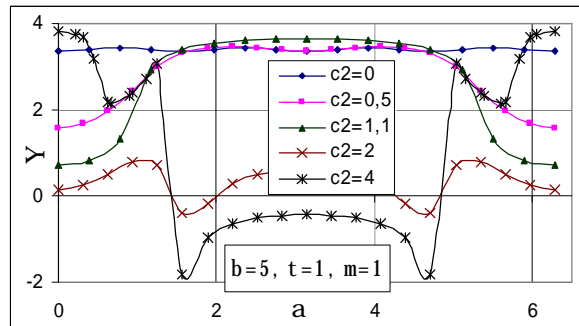
Фиг. 8. Ориентировъчни диаграми при  $\beta = 5$  и  $\tau = 0,5$ .



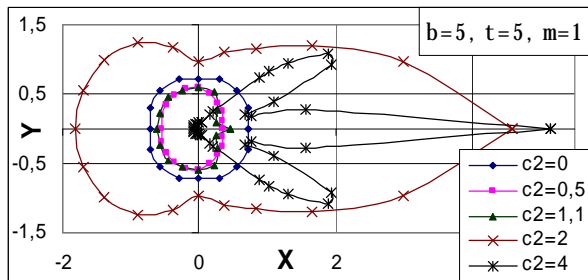
Фиг. 9. Ъгли характеристики при  $\beta = 5$  и  $\tau = 0,5$ .



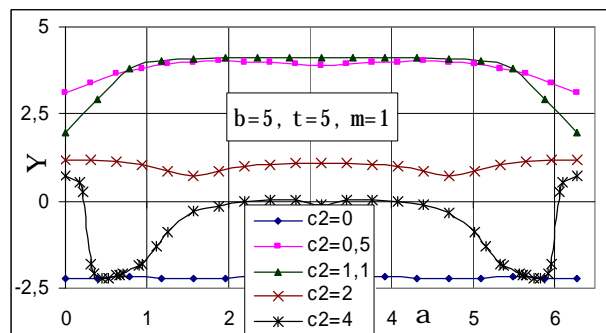
Фиг. 10. Ориентировъчни диаграми при  $\beta = 5$  и  $\tau = 1$ .



Фиг. 11. Ъгли характеристики при  $\beta = 5$  и  $\tau = 1$ .

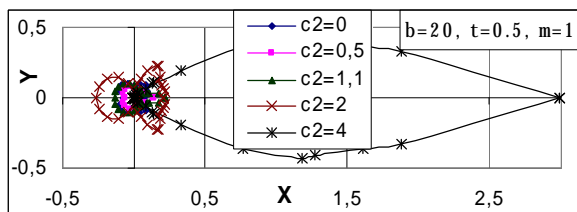


Фиг. 12. Ориентировъчни диаграми при  $\beta = 5$  и  $\tau = 5$ .

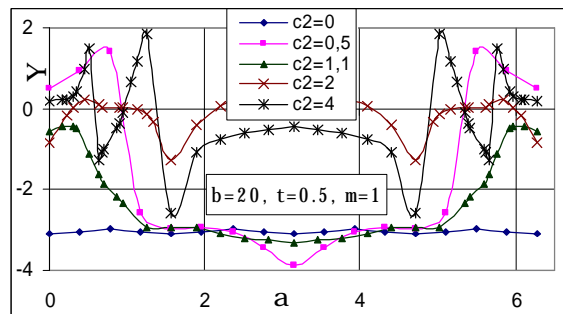


Фиг. 13. Ъгли характеристики при  $\beta = 5$  и  $\tau = 5$ .

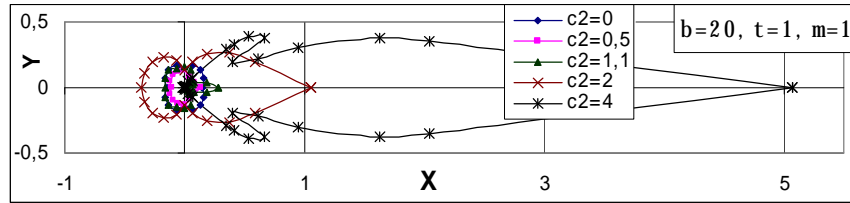
**Големи стойности на обобщения параметър ( $b = 20$ )**



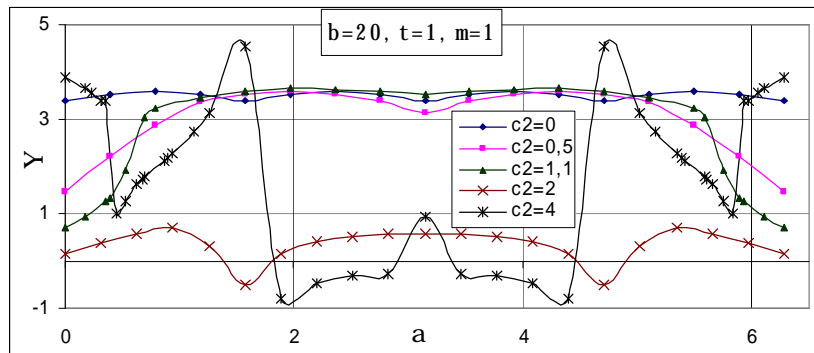
Фиг. 14. Ориентировъчни диаграми при  $\beta = 20$  и  $\tau = 0,5$ .



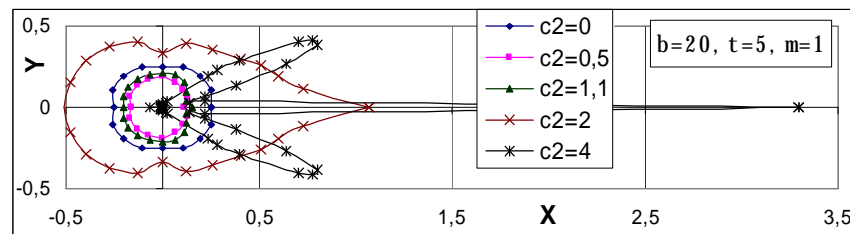
Фиг. 15. Ъгли характеристики при  $\beta = 20$  и  $\tau = 0,5$ .



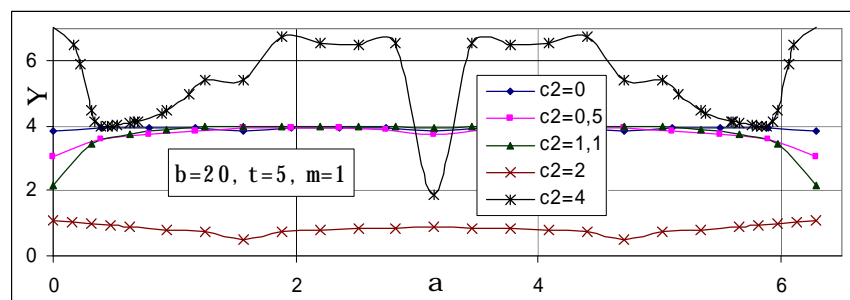
Фиг. 16. Ориентировъчни диаграми при  $\beta = 20$  и  $\tau = 1$ .



Фиг. 17. Ъглови характеристики при  $\beta = 20$  и  $\tau = 1$ .



Фиг. 18. Ориентировъчни диаграми при  $\beta = 20$  и  $\tau = 5$ .



Фиг. 19. Ъглови характеристики при  $\beta = 20$  и  $\tau = 5$ .

### АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ЧИСЛЕНИЯ ЕКСПЕРИМЕНТ

#### Ориентировъчни диаграми

Получените графики са с много разнообразна форма, които съществено се различават от основните геометрични фигури. Като количествена оценка за чувствителността към четирите основни посоки може да се въведат коефициентите:



$$k_{\pi} = U_{\pi}^* / U_0^* , \quad k_{\pi/2} = k_{-\pi/2} = U_{\pi/2}^* / U_0^* , \quad (7)$$

където индексите показват за каква стойност на ъгъла  $\alpha$  се отнасят съответните величини, т. е.  $U_0^*$  е ефективната стойност на нормираното изходно напрежение при скорост по посоката на отместването на ИН (по оста +Ox),  $U_{\pi}^*$  - при посока обратна на посоката на отместването на ИН (по оста -Ox),  $U_{\pi/2}^* = U_{-\pi/2}^*$  - при посока перпендикулярна на посоката на отместването на ИН (по оста  $\pm Oy$ ).

Първата група ориентировъчни диаграми са с форма близка до окръжност или праъгълник със "заоблени" върхове. Те са характерни за сравнително големи относителни скорости и малки отмествания, независимо от стойността на обобщения параметър (например фиг. 6 –  $c_2^* = 0,5$ , фиг. 12 –  $c_2^* = 0,5$  и фиг. 18 –  $c_2^* = 0,5$ ). При тях коефициентите от (7) имат близки стойности около единица, т. е. няма направления на много голяма или много по-малка чувствителност.

Другите ориентировъчни диаграми са основно два вида:

- "легнала осмица"; такива са диаграмите при по-малки скорости и не много големи стойности на  $\beta$  и отместването. При тях очевидно чувствителността към скорости по оста Oy (и в двете посоки) е много малка -  $k_{\pi/2} = k_{-\pi/2} \ll 1$ . За скорости по оста Ox са налице и двата случая:

$k_{\pi} > 1$ , т. е. по-голяма е чувствителността в посока обратна на отместването (-Ox) – например при  $\beta = 5$ ,  $\tau = 1$  и  $c_2^* = 0,5$  (фиг. 4).

$k_{\pi} < 1$ , т. е. по-голяма е чувствителността по посока на отместването (+Ox) – например при  $\beta = 1$ ,  $\tau = 0,5$  и  $c_2^* = 2$  (фиг. 2) и  $\beta = 5$ ,  $\tau = 0,5$  и  $c_2^* = 2$  (фиг. 8).

- много големи стойности на  $U_0^*$  и твърде малки стойности на  $U^*$  при  $\alpha \neq 0$ . Такива ориентировъчни диаграми с остри пикове при  $\alpha \cong 0$  се получават при по-големи отмествания ( $c_2^* \geq 4$ ). Колкото по-големи са стойностите на обобщения параметър и на относителната скорост, толкова по-остри са пиковете – фиг. 8,10,12,14,16,18. При тях коефициентите от (7) имат много малки стойности, но при големи  $\beta$  и  $\tau$  се получават и две по-малки остри пикчета в близост до ъглополовящите на първи и четвърти квадрант – фиг. 12, 16, 18.

### Фазови характеристики

При малки стойности на обобщения параметър и на относителната скорост в интервалите  $|\alpha| < \pi / 2$  и  $|\alpha| > \pi / 2$  фазата е почти неизменна и се различава с  $\pi$  (фиг. 3 и фиг. 5). Тази зависимост на  $\Psi$  при големи  $\tau$  се запазва само за  $c_2^* = 1 \div 2$ . За отмествания извън този интервал фазата е почти постоянна с изключение на малки интервали около  $\alpha = 0$  при малки  $c_2^*$  и около  $\alpha = \pm \pi / 2$  при големи  $c_2^*$  (фиг. 7).

При по-големи стойности на  $\beta$  (фиг. 9,11,13,15,17,19) най-значителни са промените на фазата (най-вече около  $\alpha = \pm \pi / 2$ ) при големи отмествания. В този случай при по-малки стойности на  $c_2^*$  фазата се изменя по-съществено при по-малки скорости (фиг. 9 и фиг. 15).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Като резултат от направените изследвания може да се направят следните по-важни изводи:

1. При различни стойности на обобщения параметър  $\beta$ , относителната скорост  $\tau$  и отместване между намотките  $c_2$  се получават ориентировъчни диаграми с най-разнообразна форма. Това позволява да се подберат конструкции на ВТП и условия на контрол, така че да има желаната чувствителност на изходния сигнал по отношение на представляващата интерес *посока (посоки)* на относителната скорост.

2. Възможно е да се конструират ВТП, които да имат "избирателна" чувствителност по отношение на движението в една, две или даже три посоки.



3. При подходящ избор на конструкцията и условията за контрол и фазата на изходното напрежение може да се използва като информационен параметър за установяване на движение в определена посока.

4. Заслужава специално внимание изследването на разпределението на вихровите токове и картината на електромагнитното поле при  $\beta = 20$ ,  $\tau = 0,5$  и  $c_2^* = 2$ , за да се потърси обяснение на много особения (“чашковиден”) вид на ориентировъчната диаграма в този случай.

5. Разработеният числен модел и съпътстващият го софтуер ще бъде много полезен за първоначални насочващи изследвания при разработването на ВТП за измервания и контрол при налие на движение както в случаите, когато относителната скорост е смущаващ фактор, така и за евентуална направа на безконтактни измерители на скорост.

### ЛИТЕРАТУРА

[1] Гунински С., В. Иванов, Влияние на посоката на скоростта върху изходния сигнал на електромагнитен преобразувател с успоредни съосни намотки, Сборник доклади от XV Научен Симпозиум с международно участие “Метрология и Метрологично Осигуряване 2005” (13-17 Септември 2005 г., Созопол), с. 432-437.

[2] Иванов В., С. Гунински, Влияние на скоростта върху изходния сигнал на електромагнитен преобразувател с отместени правоъгълни намотки, Годишник на Техническият университет – София, том 56, кн. 2, 2006 г., с. 351-359.

[3] Гунински С., Изходен сигнал на електромагнитен преобразувател с перпендикулярни намотки при наличие на относително движение, Годишник на Техническият университет – София, том 53, 2004 г., с. 191 – 199.

[4] Гунински С., В. Иванов, Върху точността на численото интегриране на израза за изходния сигнал на трансформаторен вихротоков преобразувател, разположен над движещи се плоски проводящи феромагнитни обекти, Лятна школа ADVANCED ASPECTS OF THEORETICAL ELECTRICAL ENGINEERING SOZOPOL' 09, 20.09-23.09.2009, Созопол.

Доц. д-р инж. Стефчо Георгиев Гунински, Технически университет – София, тел. (02) 965 23 18, email: [sgg@tu-sofia.bg](mailto:sgg@tu-sofia.bg)

Гл. ас. маг. инж. Валери Симеонов Иванов, ЮЗУ “Неофит Рилски”, тел. 0898949280, email: [val\\_iv@abv.bg](mailto:val_iv@abv.bg)



## ЕДИН ПОДХОД ЗА РЕШАВАНЕ НА МЕТРОЛОГИЧНИТЕ ПРОБЛЕМИ ПРИ ПОВИШАВАНЕ НА ТОЧНОСТТА НА СИСТЕМИТЕ ЗА ТЪРГОВСКО ИЗМЕРВАНЕ НА ГОЛЕМИ КОЛИЧЕСТВА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ

Петко З. Костадинов, Живко А. Даскалов, Стефчо Г. Гунински и Калинка М. Тодорова

**Резюме:** Повишаването на точността на измерване на количествата активна и реактивна електрическа енергия в електропреносните и електроразпределителни мрежи с високо и средно напрежение е актуален проблем както за производителите, така и за потребителите на електрическа енергия.

Тъй като радикалното решаване на проблема е свързано с извършване на бавновъзстановими капиталовложения за нови по-прецизни средства за измерване, в доклада се предлага един ефективен метод за повишаване на общата точност на наличните системи за търговско измерване на количества електрическа енергия с помощта на апаратни средства.

### 1. УВОД

Търговското измерване на големи количества електрическа енергия се извършва с измервателни системи [1], включващи един или повече електромери и измервателни трансформатори за ток и напрежение във всяка фаза. Понеже общата точност на всяка такава система се определя от точността на средството за измерване (СИ) с най-нисък клас на точност, за повишаване на точността на измерване на количествата електрическа енергия следва да се избират измервателни трансформатори с много по-висок клас на точност от този на електромера(ите). Поради масовото навлизане на четириквadrантни статични електромери с клас на точност 0,2S, се налага използването на измервателни трансформатори със същия клас на точност, при което следва да се отчитат както грешките на всички СИ, така и грешките от съединителните проводници и схемите на свързване [2, 3 4].

В настоящия доклад се предлага един, по мнение на авторите, ефективен метод за повишаване на общата точност на наличните системи за търговско измерване на количества електрическа енергия при използване на четириквadrантен електромер клас 0,2S с помощта на допълнителни апаратни средства.

### 2. СЪЩНОСТ НА МЕТОДА

#### 2.1. Теоретична обосновка

Грешката  $\epsilon$  на всяко средство за измерване (СИ) изразена чрез номиналната му константа  $K_N$  и действителната му константа  $K$ , е от вида:

$$\epsilon = \frac{K - K_N}{K}$$

(1)

Удобно е корекционният коефициент  $K_c$ , отчитащ амплитудните и фазовите грешки на СИ да се представи във вида:

$$k_c = \frac{K}{K_N} \tag{2}$$



От (1 и (2) след преобразуване се стига до израза:

$$k_c = \frac{1}{1 + e_A + e_d}, \quad (3)$$

в който:  $e_A$  е амплитудната грешка на СИ (съответно  $e_I$  – за токовия трансформатор,  $e_U$  – напрежителния трансформатор и  $e_E$  – за електромера), а  $e_d$  е ъгловата грешка на СИ, която се определя с формулата:

$$e_d = \frac{\cos(j - d) - \cos j}{\cos j} \approx d \cdot \text{tg} j \quad (4)$$

в която с  $j$  е означена фазовата разлика между тока и напрежението.

Формула (4) се отнася за определяне на ъгловите грешки при измерване на активна енергия.

За определяне на корекционните коефициенти при измерване на реактивна енергия следва да се използва формулата:

$$e_d = -d \cdot \text{ctg} j \quad (5)$$

От формули (3), (4) и (5) следва, че константата на електромера с отчитане на действителните коефициенти на трансформация на измервателните трансформатори  $K_E^*$  ще бъде равна на:

$$K_E^* = K_U K_I K_E = k_{cu} k_{ci} K_{UN} K_{IN} K_{EN} \quad (6)$$

или общият корекционен коефициент с участието на измервателните трансформатори  $k_c$  ще се определя с израза:

$$k_c = \frac{1}{1 + e_I + e_U - e_E + (e_{d_U} - e_{d_I})} \approx 1 - e_I - e_U - (e_{d_U} - e_{d_I}) + e_E \quad (7)$$

Много често вместо константата  $K_E$  на електромера се използва реципрочната величина  $N_E$  (*imp/kWh*), представляваща преводното число на отчитания механизъм:

$$N_E^* = \frac{1}{K_E^*} = \frac{1}{k_c K_{EN}^*} = \frac{N_{EN}^*}{k_c} \quad (8)$$

В таблица 1 са дадени формули за изчисляване на корекционните коефициенти при измерване на количества активна и реактивна енергия

**Таблица 1.** Формули за изчисляване на корекционните коефициенти при измерване на количества активна и реактивна електрическа енергия

№	Наименование на величината	Означение	Измервателна единица	Определителен израз
1	Номинален коефициент на трансформация на токов трансформатор	$K_{IN}$	-	$K_{IN} = \frac{I_{1N}}{I_{2N}}$
2	Действителен коефициент на трансформация на токов трансформатор	$K_I$	-	$K_I = \frac{I_1}{I_2} = k_{ci} \cdot K_{IN}$



№	Наименование на величината	Означенение	Измервателна единица	Определителен израз
3	Преводна грешка на токов трансформатор	$\varepsilon_I$	%	$e_I = \frac{K_{IN} - K_I}{K_I} \cdot 100$
4	Коефициент, отчитащ грешката на токов трансформатор	$k_{ci}$	-	$k_{ci} = \frac{1}{1 + e_I + e_{d_I}}$
5	Ъглова грешка на токов трансформатор	$e_{d_I}$	-	$e_{d_I}^{AE} = d_I \cdot tgj$ $e_{d_I}^{PE} \approx -d_I \cdot ctgj$
6	Номинален коефициент на трансформация на напржителен трансформатор	$K_{UN}$	-	$K_{UN} = \frac{U_{1N}}{U_{2N}}$
7	Действителен коефициент на трансформация на напржителен трансформатор	$K_U$	-	$K_U = \frac{U_1}{U_2} = k_{cu} \cdot K_{UN}$
8	Преводна грешка на напржителен трансформатор	$\varepsilon_U$	%	$e_U = \frac{K_{UN} - K_U}{K_U} \cdot 100$
9	Коефициент, отчитащ грешката на напржителен трансформатор	$k_{cu}$	-	$k_{cu} = \frac{1}{1 + e_U + e_{d_U}}$
10	Ъглова грешка на напржителен трансформатор	$e_{d_U}$	-	$e_{d_U}^{AE} = d_U \cdot tgj$ $e_{d_U}^{PE} = -d_U \cdot ctgj$
11	Номинална константа на електромер	$K_{EN}$	$\frac{W \cdot s}{imp} \left( \frac{VAr \cdot s}{imp} \right)$	$K_{EN} = \frac{P_N \cdot t}{n} \left( \frac{Q_N \cdot t}{n} \right)$
12	Действителна константа на електромер	$K_E$	$\frac{W \cdot s}{imp} \left( \frac{VAr \cdot s}{imp} \right)$	$K_E = \frac{P \cdot t}{n} \left( \frac{Q \cdot t}{n} \right) = k_{ce} K_{EN}$
13	Грешка на електромер, изразена чрез константите	$\varepsilon_E$	%	$e_E = \frac{K_E - K_{EN}}{K_E} \cdot 100$
№	Наименование на величината	Означенение	Измервателна единица	Определителен израз
14	Коефициент, отчитащ грешката на електромера	$k_{ce}$	-	$k_{ce} = \frac{1}{1 - e_E - e_{d_E}}$

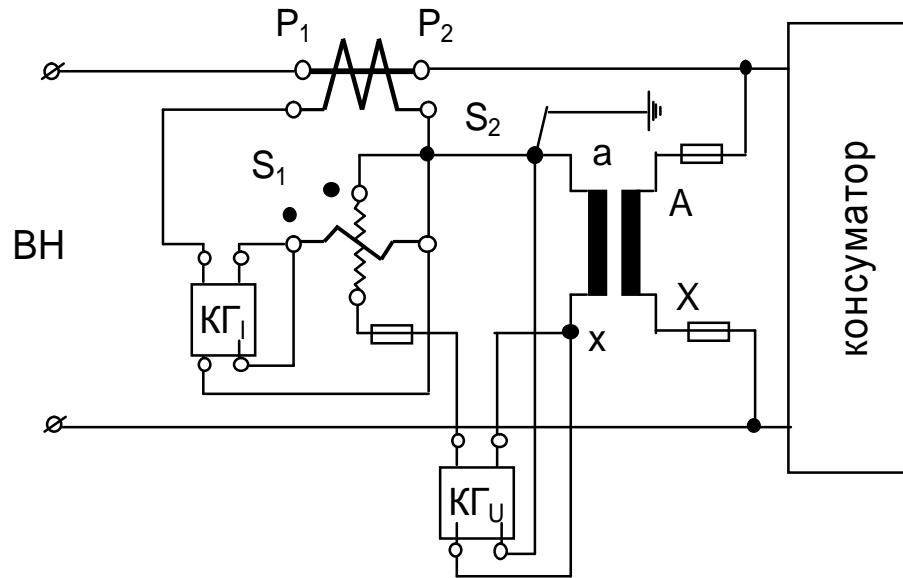


15	Ъглова грешка на електромер	$e_{d_E}$	-	$e_{d_E}^{AE} = [d_E - (d_U - d_I)] \cdot tgj$ $e_{d_E}^{PE} = -[d_E - (d_U - d_I)] \cdot ctgj$
16	Номинално преводно число (множител) на отчитащо устройство на електромер	$N_{EN}$	$\frac{imp}{kWh}$	$N_{EN} = \frac{1}{K_{EN}}$
17	Действително преводно число (множител) на отчитащо устройство на електромер	$N_E$	$\frac{imp}{kWh}$	$N_E = \frac{1}{K_E} = \frac{N_{EN}}{k_{ce}}$
18	Действителна константа на електромер с токов и напржителен трансформатор	$K_E^*$	$\frac{kWh}{imp} \left( \frac{MWh}{imp} \right)$	$K_E^* = K_E \cdot K_I \cdot K_U =$ $= k_{ce} k_{ci} k_{cu} K_{EN}$
19	Действително преводно число (множител) на електромер с токов и напржителен трансформатор	$N_E^*$	$\frac{imp}{kWh} \left( \frac{imp}{MWh} \right)$	$N_E^* = \frac{N_{EN}}{k_{ce} k_{ci} k_{cu}}$
20	Вторична енергия	$W_{a2}$ $W_{r2}$	kWh (kVArh)	$K_E \cdot n$ или $\frac{n}{N_E}$
21	Първична енергия	$W_{a1}$ $W_{r1}$	kWh (kVArh)	$K_{EN}^* \cdot n$ или $\frac{n}{N_{EN}^*}$

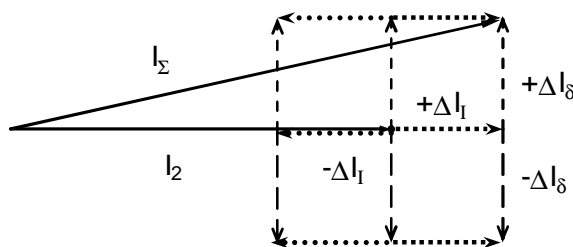
## 2.2. Принципни възможности за апаратна компенсация

На фиг.1 са показани двете принципни възможности за апаратно коригиране на преводните и ъгловите грешки, внасяни от токовите и напржителните измервателни трансформатори, а на фиг. 2 и на фиг. 3 – векторните диаграми, поясняващи принципа на корекция съответно в токовия и в напржителния кръг.

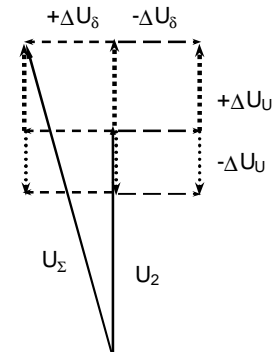




Фиг. 1. Принципна схема на свързване на апарати за коригиране на грешките в токовия и напрежителния кръг



Фиг. 2. Векторна диаграма, поясняваща корекцията в токовия кръг



Фиг. 3. Векторна диаграма, поясняваща корекцията в напрежителния кръг

### 2.2.1. Коригиране на грешките на токовия трансформатор

Апаратното коригиране на преводните и ъгловите грешки, внасяни от токовия трансформатор, трябва да включва последователно свързан с токовата намотка на електромера токов коректор КГ<sub>I</sub>, който съдържа:

- прецизен преобразувател „ток – напрежение“;
- два прецизни резистивни делители, позволяващи въвеждането на корекция на преводната и на ъгловата грешка на токовия трансформатор;
- суматор, свързан паралелно на токовата намотка на електромера, осигуряващ въвеждане на необходимата корекция съгласно фиг. 1.

### 2.2.1. Коригиране на грешките на токовия трансформатор

Апаратното коригиране на преводните и ъгловите грешки, внасяни от токовия трансформатор, трябва да включва последователно свързан с токовата намотка на електромера токов коректор КГ<sub>I</sub>, който съдържа:



- прецизен преобразувател „ток – напрежение“;
- два прецизни резистивни делители, позволяващи въвеждането на корекция на преводната и на ъгловата грешка на токовия трансформатор;
- суматор, свързан паралелно на токовата намотка на електромера, осигуряващ въвеждане на необходимата корекция съгласно фиг. 1.

### 2.2.2. Коригиране на грешките на напрежителния трансформатор

Апаратното коригиране на преводните и ъгловите грешки, внасяни от напрежителния трансформатор, съдържа паралелно свързан към вторичната намотка на напрежителния трансформатор, коректор  $K_{GU}$ , включващ:

- прецизен резистивен преобразувател;
- два прецизни резистивни делители, позволяващи въвеждането на корекция на преводната и на ъгловата грешка на напрежителния трансформатор;
- суматор, свързан последователно на напрежителната намотка на електромера, осигуряващ въвеждане на необходимата корекция съгласно фиг. 1.

На фиг. 2 и 3 са използвани следните означения:

$I_2$  – стойност на вторичния ток на токовия трансформатор преди корекцията;

$\pm \Delta I_1$  – стойност на амплитудната корекция;

$\pm \Delta I_\delta$  – стойност на ъгловата корекция;

$I_\Sigma$  – стойност на вторичния ток след корекцията;

$U_2$  – стойност на вторичното напрежение преди корекцията;

$\pm \Delta U_U$  – стойност на амплитудната корекция;

$\pm \Delta U_\delta$  – стойност на ъгловата корекция;

$U_\Sigma$  – стойност на вторичното напрежение след корекцията.

Възниква въпросът необходимо ли е въвеждането на апаратни корекции едновременно в токовия и в напрежителния кръг? Отговорът на този въпрос е в полза на въвеждането на коректор в токовия кръг, тъй като напрежителният трансформатор работи при относително малки ( $\pm 20\%$ ) вариации на номиналното напрежение, докато токовият трансформатор и електромера – при значителни изменения на тока във вторичната верига.

Предложеният подход е използван успешно от авторите за повишаване на точността на трифазни уредби за изпитване на електромери в лабораториите на Националния метрологичен център (1977 год.), на СК „Кремиковци“ (1992 год.) и на НЕК – клон Пазарджик (1994 год.)

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният доклад позволява да се направят следните изводи:

1. В доклада е направен теоретичен анализ на възможностите за въвеждане на корекции на константата на електромера, отчитащи собствените преводни и ъглови грешки на измервателните трансформатори за ток и напрежение. Вижда се, че за целта могат да използват както апаратни средства, така и изчислителни алгоритми. По мнение на авторите първите са за предпочитане, тъй като осигуряват по-сигурна защита срещу неправомерни действия.

2. Използването на коректори за компенсирание на грешката би довело до значителни икономии както от повишената точност на измерване на количества активна и реактивна енергия, така и от запазване на наличните измервателни трансформатори за ток и напрежение.

### Литература:



- [1] Handbook for Electricity Metering. Edison Electric Institute. 10 th Edition. 2002.
- [2] Коджабашев, И. Н., Ж. А. Даскалов, С. Г. Гунински, К. М. Тодорова, П. З. Костадинов и Г. Наков. Относно общата точност при търговското измерване на количествата електрическа енергия в електропреносните мрежи. XVIII Национален Научен Симпозиум с международно участие „ Метрология и метрологично осигуряване 2008”. Сборник доклади, стр. 226 ÷ 231. Созопол, септември 2008.
- [3] Гунински, С. Г., Ж. А. Даскалов, И. Н. Коджабашев, П. З. Костадинов и С. С. Барболов. Влияние на съединителните проводници, свързващи електромера с измервателните трансформатори, върху точността на измерване на количествата електрическа енергия. XVIII Национален Научен Симпозиум с международно участие „ Метрология и метрологично осигуряване 2008”. Сборник доклади, стр. 232 ÷ 237. Созопол, септември 2008.
- [4] Гунински, С. Г., Ж. А. Даскалов, К. М. Тодорова, И. Н. Коджабашев, Г. И. Наков и П. З. Костадинов. Влияние на схемите на свързване на трифазните електромери върху точността на измерване на електрическа енергия. XIX Национален Научен Симпозиум с международно участие „ Метрология и метрологично осигуряване 2009”. Сборник доклади, стр. 246 ÷ 250. Созопол, септември 2009.
- [5] Гунински, С., Ж. А. Даскалов., И. Н. Коджабашев , П. З. Костадинов и С. С. Барболов. Компенсиране на грешките на средствата за измерване на количества електрическа енергия. XVII Национален Научен Симпозиум с международно участие “Метрология и метрологично осигуряване\*2007”. Сборник доклади, стр. 66 ÷ 71. Созопол, септември 2007.
- [6] Даскалов, Ж. А., С. Г. Гунински, И. Н. Коджабашев , П. З. Костадинов и С. С. Барболов. Апаратни средства за компенсиране на грешките на средствата за измерване на електрическа енергия. XVII Национален Научен Симпозиум с международно участие “Метрология и метрологично осигуряване\*2007”. Сборник доклади, стр. 155 ÷ 157. Созопол, септември 2007.
- [7] Beetz–Schrohe–Forger. Elektrizitatzähler und Messwandler. Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1959.

**Автори:**

доц. д-р Петко Захариев Костадинов, ТУ – София, кат. „Обща Електротехника”, e-mail: [pzk@abv.bg](mailto:pzk@abv.bg)

доц. д-р Живко Асенов Даскалов, ТУ–София, кат. „Обща Електротехника”, e-mail: [jdaskalov@tu-sofia.bg](mailto:jdaskalov@tu-sofia.bg)

доц. д-р Стефчо Георгиев Гунински, ТУ – София, кат. „Обща Електротехника”, e-mail: [sgg@tu-sofia.bg](mailto:sgg@tu-sofia.bg)

гл.ас.Калинка Миткова Тодорова, ТУ–София, кат.„Обща Електротехника”, e-mail: [ktodorova@tu-sofia.bg](mailto:ktodorova@tu-sofia.bg)



## НОВИ ВИСОКОЕФЕКТИВНИ ИЗОЛАЦИОННИ СИСТЕМИ ЗА ВИСОКОВОЛТОВИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ

Димитър Сотиров, Пламен Ризов, Валентин Филипов, Владимир Дойчев, Боян Крачев

**Резюме:** *Качествата на съвременните електрически машини се определят от свойствата и качествата на използваните за изграждането им материали. Редом с активните материали – електротехническа стомана и проводникови материали, материалите от които се изгражда изолационната система имат съществено значение за габаритите и енергийната ефективност на електрическите машини. Особено при високоволтовите машини изолацията заема значителна част от каналите на котвата на машината и определя както разходите на активни материали и габаритите на машината, така и надеждността, срока на експлоатация и енергийните показатели. Развитието на съвременните изолационни системи за електрически машини е по посока на увеличаване на диелектричната якост, съответно намаляване на дебелината на изолацията, повишаване на топлоустойчивостта, намаляване на хигроскопичността и като цяло повишаване на надеждността и срока на експлоатация. Задача на настоящата разработка е: изследване на съществуващите изолационни системи и оценка на качествата им.*

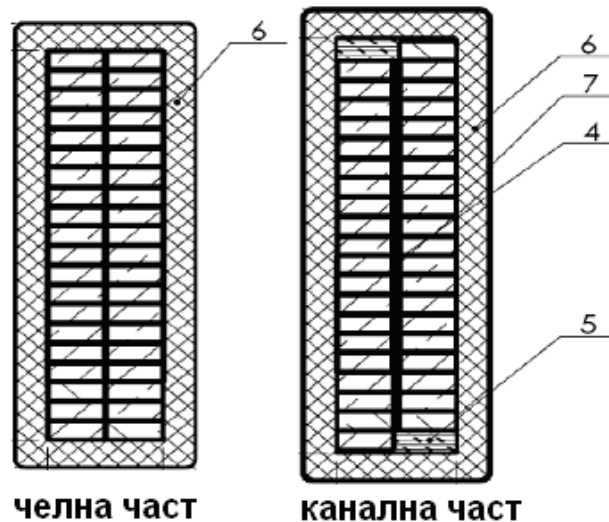
Намотките в съвременните електрически машини с номинално напрежение от 6.3 kV до 20 kV се изработват с терморезистивна монолитна изолация, която включва определено количество слоеве лента и последващо вакуумно сушене и напояване с терморезистивни компаунди на основата на епоксидна смола. По този начин се постига по-висока топлинна устойчивост и по-голяма топлопроводност на терморезистивната изолационна система в сравнение с термопластичната. При производството на електрически машини за високо напрежение се използват два основни вида терморезистивни изолационни системи: на базата на богато импрегнирана с епоксидна смола стъкло-микалента (resin rich или RR изолационна система) и изолационни системи с използване на сухи порьозни стъкло-микаленти, които се навиват непрекъснато върху правите и челните части на секциите, като готовата намотка заедно със статорния пакет се импрегнира с епоксидна смола в автоклав при последователно действие на вакуум и налягане (VPI изолационна система).

**Терморезистивна изолационна система с клас на топлоустойчивост F (RR изолационна система).**

Изгражда се на базата на импрегнирана с епоксидна смола стъкло-микалента. Правата част на секциите е изолирана с богати на смола ленти и е полимеризирана чрез загряване и хидртовакуумно пресоване. За челните части обикновено се използват ленти с по-малко съдържание на смола. Каналната и челната части са съединени по между си във вид на конус. Челните части са гъвкави, което улеснява ремонта на намотките. Върху каналната част се навива проводяща лента, а върху челната част в близост до магнитопровода се навива полупроводяща лента за отстраняване на коронния ефект.

Структурата на каналната и челна част на изолацията е дадена на фиг.1. Изолационната система на каналната част на стержена включва корпусна изолация поз. 6 от пропита със смола стъкломикалента, навита на слоеве с 50% припокриване, като броя на слевите се определя от работното напрежение на намотката, слой от проводяща лента 7, разделителна вложка поз. 4 на транспонираните проводници, пълнител поз.5. Челната част се изпълнява без транспозиция, като главната му изолация поз. 6 е от пропита със смола стъкломикалента, навита на слоеве с 50% припокриване, като броя на слевите се определя от работното напрежение на намотката, слой от полупроводяща лента в зоната на излизане на стержена от канала.

### Стержен изолиран



Фиг.1

**Термореактивна изолационна система с клас на топлоустойчивост F (VPI изолационна система).**

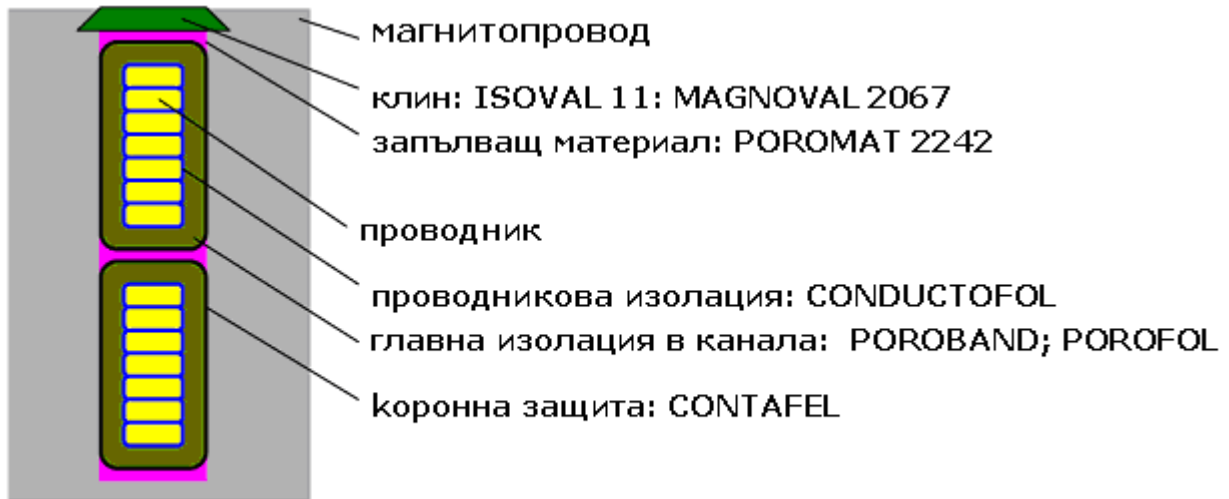
При този тип изолационни системи се използват непропити със смола порьозни стъкло-мика ленти, които се навиват непрекъснато върху правите и челните части на секциите. Готовата намотка заедно със статорния пакет се импрегнира с епоксидна смола в автоклав при последователно действие на вакуум и налягане. Полимеризацията се извършва чрез загряване във въздушна пещ. Получава се монолитна изолация, която не е възможно да се ремонтира.

Структурата на каналната част на изолацията при използване на материали на фирмата ISOVOLTA е показана на фиг. 2, а цялостната структура на изолационната система на фиг. 3.

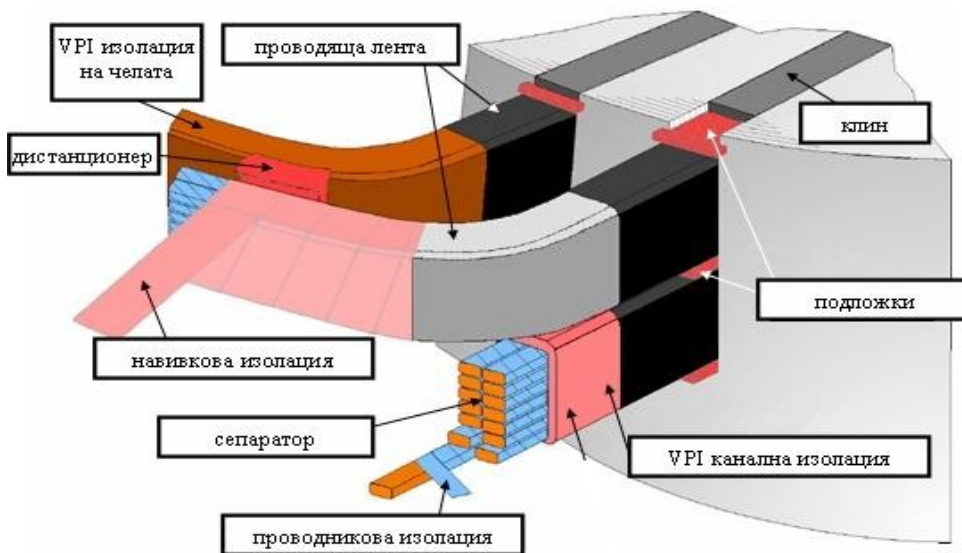
VPI изолационните системи за високоволтови електрически машини са разработени за използване в най-съвременните машини. Те са проектирани така, че да бъдат използвани при продължителен режим при работна температура близо до 155°C, а в режим с кратковременно претоварване до 180 °C за около 100 часа. За тази цел при изработването на VPI изолационни системи за високоволтови електрически машини се използват смоли

клас H (Polyesterimide смоли, Епоксидни смесени смоли на основата на Епоксиден Novolak) производство на много фирми. Ограничаващ фактор при конструиране на изолационната система на електрическите машини, работещи при температури в диапазона 155-180°C е познаването на влиянието на топлинно-механичното натоварване върху изолационните свойства, което най-често се свежда до увреждане хомогенността на изолационната стена.

Намалената топлопроводимост на изолационната система води до образуването на горещи точки и може да скъси чувствително полезния живот на електрическата машина като цяло. От фиг 4 се вижда, че топлинно най-натоварена е изолацията на елементарните проводници 180-170 °C. Топлинният градиент в главната изолация в канала е 30 °C, като диапазона на изменение е 170-140 °C.



фиг. 2. Структура на каналната част на изолацията



Фиг.3 Структура на VPI изолационна система за високоволтови машини



Фиг.4. Температурни падове в елементите на VPI изолационна система

### Хомогенност на изолацията при RR и VPI технологии

Качеството на изолацията в голяма степен зависи от хомогенността на изолационния слой. При поява на въздушни включвания се получава концентрация на напрегнатостта на електрическото поле, като за различни материали на изолацията се получават съществено различаващи се резултати за пълзящ пробив. Това показва голямото значение на вида на материала на изолацията за разпространението на електрическия пробив по пътя на ерозията на изолацията от частичните пробиви. Пример на ерозия на изолацията в следствие на частични разряди е показан на фиг. 5. Както се вижда, пробивът не може лесно да прореже материала на лентата, който е слюда и преминава към следващия слой на мястото на стиковане на лентите. Такива канали на пробива може да възникнат на много места в изолацията.



Фиг.5

При RR технологията опасността от въздушни включвания е значителна. На фиг.6 е показан разрез на изолация изпълнена от висококвалифициран работник чрез навиване ръчно. Вижда се, че поради неравномерното обтягане на лентата се получават значителни въздушни включвания, които водят до концентрация на напрегнатостта на електрическото поле и частични пробиви от вида, показан на фиг. 5. При машинно навиване на изолационната лента опасността от поява на такива включвания е по-малка, но не винаги смолата в лентата е достатъчна и се появяват зони на нехомогенност, фиг.7.

При VPI технологията опасността от въздушни включвания е значително по-малка. На фиг.8 е показан разрез на изолация изпълнена от висококвалифициран работник чрез навиване ръчно. Вижда се, че поради неравномерното обтягане на лентата и в този случай се получават въздушни включвания, но поради същността на технологичния процес те са по-малко на брой и с по-малки размери. При машинно навиване хомогенността на изолацията е значително по-добра - фиг. 9.



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9

**Нови изолационни системи за високоволтови машини, използвани в ЕЛПРОМ ЗЕМ АД.** На базата на съвместна разработка на ЕЛПРОМ ЗЕМ АД и фирмата ISOVOLTA е разработена нова изолационна система с лента POROBAND ME 2072 с дебелина 0,14 mm. Данните за един от разработените варианти са дадени в таблица 1.

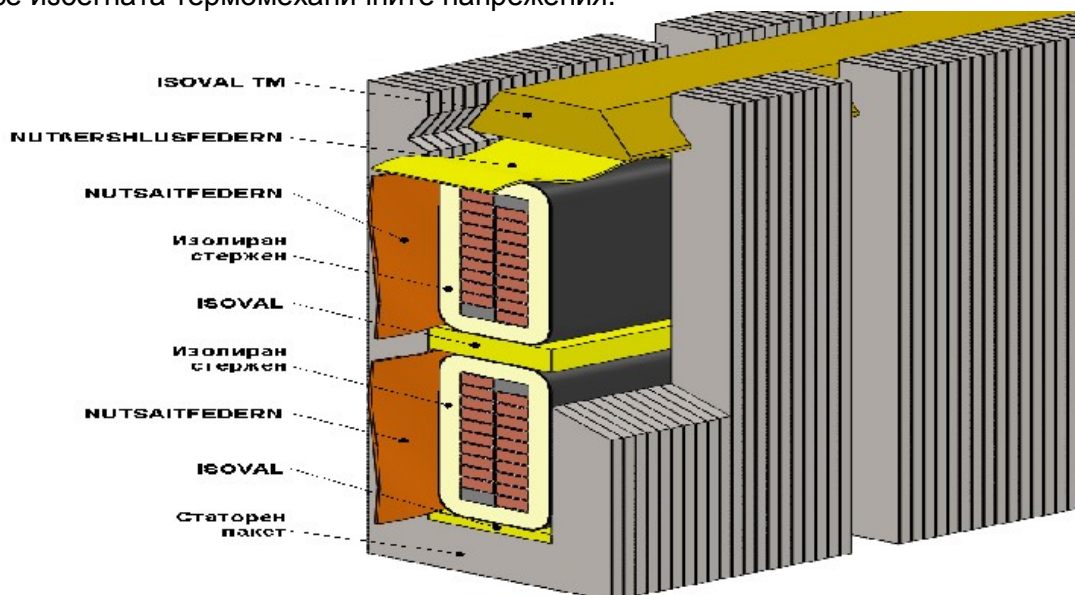




Таблица 1

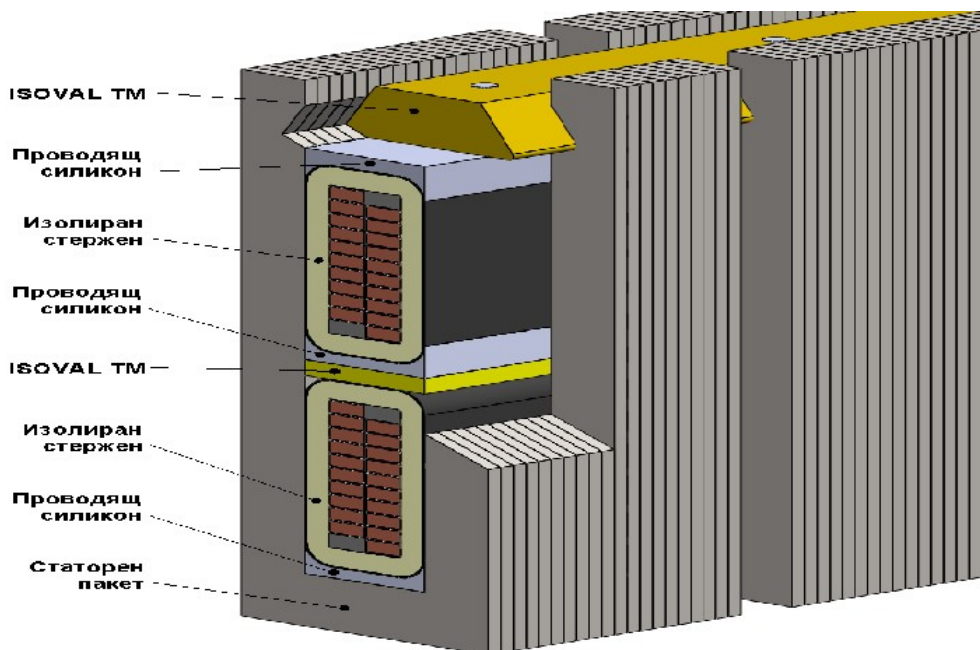
Номинално напрежение	Полагане на лента в права част, брой слоя	Дебелина на изолацията - едностранно	Полагане на лента в челна част, брой слоя
3,3 kV	3x ½	0,76 mm	2x ½
6,6 kV	6x ½	1,51 mm	4x ½
10,5 kV	9x ½	2,27 mm	7x ½
13,8 kV	11x ½	2,77 mm	9x ½

Запълнението на канала на високоволтова електрическа машина с използване на нови материали е показано на следващите фигури. На фиг. 10 е показано изпълнение при което стержените на статорната намотка се укрепват в канала с пружиниращи изолационни подложки *nutferschlussfedern* и *nutsaitfedern*. Това изпълнение е приложимо при изолация тип RR и VPI с импрегнация извън канала. Използването на пружиниращи подложки позволява да се избегнат термомеханичните напрежения.

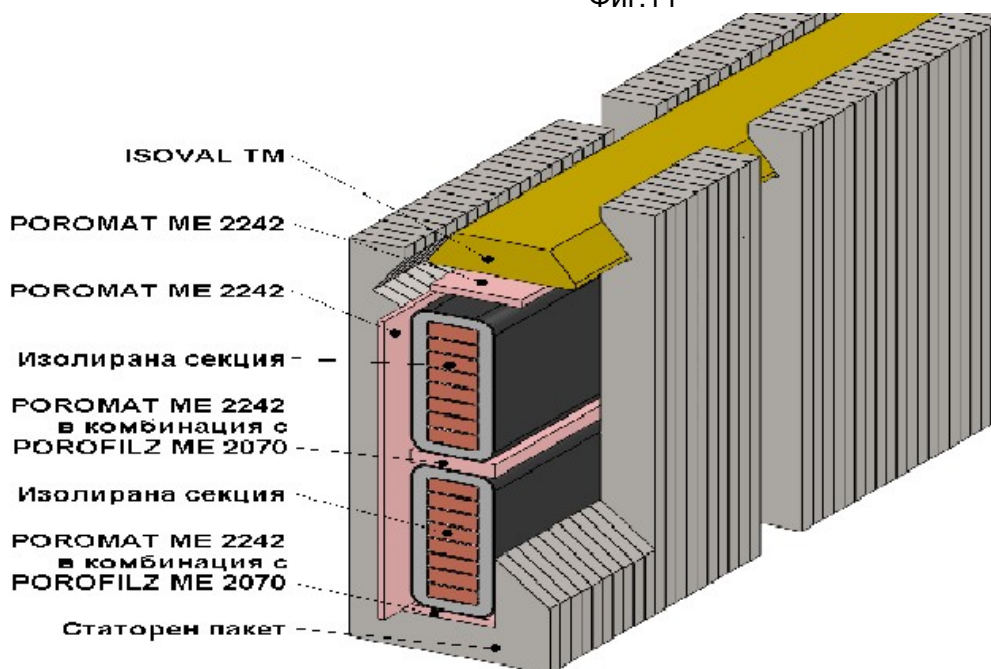


Фиг.10

Подобен е ефекта от използване на проводящ силикон за уплътняване на стержена към канала (фиг.11), при което се получава по-добро уплътняване, намаляване на опасността от поемане на влага и по-малка опасност от получаване на зони с концентрация на напрегнатостта на електрическото поле в изолацията. На фиг 12 е показан вариант на запълнение на канала при VRI изолационна система с импрегниране на намотката заедно със статорния пакет. В случая се използват подложки от порофилц, които при импрегнацията поемат смола и след изпичането имат висока изолационна и механична якост.



Фиг. 11



Фиг. 12

За да се оцени ефекта от използване на изолация тип VPI са направени изчисления за три хидрогенератора при замяна на старата изолация тип RR с нова тип VPI. Хидрогенераторите са изчислени при запазване на всички размери с изключение на дебелината на изолацията и ширината на елементарния проводник. Запазена е и средната стойност на прегряването на статорната намотка над температурата на околния въздух.

#### Електромагнитни изчисления на ХГ1 с номинална мощност 10 MVA

Разглежданата машина е с номинално напрежение 6,3 kV със светлото сечение на канала 18,5x125 mm. Намотката е двуслойна с 4 навивки на секция. Навивката е изпълнена с 8 елементарни проводника в паралел, наредени в канала по два един до друг и четири по



височина. Размерите на елементарния проводник се определят от дебелината на каналната изолация:

За изолационна система тип RR – 5,6x2,8 mm при едностранна дебелина на каналната изолация 2,5 mm;

За изолационна система тип VPI – 6,7x2,8 mm при едностранна дебелина на каналната изолация 1,5 mm.

При изолационна система тип VPI се получава номинална мощност 13 MVA, което е с 30% повече, от колкото при изолационна система тип RR.

#### Електромагнитни изчисления на ХГ2 с номинална мощност 35 MVA

Разглежданата машина е с номинално напрежение 10,5 kV със светло сечение на канала 23x145 mm. Намотката е двуслойна с 1 навивка на секция Навивката е изпълнена с 40 елементарни проводника в паралел, наредени в канала по два един до друг и двадесет по височина. Размерите на елементарния проводник се определят от дебелината на каналната изолация:

За изолационна система тип RR – 6,3x2,36 mm при едностранна дебелина на каналната изолация 3,7 mm;

За изолационна система тип VPI – 7,1x2,5 mm при едностранна дебелина на каналната изолация 2,5 mm.

При изолационна система тип VPI се получава номинална мощност 40 MVA, което е с 14,3% повече, от колкото при изолационна система тип RR.

#### Електромагнитни изчисления на ХГ3 с номинална мощност 17,45 MVA

Разглежданата машина е с номинално напрежение 13,8 kV със светло сечение на канала 22,1x117,7 mm. Намотката е двуслойна с два паралелни клона и 3 навивки на секция Навивката е изпълнена с 4 елементарни проводника в паралел, наредени в канала по четири един над друг по височина. Размерите на елементарния проводник се определят от дебелината на каналната изолация:

За изолационна система тип RR – 11x2,5 mm при едностранна дебелина на каналната изолация 5 mm;

За изолационна система тип VPI – 12,5x2,65 mm при едностранна дебелина на каналната изолация 3,7 mm.

При изолационна система тип VPI се получава номинална мощност 20,5 MVA, което е с 17,5% повече, от колкото при изолационна система тип RR.

Резултатите от изчисленията на ХГ1, 2 и 3 са дадени в Таблица 1.

#### Заклучение

Направените изследвания позволяват да се направят следните изводи:

1. При ремонт на хидрогенератори изпълнени с RR изолационна система с използване на VPI изолационна система може да се постигне увеличение на мощността от 15 до 30%. Когато това не е необходимо може да се постигне значително увеличение на енергийната ефективност на ХГ (намаление на загубите в статорната намотка и увеличаване на к.п.д.).

Таблица 1

Хидрогенератор	ХГ1		ХГ2		ХГ3	
	RR	VPI	RR	VPI	RR	VPI
Изолация, тип	RR	VPI	RR	VPI	RR	VPI
Величина	Сто й-ност	Сто й-ност	Сто й-ност	Сто й-ност	Сто й-ност	Сто й-ност
Номинална мощност, MVA	10	13	35	40	17.45	20.5
Номинално напрежение, V	6300	6300	10500	10500	13800	13800



Номинален ток, А	916.4	119 1.4	1924.5	2199.4	731	859
Чифтове полюси	5	5	5	5	5	5
Вътрешен диаметър на статора, mm	1560	1560	2750	2750	2258	2258
Минимална въздушна междина, mm	10	10	23	23	18	18
Дължина на магнитопровода, mm	870	870	1300	1300	1310	1310
Брой на статорни канали	120	120	138	138	126	126
Сечение на проводника на стат. намотка, mm <sup>2</sup>	121.04	145.68	528	688	109,2	130,32
Токова плътност в статорната намотка, A/mm <sup>2</sup>	3.7786	4.09	3.65	3.2	3.43	3.3
Пълни загуби при номин. товар, kW	404. 08	582. 32	117 1.34	125 3.83	214. 36	246
Прегряване на охл. въздух, °C	10.8 7	11.3 3	13.7 4	13.9	12.4	12.8
Прегряване на намотката, °C	54.1 3	55.4 1	64.6 1	63.1 4	37.9	43.3
Прегряване на стоманата на статора, °C	29.9 7	32.3 2	33.9 2	34.3 9	24.1	25.2

2. При проектиране на ХГ с използване на VPI изолационна система се постига намаление на габаритите и теглото при увеличена надеждност и влагоустойчивост.

3. Разработените в ЕЛПРОМ ЗЕМ изолационни системи съвместно с водещи фирми и специалисти от катедра „Ел. машини“ позволяват произвежданите у нас високоволтови електрически машини да съответстват по качествата на изолационната система на произвежданите от водещите в бранша фирми.

### Литература

1. Ladstätter W., Dr. P. Marek, W. Grubelnik, F. Senn, NEW INSULATION TECHNOLOGY IMPACTS GENERATOR DESIGN, Isovolt Group Development HV Insulation Competence Centre Werndorf 8402 Werndorf, Austria' Power-Gen Conference 2006 / Orlando USA.

2. R. Vogelsang, R. Brutsch, and K. Frohlich, "Time to breakdown of high voltage winding insulations at mechanical vibrations," 14th Int. Symp. High Voltage Engineering, ISH, Beijing, China, Aug. 2005.

3. IEC 60243 -1, Electrical Strength of Insulating Materials - Test methods - Part 1: Tests at Power Frequencies, 2nd Ed. 1998-01

4. R. Vogelsang, R. Brutsch, K. Frohlich, "Effect of electrical tree propagation on breakdown in mica insulations", in Proc. 13th Int. Symp. High-Voltage Eng., ISH, Delft, The Netherlands, pp. \-A, Aug. 2003

**Разработката е финансирана по договор с фонд Научни изследвания на ТУ-София.**



## АНАЛИЗ НА ОБЩИТЕ ИЗИСКВАНИЯ ПРИ ОФОРМЯНЕ НА ТЕХНИЧЕСКА ДОКУМЕНТАЦИЯ

Калинка Тодорова

*От 01.01.2007 г. страната ни стана равноправен член на Европейския съюз. В тази връзка Република България изпълнява поетия ангажимент изцяло да въведе изискванията, принципите и нормите на европейското законодателство в своите национални нормативни документи, което се изразява с процеса на въвеждане на EN – стандартите като български. Документирането на техническите обекти очевидно в най-голяма степен трябва да бъде стандартизирано. Ето защо значението на нормативните документи за инженерната практика е голямо.*

### Увод

Техническата документация представлява набор от конструкторски документи [1] (описания) на технически обект (ТО), с помощта на които той ще бъде произведен и ще влезе в експлоатация. Тя се разработва на етапа на проектиране на техническия обект. В последствие техническата документация трябва да се разчита от множество специалисти. Това налага спазването на нормативните документи, които определят изискванията за оформянето на конструкторските документи от техническата документация на даден обект.

### Изложение

Според начина си на съставяне конструкторските документи биват компютърно представени и ръчно изработени. В зависимост от вида на описанията се делят на графични и текстови. Това разделяне, разбира се, е условно, тъй като обикновено във всеки документ се използват и графични символи и текст. Най-общо графичните документи се делят на чертежи и схеми. Всеки от отделните видове конструкторски документи има своето значение и то трябва да се отчита при разработването им.

Чертежите трябва да са коректни и добре изпълнени – да не позволяват тълкуване на изображението.

Схемите са средство за описание на определени функционални качества и се използват, както при проектирането на процеси, така и при конструирането на електрически, електронни и др. изделия. При изобразяването на схемите основно се използват графични символи на обекта и съставните му части.

Текстовите документи съхраняват необходимата информация за бъдещото изделие – информация за неговата експлоатация, каталози за резервните му части и т.н.

Съгласно действащите нормативни документи има определен минимален обем от конструкторски документи, но към тях трябва да се добавят и всякакви други, които биха улеснили производството и експлоатацията на техническите обекти. Конструкторът е този, който ще определи набора от необходимите документи и ще следи за тяхното коректно изпълнение.

Изискванията към изработването на конструкторските документи [2] могат да се обособят в две групи:

- коректност на представената графична информация – т.е. съответствие между обекта на проектиране и неговите описания;
- прегледност на разработените документи – т.е. възможност изображенията и описанията да бъдат разбрани без да е необходимо допълнително тълкуване.


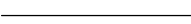

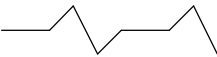
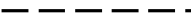
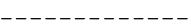
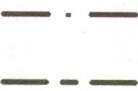


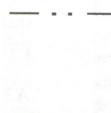
Втората група включва изискванията за оформяне на конструкторските документи. Те са видове линии, мащаби, размери и оформяне на чертожните листове, основни надписи.



Линиите са характерен елемент, чрез който се изпълняват чертежите и схемите. Изискванията към тях са част от БДС ISO 128 [3]. Дебелината на линиите се избира от следния ред дебелини 0.13; 0.18; 0.25; 0.35; 0.5; 0.7; 1.0; 1.4; 2 mm. Използват дебели и тънки линии, като съотношението им не трябва да бъде по-малко от 2:1. В един документ се използва само една дебелина за даден вид линия. Дебелината на линиите се избира в зависимост от това колко са наситени изображенията. В табл. 1 са показани видовете линии и тяхното приложение.

Видове линии

табл. 1

Вид линия	Наименование	Основно приложение
	Дебела непрекъсната линия	Видими контури, видими ръбове
	Тънка непрекъсната линия	Фиктивни ръбове, условни означения на резби, къси оси, шриховки, размерни линии, спомагателни размерни линии, показни линии
	Тънка непрекъсната вълнообразна линия	Граници на частични или непълни изображения, ако тези граници не са оси
	Тънка непрекъсната с повтаряща се чупка линия	
	Дебела прекъсвана линия от тирета	Невидими контури, невидими ръбове
	Тънка прекъсвана линия от тирета	
	Дебела прекъсвана линия от дълго тире и точка или от дълго и късо тире	Означение на линии и повърхнини със специфични изисквания
	Тънка прекъсвана линия от дълго тире и точка или от дълго и късо тире	Проекции на оси на симетрия, проекции на равнини на симетрия
	Тънка прекъсвана линия от дълго тире и точка или от дълго и късо тире, комбинирана в краищата и при смяна на посоката с дебели къси отсечки	Проекции на секущи равнини
	Тънка прекъсвана линия от дълго тире и две точки или от едно дълго тире и две къси тирета	Контури на съседни обекти; контури на подвижни обекти в крайни и междинни положения; контури на елементи, които след допълнителна операция вече не съществуват; контури на елементи, разположени пред секущата



		равнина
--	--	---------

Мащаб е отношението на дължината на елемент от чертежа към дължината на същия елемент от изобразявания обект. Изискванията към мащабите са посочени в БДС EN ISO 5455 [4]. При избора на мащаб трябва да се има предвид следното:

- използват се мащаби за естествена големина (1:1), увеличаващ и намаляващ мащаб;
  - означението на мащаба се записва в основния надпис в съответната графа;
  - когато се използват няколко мащаба, основният се записва в основния надпис, а останалите се записват до изображенията, за които се отнасят;
- Препоръчителните мащаби са показани в табл. 2.

Препоръчителни мащаби

табл. 2

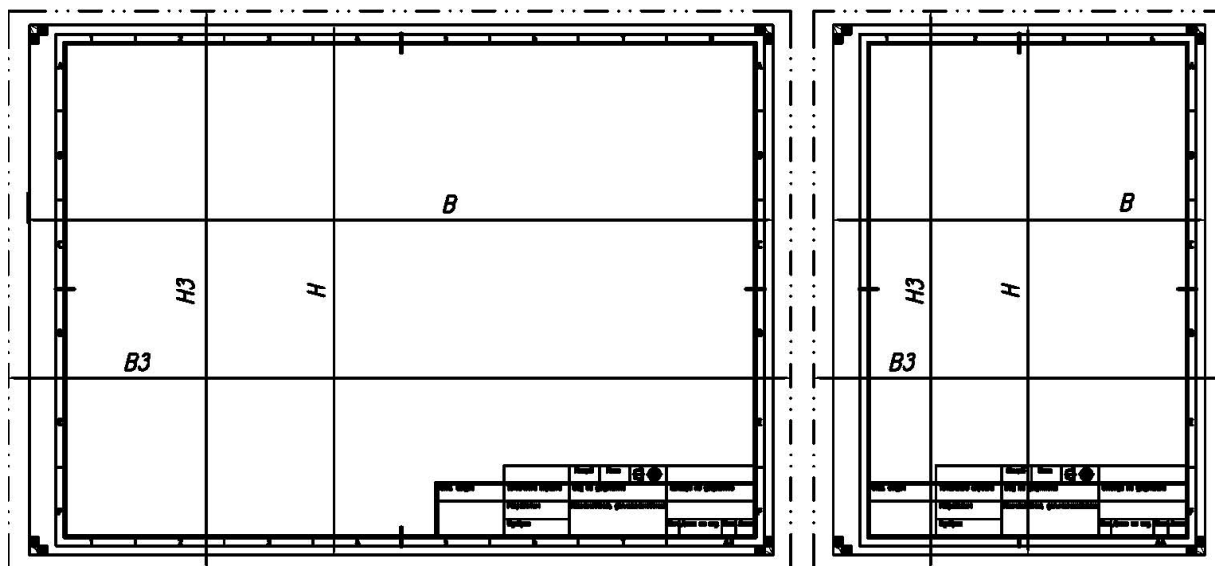
Вид мащаб	Препоръчителни мащаби		
	Увеличаващи мащаби	50:1 5:1	20:1 2:1
Естествена големина	1:1		
Намаляващи мащаби	1:2 1:20 1:200 1:2000	1:5 1:50 1:500 1:5000	1:10 1:100 1:1000 1:10000

Конструкторските документи се изработват върху специални чертожни листове, наречени формати. Изискванията към форматите, са дадени в БДС EN ISO 5457 [5]. Всеки документ трябва да се изработи върху най-малкия формат, който позволява да се постигне необходимата яснота и четивност. Размерите на форматите съгласно [5] са дадени в табл.3 и фиг. 1.

Размери на изрязаните и не изрязаните формати

табл. 3

Означение	Изрязан лист В x Н mm	Не изрязан лист В3 x Н3 mm
A0	1189 x 841	1230 x 880
A1	841 x 594	880 x 625
A2	594 x 420	625 x 450
A3	420 x 297	450 x 330
A4	297 x 210	330 x 240

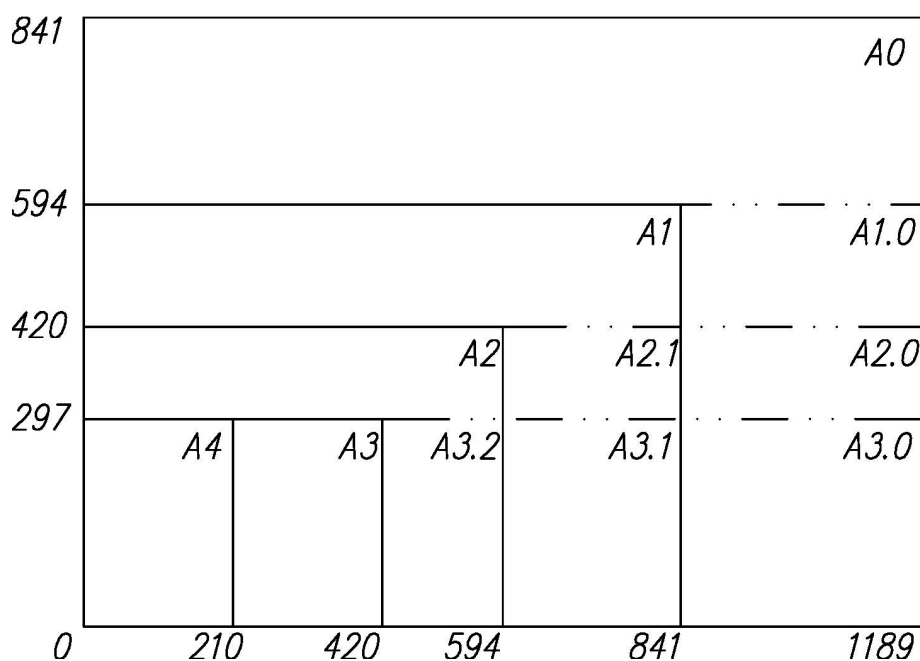


Формат A0 – A3

Формат A4

Фиг. 1. Разположение на форматите

Освен основните формати, дадени в табл. 3, съществуват и т.нар. удължени формати. Те се използват само при необходимост, когато никой от основните формати не е подходящ. Удължените формати се получават чрез комбинация на размерите на късата страна на един основен формат (напр. A3) и на дългата страна на друг по-голям основен формат (напр. A1). В резултат се получава нов формат (напр. A3.1). Получаването на удължените формати е показано на фиг. 2.

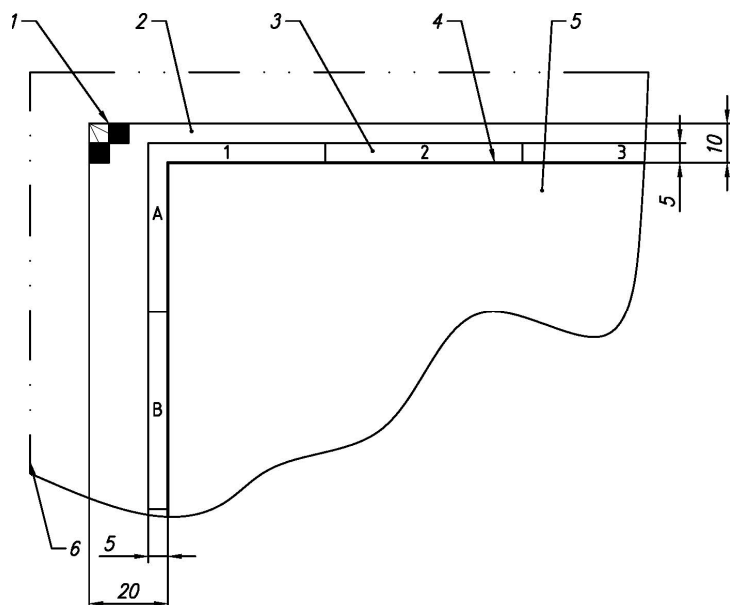


Фиг. 2. Схема на получаване на удължени формати



За формати А0 – А3 се допуска само хоризонтално разположение, а за формат А4 се допуска само вертикално разположение (както е показано на фиг. 1). Означението на формата се дава в долната гранична ивица в десния ъгъл под чертожното поле.

Форматният чертожен лист съдържа следните задължителни елементи: чертожно поле, основен надпис, центриращи знаци, ивица за означаване разделянето на чертожното поле на зони и знаци за изрязване. Основният надпис за формат А0 – А3 се разполага в долния десен ъгъл на чертожното поле, а за формат А4 – се разполага в долната част на чертожното поле. Посоката на разчитане на чертежите съвпада с посоката на четене на основния им надпис. Върху форматите се оставят гранични ивици между рамката за изрязване на листа и рамката на чертожното поле (фиг. 3). Граничната ивица от лявата страна е с ширина 20 mm и може да служи за захващане на формата при съхранението му в папка. Другите гранични ивици са с ширина 10 mm. Рамката на чертожното поле се чертае с непрекъсната линия с дебелина 0.7 mm.



### Означения

1. Знак за изрязване
2. Рамка на изрязания форматен лист
3. Ивица за означаване на зоните
4. Рамка на чертожното поле
5. Чертожно поле
6. Рамка на неизрязания форматен лист

Фиг. 3. Гранични ивици на форматите

Центриращите знаци се нанасят в краищата на двете оси на симетрия на изрязания лист и служат улеснение при разполагане на чертежа за копиране. Препоръчва се те да са отсечки с дължина 10 mm и дебелина 0.7 mm, като започват от ивицата за разполагане на зоните и продължават в чертожното поле (фиг. 4).

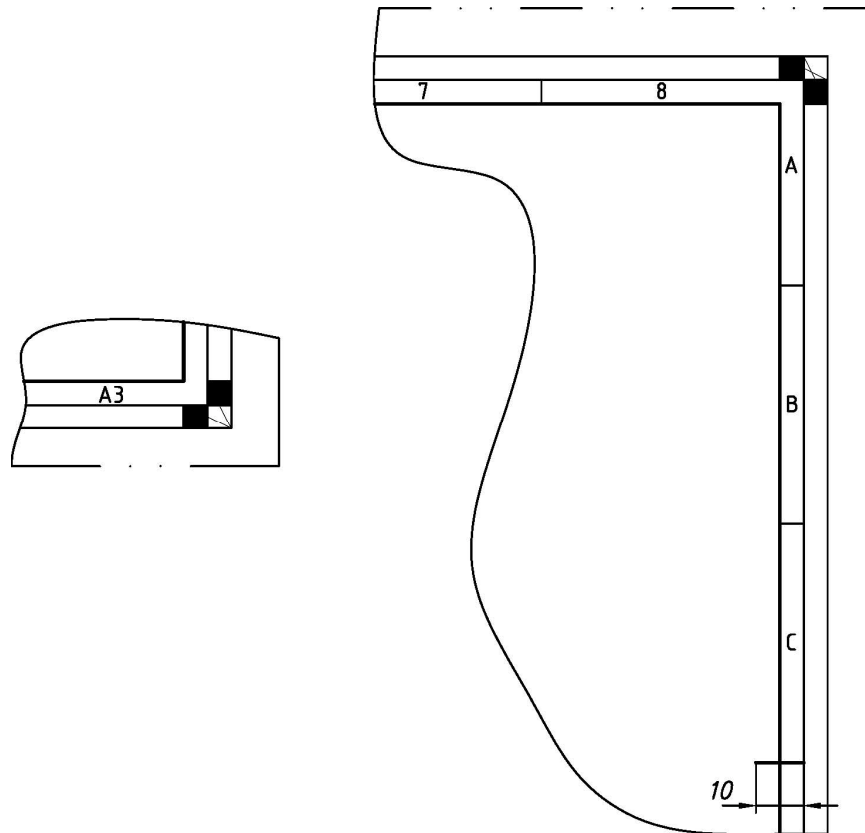
Форматите се разделят на зони за лесно определяне на местоположението на детайли, елементи и др. на чертежа. Зоните са с дължина 50 mm. Препоръчва се отгоре надолу да се означават с главни латински букви (I и O не се използват), отляво на дясно с числа и се разполагат от четирите страни на формата. За формат А4 зоните се разполагат само отгоре и отдясно. Броят на зоните зависи от формата (табл. 4), а разделянето на формата на зони започва от центриращите знаци. Линиите, които разделят формата на зони се изпълняват с непрекъсната линия с дебелина 0.35 mm. Буквите и числата за означаване на зоните се нанасят в средата на ивицата на зоната с шрифт с големина 3.5 mm без наклон.



Брой на зоните в чертожните листове

табл. 4

Означение	A0	A1	A2	A3	A4
Дълга страна	24	16	12	8	6
Къса страна	16	12	8	6	4



Фиг. 4. Зони, центриращи знаци и знаци за изрязване

Знаците за изрязване са за улеснение при изрязване на чертожния лист и имат формата на два припокриващи се правоъгълника с размери 10 mm x 5 mm (фиг. 4).

Основният надпис е важна част от всеки конструкторски документ. БДС EN ISO 7200 [6] определя вида, съдържанието и обема на задължителната информация, която се записва в основния надпис. Тази информация е обособена в три групи:

1. Идентифициращи полета
  - законен притежател на документа;
  - идентификационен номер на документа;
  - код на изменение;
  - дата на издаване;
  - пореден номер на листа към общия брой листа на документа;
  - код на език
2. Полета с описателни данни
  - наименование на обекта;
3. Полета с административни данни
  - отговорен отдел;
  - техническа справка;



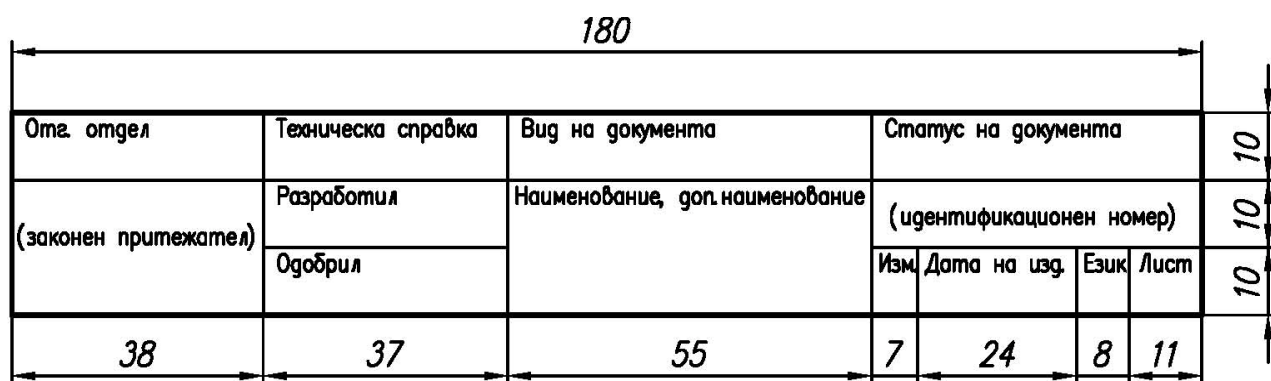
- разработил;
- одобрил;
- вид на документа;
- статус на документа.

Общата дължина на основния надпис е 180 mm. Стандартът не фиксира точно определено разположение на тези полета.

В националното приложение към БДС EN ISO 7200 е даден примерен основен надпис в два варианта: за чертежи (фиг. 5) и за текстови документи и схеми (фиг. 6).



Фиг. 5. Основен надпис за чертежи



Фиг. 6. Основен надпис за текстови документи и схеми

В първият вариант над основния надпис са присъединени допълнителни полета за означаване на допуски с общо предназначение, мащаб на чертежа, маса на обекта в кг, знак за метода на проектиране, наименование и марка на материала. Празното крайно ляво поле е отредено за означаване на преобладаващата грапавост на повърхнините на детайла.

#### Заклучение

В инженерната практика конструкторските документи се използват ежедневно, при това от множество специалисти – ръководители на фирми, извършващите анализ на документацията, разработващите технологична и експлоатационна документация, извършващите експлоатация и ремонт на ТО. Това е причината в доклада да се отдели по-голямо внимание на изискванията за оформяне на конструкторските документи от техническата документация на даден технически обект, които са свързани с чертожните



листовете, върху които се изработват тези документи. С въвеждане на EN – стандартите като български стандарти много от тези изисквания са променени или допълнени. В този смисъл изложеното по-горе ще бъде полезно за всички инженери в тяхната всекидневна работа.

*Литература:*

- [1]. БДС 2.109-80 Документи. Видове и комплектност.
- [2]. Лепаров М.Н., М. Вичева, М. Георгиев, Основи на инженерното проектиране, „Софттрейд“, С. , 2008.
- [3]. БДС EN ISO 128:1995 Технически чертежи. Основни правила за изобразяване.
- [4]. БДС EN ISO 5455 Технически чертежи. Мащаби.
- [5]. БДС EN ISO 5457:1994 Технически чертежи. Размери и оформяне на чертожните листове.
- [6]. БДС EN ISO 7200:2004 Технически чертежи. Основни надписи.



## МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛИРАНЕ НА АСИНХРОНЕН ГЕНЕРАТОР С НАКЪСО СЪЕДИНЕН РОТОР

Владимир Лазаров, Людмил Стоянов, Костадинка Бъндева, Захари Зарков, Димитър Спиров

**Резюме:** В статията е описано реализирането на модел на асинхронна машина с накъсо съединен ротор в средата на Matlab/Simulink. С направения модел са проведени различни групи изчисления с цел да се установи коректната работа на модела в различни режими на работа. Освен това са направени сравнения между експериментално получени резултати и резултати получени чрез модела.

### MODELLING AND SIMULATION OF SQUIRREL CAGE INDUCTION GENERATOR

Vladimir Lazarov, Ludmil Stoyanov, Kostadinka Bundeва, Zahari Zarkov, Dimitar Spirov

**Abstract:** The paper deals with the squirrel cage induction generator model realization in Matlab/Simulink environment. Some simulations are made to justify the model correct work in different operation modes. Moreover there is shown the experimental and simulation results comparison

#### 1. Introduction

The electricity production from renewable energy sources (RES) is a priority for the modern society. Bulgaria, as European Union member and Kyoto protocol signed, is obliged to increase the part of the electricity produced by renewable energy sources to 20% in 2020 [1]. The wind turbines are a reliable investment but their wide spread requires a good knowledge on the transient processes of the grid connected generator behavior. The squirrel cage induction generators are widely used for electricity production in parallel with the network because of its simple and reliable structure and utilization [2], [3]. Therefore, the behavior of these machines in generator mode represents interest for different studies.

In this paper the realization of induction machine mathematical model in the Matlab/Simulink environment is shown. The model behavior in various operation modes is studied.

Some authors [4], [5], [6], [7] use the models in the SimPowerSystems toolbox of Matlab or others software. Those models restrict the user's freedom. Moreover sometimes, there are problems with the simulation speed and the connections between the elements. Thus, the creation of "open" model is necessary. In [8] is presented such model of induction machine in dq frame, turning with the rotor.

#### 2. Mathematical model

In the induction machine model the iron and mechanical losses are neglected and the magnetic system is linear. Moreover there is the assumption for machine operation in parallel with infinite power grid. The induction machine electrical model is composed by four equations obtained with the application of Kirchoff's law in the dq frame [4], [9], [10], [11], [12]. This frame represents the transformed three phase frame. It is transformed using the Park's transformation. Equation (1) presents the equation system when the dq frame turns synchronously. The rotor voltages are zeros because of the squirrel cage.



$$\begin{cases}
 u_d = r_1 \cdot i_d + \frac{d\Psi_d}{dt} - \omega_s \cdot \Psi_q \\
 u_q = r_1 \cdot i_q + \frac{d\Psi_q}{dt} + \omega_s \cdot \Psi_d \\
 0 = r_2 \cdot i_{dr} + \frac{d\Psi_{dr}}{dt} - (\omega_s - \omega_r) \cdot \Psi_{qr} \\
 0 = r_2 \cdot i_{qr} + \frac{d\Psi_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega_r) \cdot \Psi_{dr}
 \end{cases} \quad (1)$$

where  $u_d$  and  $u_q$  are the voltages on the transformed stator winding respectively on the direct and the quadrature axes;  $r_1$  and  $r_2$  are the stator and referenced rotor resistances;  $\Psi_d$ ,  $\Psi_q$ ,  $\Psi_{dr}$  and  $\Psi_{qr}$  are the stator and rotor flux linkages on the d and q axes;  $i_d$ ,  $i_q$ ,  $i_{dr}$  and  $i_{qr}$  are the stator and rotor windings currents;  $\omega_s$  and  $\omega_r$  are the frame and rotor speeds.

This system is completed by another four equation system bonding the flux linkages and the winding currents:

$$\begin{cases}
 \Psi_d = L_s \cdot i_d + L_m \cdot i_{dr} \\
 \Psi_q = L_s \cdot i_q + L_m \cdot i_{qr} \\
 \Psi_{dr} = L_m \cdot i_d + L_r \cdot i_{dr} \\
 \Psi_{qr} = L_m \cdot i_q + L_r \cdot i_{qr}
 \end{cases} \quad (2)$$

where  $L_s$  is the stator inductance;  $L_r$  is the referenced rotor inductance;  $L_m$  is the mutual inductance.

To fulfill the goal – to simulate transient process for random wind speed variation during the parallel operation of the induction machine with the electrical grid, the mathematical model implementation in the Matlab/Simulink environment is necessary. The presence of 2 unknown variables in the right part of the equations in system (1) hobbles the software implementation. So, using (2), the flux linkages are substituted by the currents in the system (1) [8]. Thus, the following system with 4 differential equations with currents as state space variables is obtained:

$$\begin{cases}
 \frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (L_r u_d - r_1 L_r i_d + L_s L_r \omega_s i_q - L_m^2 (\omega_s - \omega_r) i_q + r_2 L_m i_{dr} + L_m L_r \omega_r i_{qr}) \\
 \frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (L_r u_q - L_s L_r \omega_s i_d - L_m^2 (\omega_s - \omega_r) i_d - r_1 L_r i_q - L_m L_r \omega_r i_{dr} + r_2 L_m i_{qr}) \\
 \frac{di_{dr}}{dt} = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (-L_m u_d - r_1 L_m i_d - L_s L_m \omega_r i_q - r_2 L_s i_{dr} + L_m^2 \omega_s i_{qr} + L_s L_r (\omega_s - \omega_r) i_{qr}) \\
 \frac{di_{qr}}{dt} = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (-L_m u_q + L_s L_m \omega_r i_d + r_1 L_m i_q + L_m^2 \omega_s i_{dr} - L_s L_r (\omega_s - \omega_r) i_{dr} - r_2 L_s i_{qr})
 \end{cases} \quad (3)$$

This system is more appropriate for implementation in Matlab/Simulink than Equation (1) and the induction machine model is realized. The model simulation needs the rotor speed knowledge, thus the swing equation is necessary [8]:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{p}{J} (T_m - T_e) \quad (4)$$

where  $J$  is the rotor inertia,  $p$  is the machine pole pairs,  $T_m$  is the input mechanical torque and  $T_e$  is the electromagnetic torque found by [4], [8], [9]:

$$T_e = \frac{3}{2} p L_m (i_{sq} i_{rd} - i_{sd} i_{rq}) \quad (5)$$

The total squirrel cage induction machine model is given by Equation (3), Equation (4) and Equation (5). To estimate the model stability, it is tested in various operation modes. These simulations are presented in the next chapter.

### 3. Simulation results

In the realized model, the machine data from the four-pole induction machine MAT 20 with rated power of 1.5kW is entered. This machine is available in the Renewable energy sources laboratory in the Technical University of Sofia. The presented simulations represent the model behavior, during rotor speed variation, which correspond to different operation modes.

#### 3.1. Mechanical characteristic

In this simulation, the rotor speed changes from 0 to 3000 $\text{min}^{-1}$ . Thus, the machine mechanical characteristic (the machine torque in slip function) can be obtained. The result, presented on Figure 1, corresponds to the machine theory and moreover the results are similar to the experimental data obtained on the laboratory test bench.

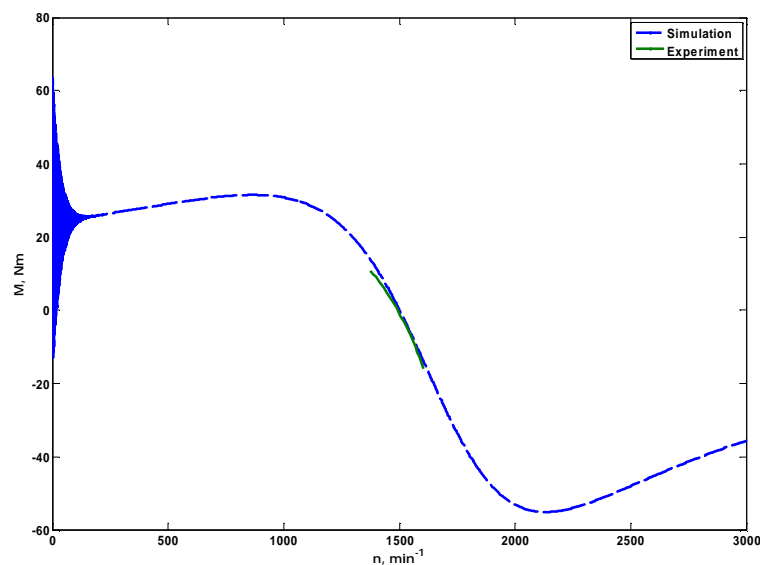


Figure 1. Simulated mechanical characteristic

#### 3.2 Operation mode variation

The operation mode change is observed if the rotor speed varies under and over the machine synchronous speed. The machine is with 2 pole pairs, so the synchronous speed is equal to 1500 $\text{min}^{-1}$ . The speed variation during the simulation is presented on the Figure 2:

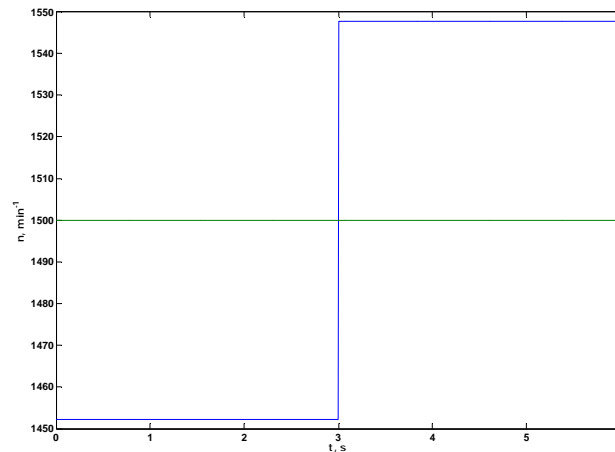


Figure 2. Speed variation during simulation

First the induction machine operates as motor because the rotor speed is lower compared to the synchronous speed. In this case the machine consumes both active and reactive power. When the rotor speed exceeds  $1500\text{min}^{-1}$  the machine operates as generator. The active power change its sign because now the machine inject power to the grid, whereas the reactive power keep its sign because the induction machine needs reactive power no matter of the operation mode. The simulation results show that the model follows the physic phenomenon, which is illustrated on Figure 3:

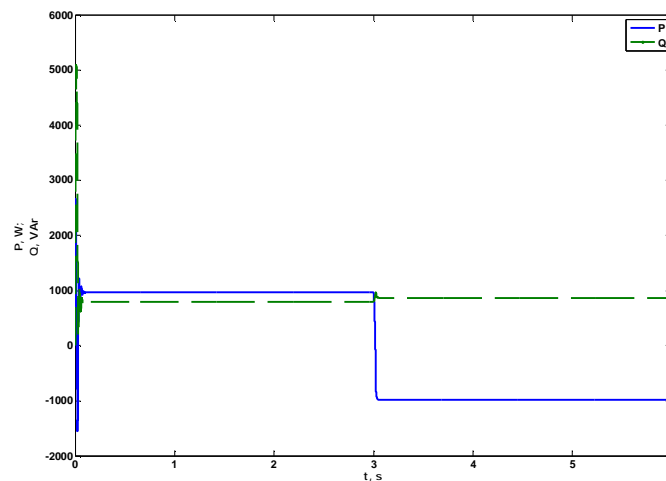


Figure 3. Active and reactive power variation

### 3.3 Sudden input torque variation

In this simulation the input torque changes without sign variation. The model will be used for simulation of grid connected renewable energy sources, so the coming results are in generator operation mode. The torque varies from 3 to  $9\text{Nm}$  (Figure 4). This torque variation reflects on rotor speed augmentation from  $159.8$  to  $165\text{rad}^{-1}$  (Figure 5). The injected active and the consumed reactive power (Figure 6) and the stator currents (Figure 7) also increase respectively from  $456.6\text{W}$ ,  $687.2\text{VAR}$  and  $1.769\text{A}$  to  $1358\text{W}$ ,  $864\text{VAR}$  and  $3.45\text{A}$ . All quantities take their new value after a transient process due to the rotor inertia.



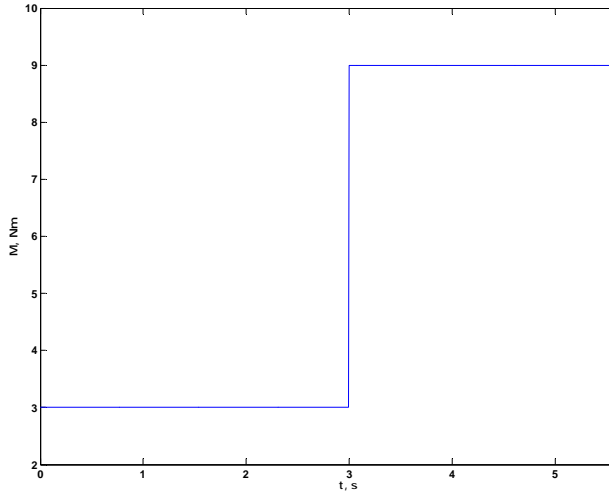


Figure 4. Torque variation

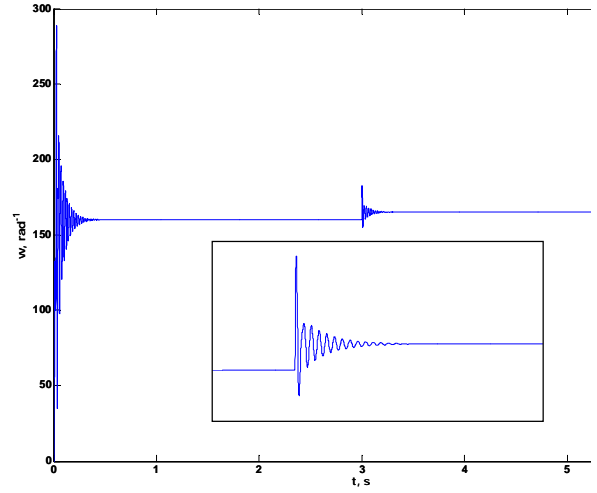


Figure 5. Rotor speed variation, with transient process zoom

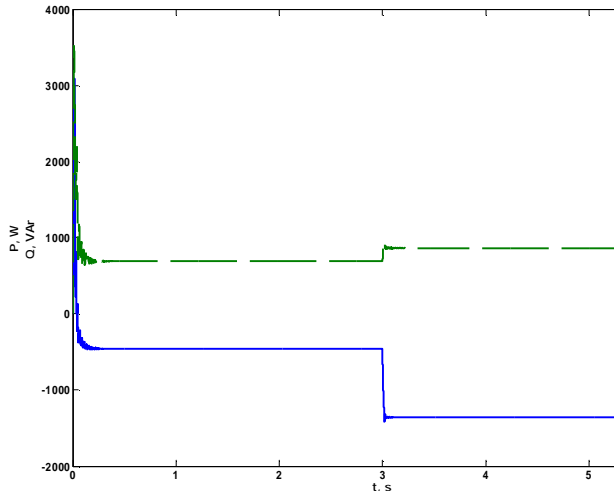


Figure 6. Active and reactive power variation

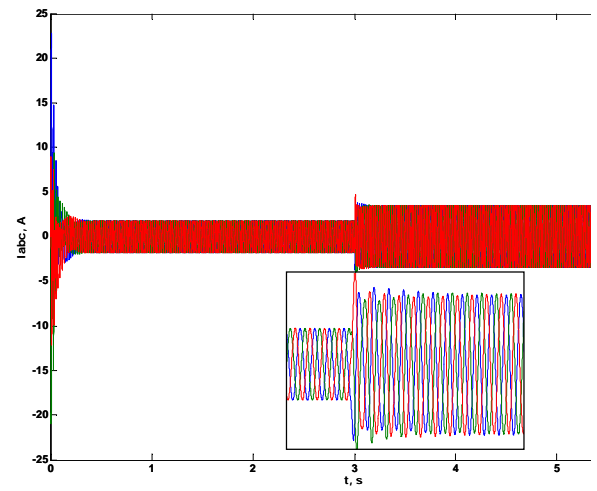


Figure 7. Stator currents

### 3.4 Slowly input torque variation

In this case, the torque changes for about 0.5s (Figure 8). The others quantities follow this variation without the previously observed transient process as it's shown at Figure 9 for the active and reactive power and Figure 10 for the stator currents.

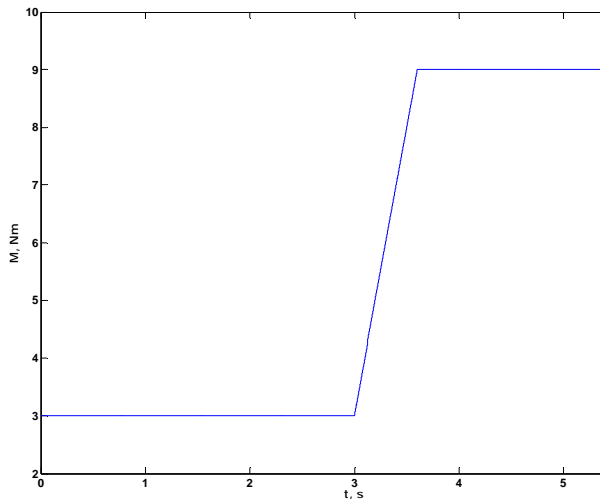


Figure 8. Input torque variation

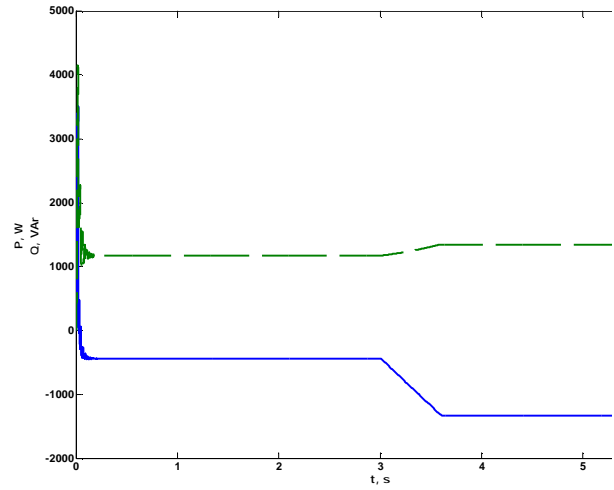


Figure 9. Active and reactive power variation

### 3.5 Wind input simulation

Because of the stochastic wind character and the further model application it is interesting to simulate an input mechanical power behavior similar to the wind power changes. On the Figure 11 it is shown the input wind power and the output electrical power. The output stator power follows the input power changes. The difference between them is explained with the electrical losses in the stator and rotor windings.

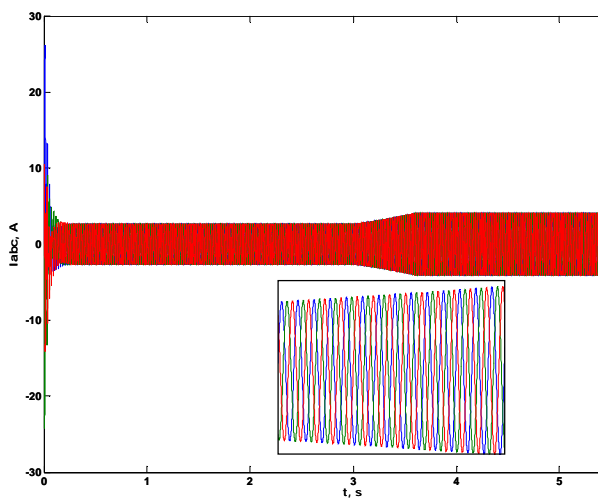


Figure 10. Stator currents variation

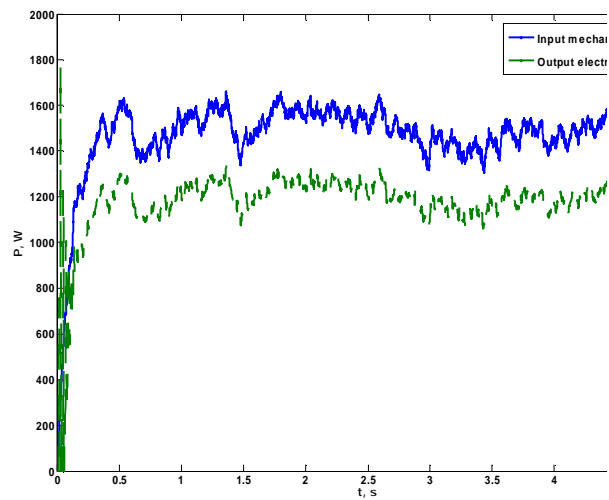


Figure 11. Wind behavior for the mechanical and electrical power

### 3.6 The slip variation

This chapter presents the slip variation in two different cases. The first one is in the case of sudden input torque variation (Figure 4). This result is presented on Figure 12. The second one is presented on Figure 13 and here the input mechanical power variation is similar to the wind power variation (Figure 11).

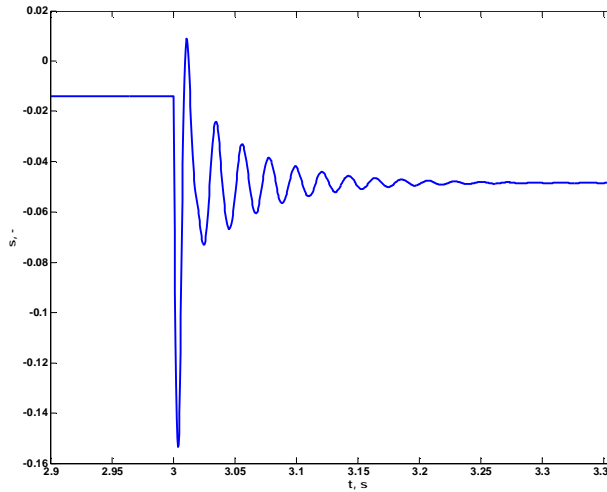


Figure 12. Slip variation at sudden input torque variation

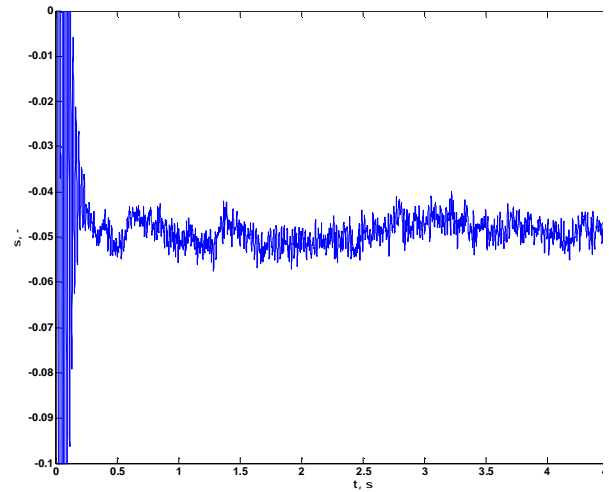


Figure 13. Slip variation at wind behavior of the input mechanical power

#### 4. Results comparison

To verify the model behavior, the simulation results are compared with experimental results obtained at two test benches. The first one is the six-pole induction machine MT 12-6 with rated power of 3.5kW. Figure 14 presents the simulated and the experimental power values for different rotor speeds. The difference between them is explained with the mechanical losses. Figure 15 show the stator currents comparison.

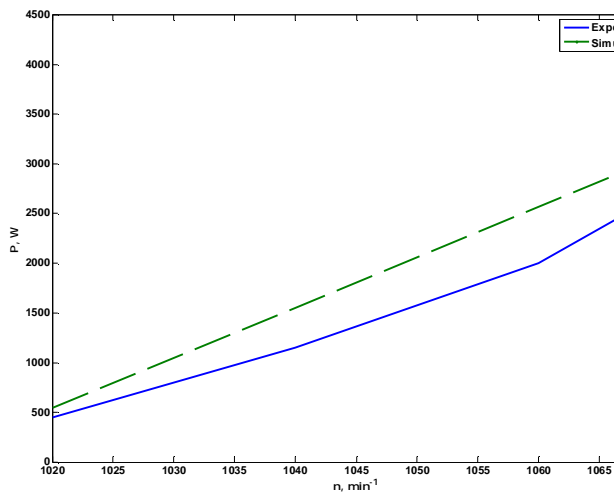


Figure 14. Power values comparison for MT 12-6

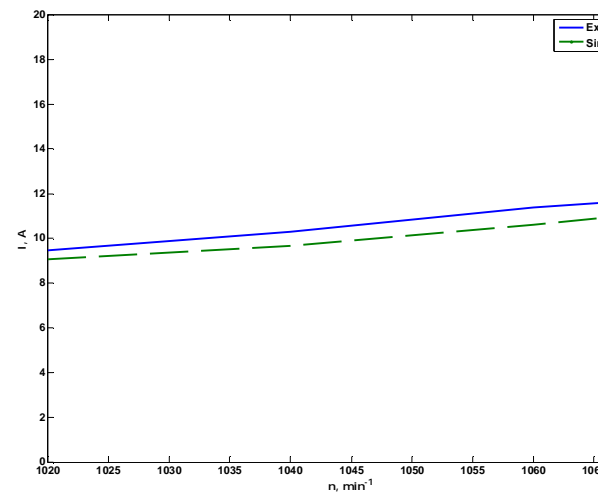


Figure 15. Current values comparison for MT 12-6

The second test bench contains induction machine MAT 20 with nominal power 1.5kW. Figure 16 presents power values variation for different rotor speeds whereas Figure 17 shows the stator current variation. One more time it can be seen that the model overestimate the experimental data because of the mechanical losses neglecting.

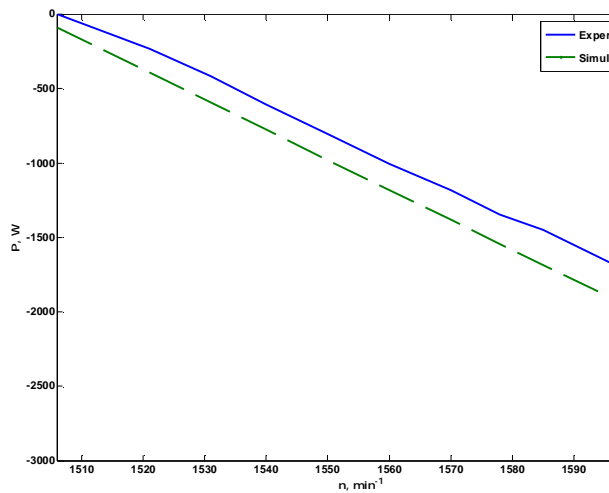


Figure 16. Power values comparison for MAT 20

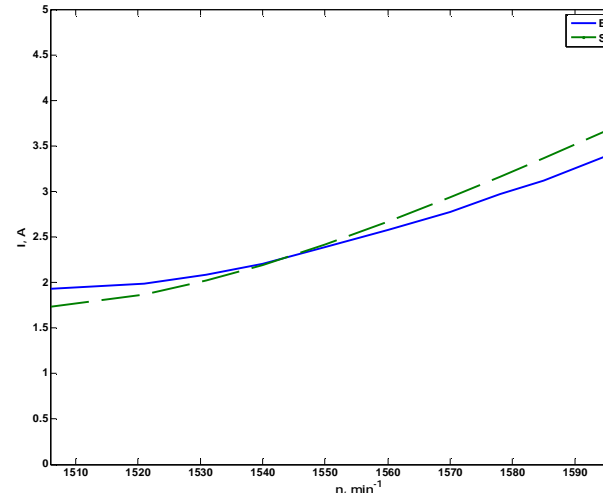


Figure 17. Current values comparison for MAT 20

## 5. Conclusions

In the presented paper it is shown the squirrel cage induction machine model realization in the Matlab/Simulink environment. This model is created for simulation of induction generator driven by RES turbine connected in parallel with the electrical grid.

This model is tested with simulations in different operation modes. The model behavior corresponds to the machine physic. Moreover the simulation results are compared with experimental data obtained at two test benches. The comparison shows satisfying model behavior, which allows its application in further studies of the transient processes during random primary energy source variation.

## Acknowledgements

The authors would like to thank the Bulgarian National Research Fund (contract EE 106/07) and to the Technical University of Sofia (Research sector (NIS), contract 091ni094-01) for the financial support.

## References

- [1] Gíslason, Ó. "Energy policies and climate change. Is Europe taking the lead?", EFTA Seminar on the EEA – Spring 2008.
- [2] Pierik, J. and J. Morren. "Validation of dynamic models of wind farms", IEA rapport, 2007.
- [3] Baroudi, J, V. Dinavahi and A. Knight. "A review of power converter topologies for wind generators", Renewable Energy, vol. 32, pp. 2369–2385, 2007.
- [4] Bojilov, G. „Transient processes and generalized theory of electrical machines”, Technical University-Sofia, Sofia 2007.
- [5] Soe, N., T. Han Yee and S. Aung. "Dynamic Modeling and Simulation of Threephase Small Power Induction Motor", World Academy of Science, Engineering and Technology 42, 2008.
- [6] Ayasun, S. and C. Nwankpa. "Induction Motor Tests Using MATLAB/Simulink and Their Integration Into Undergraduate", IEEE Transactions on education, vol. 48, No. 1, pp. 37-46, February 2005.
- [7] Iov, F., A. Hansen, C. Jauch, P. Sørensen and F. Blaabjerg. "Advanced Tools for Modeling, Design and Optimization of Wind Turbine Systems", Nordic wind power conference, 1-2 march, 2004, Chalmers University of Technology.



[8] Iov, F., A. Hansen, P. Sørensen and F. Blaabjerg. "Wind Turbine Blockset in Matlab/Simulink. General Overview and Description of the Models", Aalborg University, March 2004.

[9] Dinov, V. „Unsymmetrical regimes and transient processes in the electrical machines, TECHNIKA, Sofia 1974.

[10] Panda, S. and N.P. Padhy. "Investigating the Impact of Wind Speed on Active and Reactive Power Penetration to the Distribution Network", International Journal of Electrical Systems Science and Engineering, vol. 1, No 1.

[11] Garcia-Gracia, M., M. Comech, J. Sallán and A. Llombart. "Modelling wind farms for grid disturbance studies", Renewable Energy, vol. 33, pp. 2109–2121, 2008

[12] "Dynamic Model of Induction Machine", available at: [http://encon.fke.utm.my/courses/mep1422/INDUCTION%20MOTOR\\_dyn\\_2.ppt](http://encon.fke.utm.my/courses/mep1422/INDUCTION%20MOTOR_dyn_2.ppt)

#### Authors:

Vladimir Lazarov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia and is responsible for the "Laboratory on Renewable Energy Sources".

Ludmil Stoyanov is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia and master of research of the Grenoble National Institute of Technology. Actually he is PhD student in the Technical University of Sofia.

Kostadinka Bundeва is master-assistant in the Technical College of the University "Prof. Asen Zlatarov" Burgas.

Zahari Zarkov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia

Dimitar Spirov is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia. Actually he is PhD student in the Technical University of Sofia.



## МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛИРАНЕ НА АСИНХРОНЕН ГЕНЕРАТОР С НАВИТ РОТОР

Владимир Лазаров, Людмил Стоянов, Костадинка Бъндева, Захари Зарков, Димитър Спиров

**Резюме:** Поради големия интерес към асинхронните машини с навит ротор и тяхното приложение във възобновяемите източници на енергия, в тази статия е представен модел на такава машина в средата на Matlab/Simulink. Целта е да се създаде точен модел с помощта, на който в бъдеще да бъдат реализирани симулации на работата на двойно захранен асинхронен генератор в паралел с електрическата мрежа. Ето защо, тук са показани симулациите и сравненията с опитни резултати показващи коректната работа на модела.

### MODELLING AND SIMULATION OF WOUND ROTOR INDUCTION GENERATOR

Vladimir Lazarov, Ludmil Stoyanov, Kostadinka Bundeва, Zahari Zarkov, Dimitar Spirov

**Abstract:** Due to great interest in wound rotor induction machines utilization and their application in the renewable energy sources, this article presents a model of such machine in the Matlab/Simulink environment. The goal is to create an accurate model with the aid of which further performance simulations of double fed induction generator in parallel with the grid can be realized. Therefore, here are shown simulations and comparisons with experimental results, showing the correct model operation.

#### 1. Introduction

The induction machine is widespread because of its great advantage – the generation with various rotor speeds. This solution is used in the wind generation [1], [2], [3]. The speed variation margin can be increased with the utilization of wound rotor induction machine. Moreover the grid connected power converters insertion in the rotor side, so called doubly fed induction generator (DFIG) (Figure 1), allows the generation in both speed cases – under and above the synchronous speed [4]. The goal is to create an accurate wound rotor induction machine model for simulation of grid connected renewable energy sources (RES). This goal fulfillment allows the power converters models integration and the simulation the whole DFIG system with random primary potential variation in parallel with the power network.

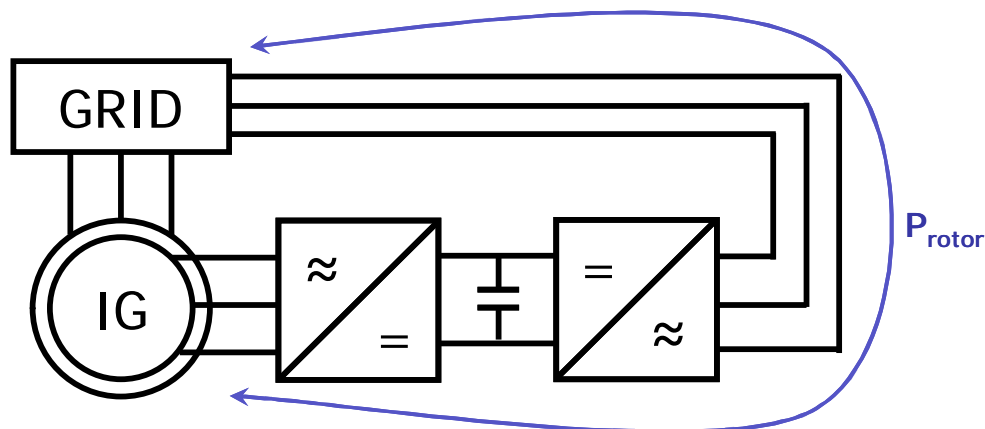


Figure 1. Doubly fed induction machine schema

This paper presents the wound rotor induction machine mathematical model. In first approach, the available rotor power for injection in the grid is estimated by the resistances insertion in the rotor side (Figure 2), because the Joule losses in those resistances are equals to this available power.

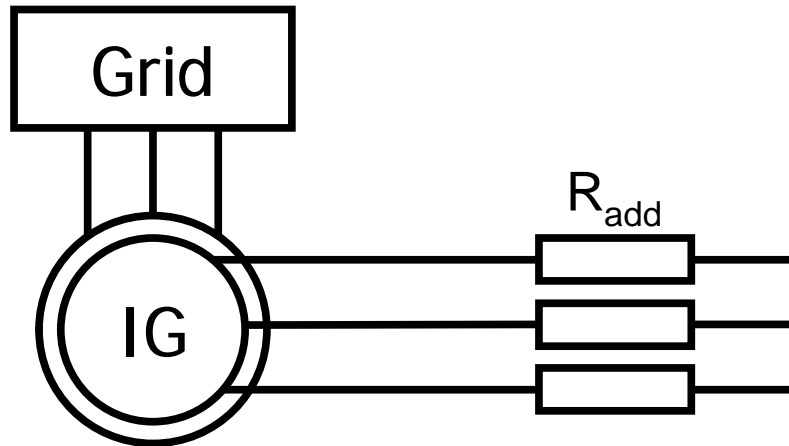


Figure 2. Wound rotor induction machine with supplementary resistances

## 2. Mathematical model

The model is created with the assumption of zero iron and mechanical losses, linear magnetic system and connection with infinite power electrical grid. The electrical processes in the wound rotor induction machine can be modeled with four equations [5], [6], [7], [8]. They are obtained by the Kirchoff's law, applied to the stator and to the rotor two phase windings. Those windings represent the real three phase stator and rotor windings transformed by the Park's transformation. In this study the dq frame turns with the synchronous speed. The equation system is presented in equations (1). Because of the rotor terminals, in the system there are rotor voltages on the direct and the quadrature axes ( $u_{dr}$ ,  $u_{qr}$ ) in the third and the fourth equation.

$$\begin{cases}
 u_d = r_1 \cdot i_d + \frac{d\Psi_d}{dt} - \omega_s \cdot \Psi_q \\
 u_q = r_1 \cdot i_q + \frac{d\Psi_q}{dt} + \omega_s \cdot \Psi_d \\
 u_{dr} = r_2 \cdot i_{dr} + \frac{d\Psi_{dr}}{dt} - (\omega_s - \omega_r) \cdot \Psi_{qr} \\
 u_{qr} = r_2 \cdot i_{qr} + \frac{d\Psi_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega_r) \cdot \Psi_{dr}
 \end{cases} \quad (1)$$

where  $u_d$  and  $u_q$  are the voltages on the transformed stator winding respectively on the direct and the quadrature axes;  $r_1$  and  $r_2$  are the stator and referenced rotor resistances;  $\Psi_d$ ,  $\Psi_q$ ,  $\Psi_{dr}$  and  $\Psi_{qr}$  are the stator and rotor flux linkages on the d and q axes;  $i_d$ ,  $i_q$ ,  $i_{dr}$  and  $i_{qr}$  are the stator and rotor windings currents;  $\omega_s$  and  $\omega_r$  are the frame and rotor speeds.

The equation (1) is completed by the system bonding the flux linkages and the winding currents. The four equations in this system are presented in (2).



$$\begin{cases} \Psi_d = L_s \cdot i_d + L_m \cdot i_{dr} \\ \Psi_q = L_s \cdot i_q + L_m \cdot i_{qr} \\ \Psi_{dr} = L_m \cdot i_d + L_r \cdot i_{dr} \\ \Psi_{qr} = L_m \cdot i_q + L_r \cdot i_{qr} \end{cases} \quad (2)$$

where  $L_s$  is the stator inductance;  $L_r$  is the referenced rotor inductance;  $L_m$  is the mutual inductance.

The model implementation in the Matlab/Simulink environment needs system composed by differential equations with only one state space variable and the model in equation (1) is not suitable [9]. In the model there are two possibilities for state space variable – the currents and the flux linkages [9], [10]. In this paper, the stator and rotor currents are chosen for state space variables, so the flux linkages in the equation (1) are substituted using equations (2). In this way is obtained system composed by 4 differential equations, presented in equations (3).

As it is said in the introduction, supplementary resistances are introduced on the rotor terminals, so we need to take them into account in the model and their value ( $r_{add}$ ) is added to the rotor winding resistance value ( $r_2$ ).

$$\begin{cases} \frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (L_r u_d - L_m u_{rd} - r_1 L_r i_d + L_s L_r w_s i_q - L_m^2 (w_s - w_r) i_q + (r_2 + r_{add}) L_m i_{dr} + L_m L_r w_r) \\ \frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (L_r u_q - L_m u_{rq} - L_s L_r w_s i_d - L_m^2 (w_s - w_r) i_d - r_1 L_r i_q - L_m L_r w_r i_{dr} + (r_2 + r_{add}) L_m) \\ \frac{di_{dr}}{dt} = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (-L_m u_d + L_s u_{rd} - r_1 L_m i_d - L_s L_m w_r i_q - (r_2 + r_{add}) L_s i_{dr} + L_m^2 w_s i_{qr} + L_s L_r (w_s - w_r) i_{dr}) \\ \frac{di_{qr}}{dt} = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (-L_m u_q + L_s u_{rq} + L_s L_m w_r i_d + r_1 L_m i_q + L_m^2 w_g i_{dr} - L_s L_r (w_s - w_r) i_{dr} - (r_2 + r_{add}) L_m i_{qr}) \end{cases} \quad (3)$$

The rotor speed knowledge is necessary for the model simulation, thus the swing equation is calculated [9]:

$$\frac{dw_r}{dt} = \frac{p}{J} (T_m - T_e) \quad (4)$$

where  $J$  is the rotor inertia,  $p$  is the machine pole pairs,  $T_m$  is the input mechanical torque and  $T_e$  is the electromagnetic torque found by [5], [6], [9]:

$$T_e = \frac{3}{2} p L_m (i_{sq} i_{rd} - i_{sd} i_{rq}) \quad (5)$$

Finally, the induction machine model contains Equations (3), Equation (4) and Equation (5). It is implemented in Matlab/Simulink and in the following the realized simulations are presented.

### 3. Simulation results





The parameters of the four-pole induction machine MAT 20 with 1.5kW rated power, available in the Renewable Energy Sources Laboratory in the Technical University of Sofia, are implemented in the machine model in Matlab/Simulink environment to simulate the machine behavior.

First it is presented the simulation with sudden input torque variation (Figure 3). Initially the torque takes the value of 2Nm. In time equal to 3s the input torque changes to its new value – 8Nm. The Figure 4 presents the resulting variation of the input mechanical power (the top curve), the output stator power (in the middle) and the losses in the supplementary resistances (lowest curves). Figure 5 is a zoom at the transition time to see the transient process. This fading oscillation is due to the rotor inertia. The difference between the mechanical and the stator electrical power is due to the power losses in the additional resistances. Moreover there are losses in the stator and rotor resistances which cannot be neglected because of the windings resistance values. The losses in the resistances, added in the rotor, can be used to estimate the power that can be injected in the electrical grid through power converters.

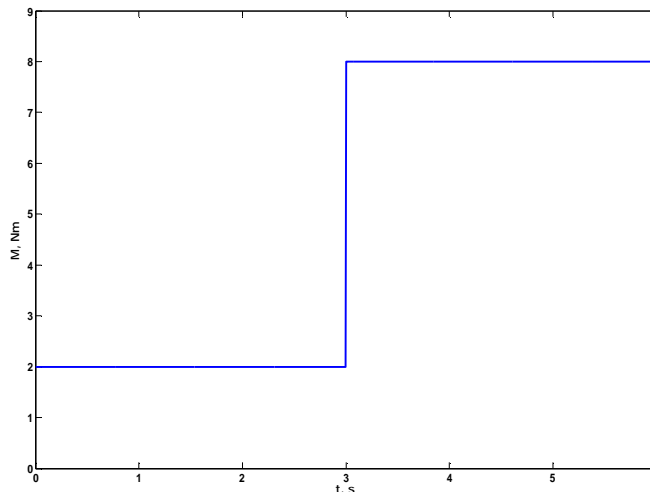


Figure 3. Input torque variation

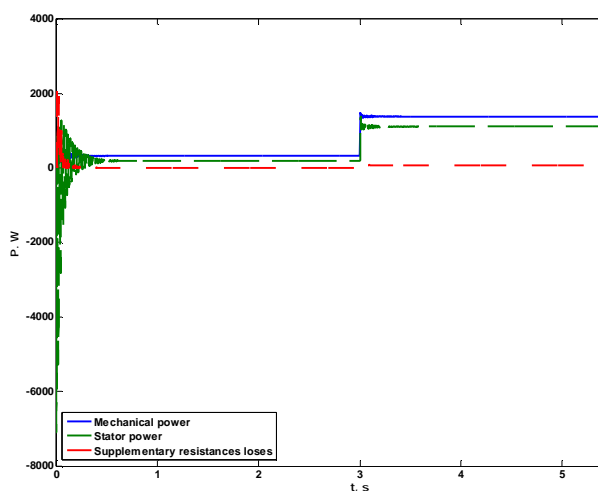


Figure 4. Input mechanical, output stator electrical power and resistances losses

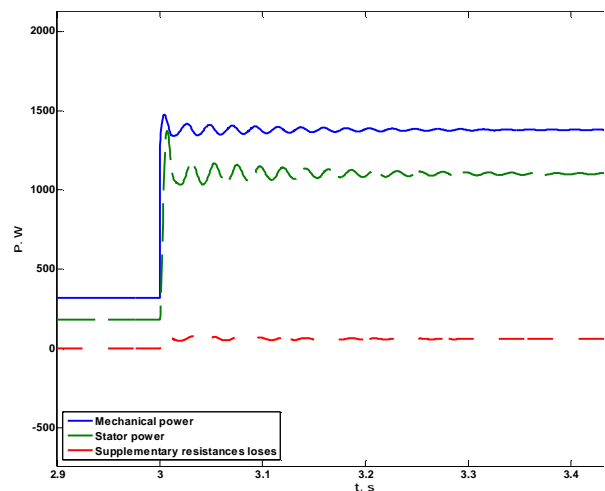


Figure 5. Zoom at the transition time

The further model utilization in simulations of doubly fed induction generators driven by a wind turbine in parallel with the grid implies the model test with an input mechanical power behavior similar to the wind power changes. This input simulates the stochastic wind variation and



the model stability and reliability estimation is possible. Figure 6 represents the input mechanical power variation (the top curve), the stator electrical power (the curve in the middle) and the available power in the rotor resistances (lowest curve). The power, injected through the stator, follows very close the input power variation. The Joule losses in the additional resistances remain relatively constant. This phenomenon is favorable for the power converters operation.

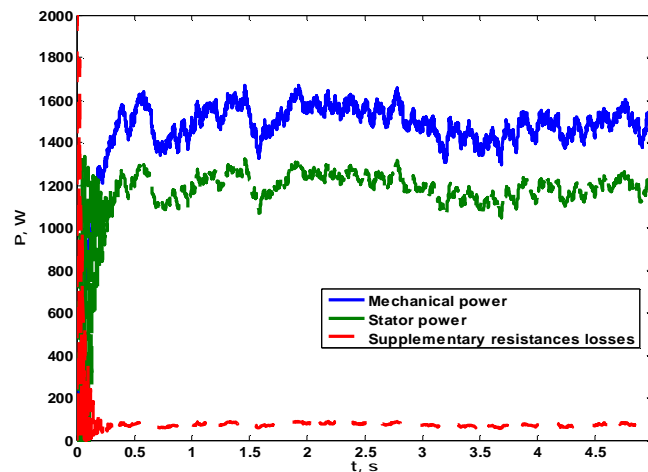


Figure 6. Mechanical power, stator power and rotor losses at wind input simulation

It is interesting to see the slip variation during transient processes. Here two different cases are shown. The first one represents sudden input torque variation as shown on Figure 3. This result is presented on Figure 7. The second one is presented on Figure 8 and simulates the input mechanical power variation is similar to the wind power variation (Figure 6). The transient process duration increase with the additional resistances presence.

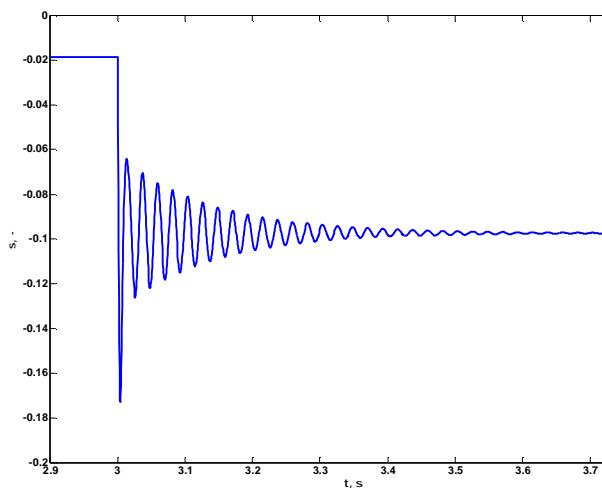


Figure 7. Slip variation at sudden input torque variation

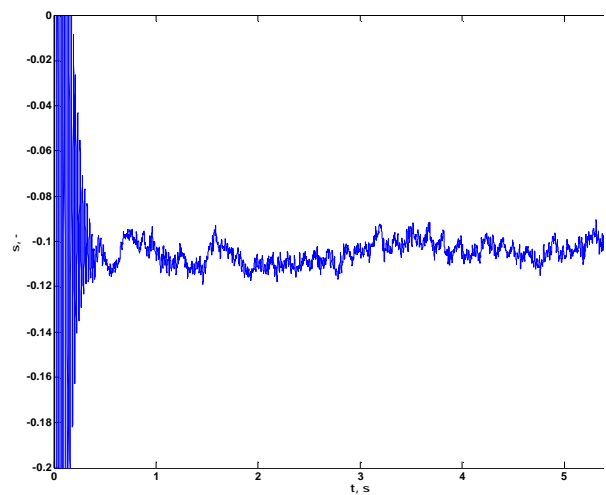


Figure 8. Slip variation at wind behavior of the input mechanical power

#### 4. Results comparison

The model accuracy must be verified with comparison of model and test bench results. In the following is presented the result comparison between the simulations with the model and the results obtained at two test benches. The first one is with six-pole induction machine MT 12-6 and



15.7Ω supplementary rotor resistance. The simulated stator power and the experimentally obtained electrical power for different rotor speeds are presented on Figure 9. The comparison of the power losses in the supplementary resistances is presented on Figure 10. The interest in the DFIG use can be seen – first the available rotor power, that can be injected to the grid, reach about 20% of the machine rated power and second the rotor speed margin increases with 30% of the synchronous rotor speed, so the machine generates in larger rotor speed variation.

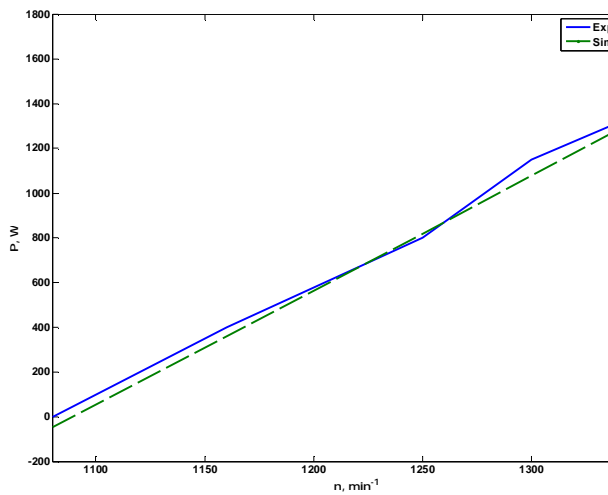


Figure 9. Power values comparison for MT 12-6

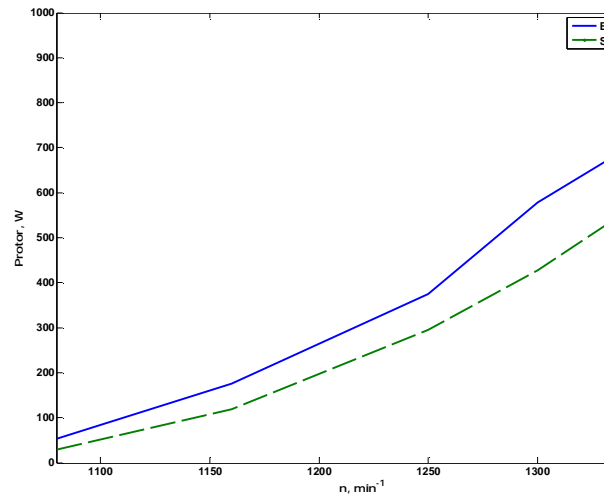


Figure 10. Power losses comparison for MT 12-6

Figure 11 shows the comparison of the effective stator current values and on Figure 12 we can see the torque comparison.

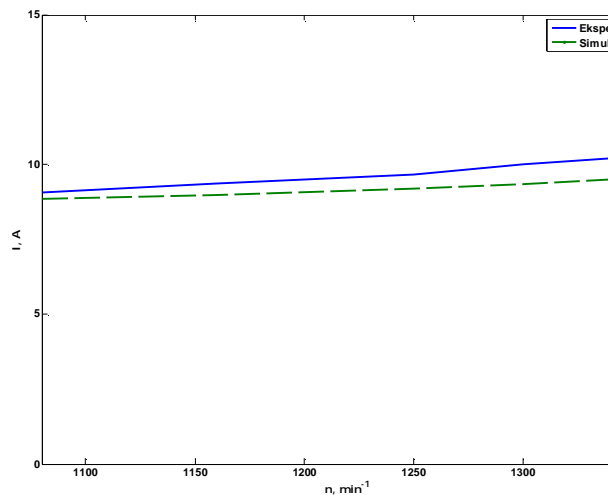


Figure 11. Stator currents comparison for MT 12-6

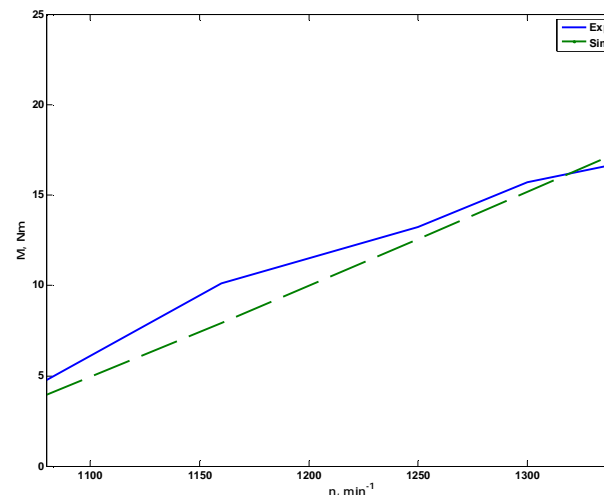


Figure 12. Torques comparison for MT 12-6

The second test bench contains the four-pole induction machine MAT 20 with additional rotor resistance of 0.24Ω. Figure 13 presents the stators power comparison and Figure 14 – the rotor powers one. Here the rotor losses are 10% from the nominal power because of the small resistance value. However this power can be injected in the grid through power converters winning supplementary incomes and bigger rotor speed variation margin.

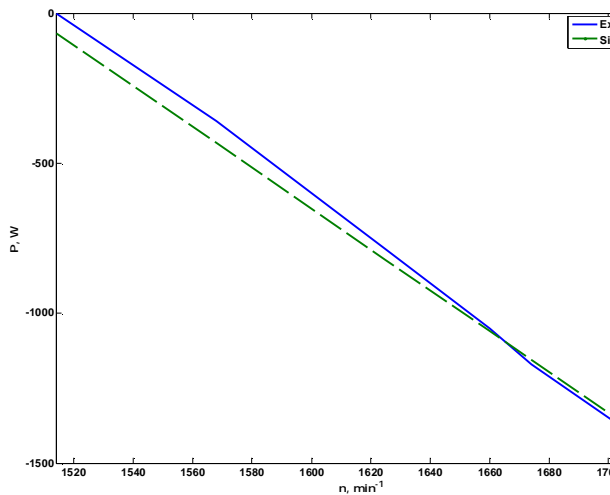


Figure 13. Stator injected power comparison for MAT 20

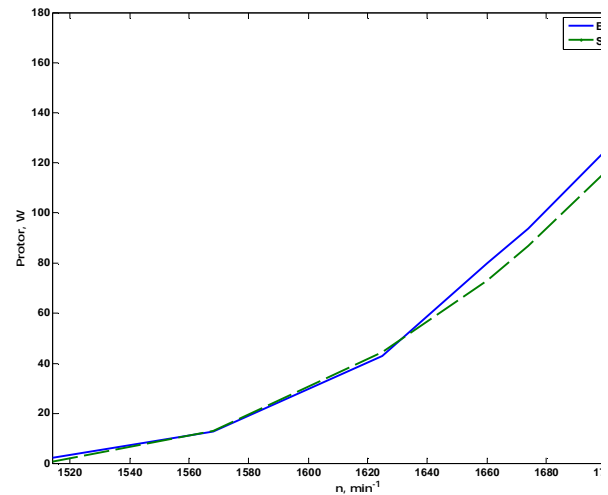


Figure 14. Rotor losses comparison for MAT 20

Figure 15 and Figure 16 show respectively the comparison of the stator currents and of the mechanical and the electromagnetic torques. The torques difference is due to the mechanical losses not taken into account in this model.

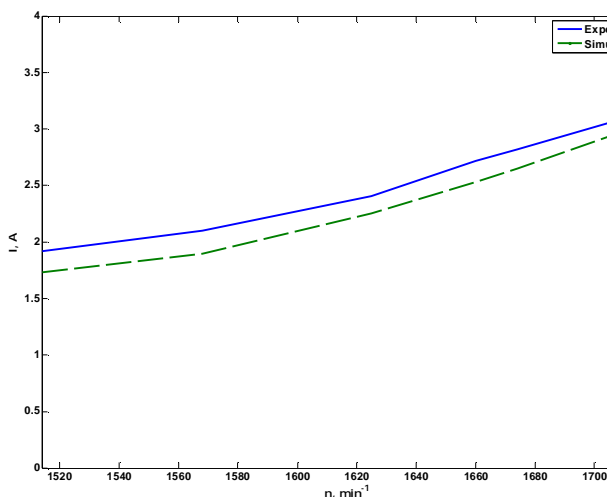


Figure 15. Stator currents comparison for MAT 20

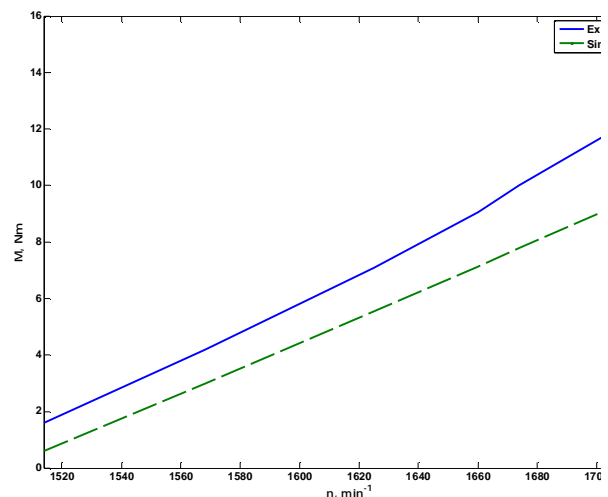


Figure 16. Mechanical (experimental) and electromagnetic (simulated) torque comparison for MAT 20

## 5. Conclusions

The realization of wound rotor induction machine model in the Matlab/Simulink environment was presented in this paper. The implemented mathematical model and the realized simulations are shown. There is a comparison of the simulation results with experimental ones. The implemented simulations and comparisons show the stable model behavior. The power that can be injected in the grid through power converters by the rotor side can be estimated by the Joule losses in the supplementary resistances. Thus, the interest in the doubly fed induction generators utilization can be seen. Exactly the modeling of this generator type is the further work aim. This model will be useful for the stochastic transient processes simulation during the grid connected operation of DFIG driven by RES motor. Moreover the power converters sizing is possible with this model.



### Acknowledgements

The authors would like to thank the Bulgarian National Research Fund (contract EE 106/07) and to the Technical University of Sofia (Research sector (NIS), contract 091ni094-01) for the financial support.

### References

- [1] Feijóo, A., J. Cidrás and C. Carrillo. "A third order model for the doubly-fed induction machine", *Electric Power Systems Research*, vol. 56, pp. 121–127, 2000.
- [2] Baroudi, J., V. Dinavahi and A. Knight. "A review of power converter topologies for wind generators", *Renewable Energy* 32 (2007) 2369–2385.
- [3] Perdana, A., O. Carlson and J. Persson. "Dynamic Response of Grid-Connected Wind Turbine with Doubly Fed Induction Generator during Disturbances", *Nordic workshop on power and industrial electronics*, Trondheim 2004.
- [4] Lazarov, V. and K. Bundeва. "Power balance in wound rotor induction machine", (in Bulgarian), *Proceedings of TU – Varna*, vol. 10, pp. 37–44, 2004.
- [5] Bojilov, G. „Transient processes and generalized theory of electrical machines”, Technical University-Sofia, Sofia 2007.
- [6] Dinov, V. „Unsymmetrical regimes and transient processes in the electrical machines, *TECHNIKA*, Sofia 1974.
- [7] Ghedamsia, K., D. Aouzellaga and E.M. Berkoukb. "Control of wind generator associated to a flywheel energy storage system", *Renewable Energy*, vol. 33, pp. 2145–2156, 2008.
- [8] Seman, S. "Transient performance analysis of wind-power induction generators", PhD Thesis, Helsinki University of Technology 2006.
- [9] Iov, F., A. Hansen, P. Sørensen and F. Blaabjerg. "Wind Turbine Blockset in Matlab/Simulink. General Overview and Description of the Models", Aalborg University, March 2004.
- [10] Ozpineci, B. and L. Tolbert. "Implementation of Induction Machine Model - A Modular approach" *IEEE International Electric Machines and Drives Conference*, June 1-4, pp. 728-734, Madison, Wisconsin, 2003.

### Authors:

Vladimir Lazarov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia and is responsible for the "Laboratory on Renewable Energy Sources".

Ludmil Stoyanov is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia and master of research of the Grenoble National Institute of Technology. Actually he is PhD student in the Technical University of Sofia.

Kostadinka Bundeва is master-assistant in the Technical College of the University "Prof. Asen Zlatarov" Burgas.

Zahari Zarkov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia

Dimitar Spirov is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia. Actually he is PhD student in the Technical University of Sofia.



## МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛИРАНЕ НА СИНХРОНЕН ГЕНЕРАТОР

Владимир Лазаров, Димитър Спиров, Захари Зарков, Людмил Стоянов

*Статията разглежда процеса на моделиране и симулиране на синхронен генератор в програмна среда на Matlab/SIMULINK за използване в комплексни модели за симулиране на системи за преобразуване на вятърна енергия. Поставената цел е реализирана в следните етапи: математично моделиране, програмно интегриране и изпитване на програмния модел с поредица от симулации. Математичното моделиране е извършено чрез преобразуване на съществуващите математични уравнения на синхронна машина в режим на генератор. Отбелязани са особеностите при осъществяването на програмното моделиране и симулиране. Резултатите показват физическата адекватност на модела и позволяват неговото използване.*

## MODELLING AND SIMULATION OF SYNCHRONOUS GENERATOR

Vladimir Lazarov, Dimitar Spirov, Zahari Zarkov, Ludmil Stoyanov

*This paper examines the process of modeling and simulation of synchronous generator with exciter and damper winding in the programming environment of Matlab/Simulink for use in complex wind energy conversion systems simulations. The aim is realized in the following stages: mathematical modeling, program integration and series of model simulations. The mathematical modeling is done by converting the existing synchronous machines mathematical equations in generator mode. Model implementation and some simulation features are discussed. The results confirmed the physical adequacy of the model and allow its use.*

### 1. Introduction

Modeling the components of wind energy system is a crucial key to improve the wind turbine system operation analysis. As the synchronous generator is important component of the wind turbine electrical system, its variable speed operation under various conditions, represent significant interest.

Different models of synchronous generator used in the wind turbine conversion systems (WTCS) exist in the literature [1], [2], [3], [4], [10]. However, these models consider only permanent-magnet synchronous generators (PMSG), which among the induction generators (squirrel cage and wound rotor) are most widespread and used generators in the WTCS. Despite the limited distribution of the salient-pole electrically excited (EE) synchronous generator in the wind industry, his model can be used successfully in relative analysis, identifying the suitable direct-drive generator concept for wind turbine. In [5] [6] [7] and [8] standard synchronous generators with exciter are reviewed, but only generalized model are presented and simplifying assumptions as neglected losses, constant rotor synchronous speed, constant resistances and inductances and constant field voltage are made. Detailed Matlab/Simulink model of synchronous generator with exciter and damper windings can be found in [9] for general type power system stability simulations of large turbo and hydro generators connected to infinite power bus. The modeling approach presented in [9] is used in this paper, but respecting the different operation mode and variable speed conditions. The mathematical equations describing the generator dynamics are updated to be easily integrated in the Matlab/Simulink program. Thus, the realized model is slightly different and adapted for use in wind turbine applications.

### 2. System modeling

#### 2.1. Mathematical model

The mathematical model of the EE synchronous generator is based on the concept of two poles synchronous machine with sinusoidal field distribution around the airgap, i.e. the space harmonics are ignored. The ABC model of the synchronous generator assume that the machine has a 3-phase symmetrical winding, located on the stator and exciter winding and two damper windings, located on the rotor. Although the rotor may have only one physical field winding, additional winding are used to represent damper winding or damping effects of eddy currents in the solid iron. It is convenient to represent the generator by a model based on an equivalent idealized machine which circuit is shown on fig. 1. The considered assumptions are: linear magnetic system, i.e. the saturation is not explicitly taken into account, neglected iron and mechanical losses and infinite bus power electric grid connection. The saturation can be accounted for by adjusting the reactances along the two axes with saturation factors or by introducing a compensating component to the main field excitation.

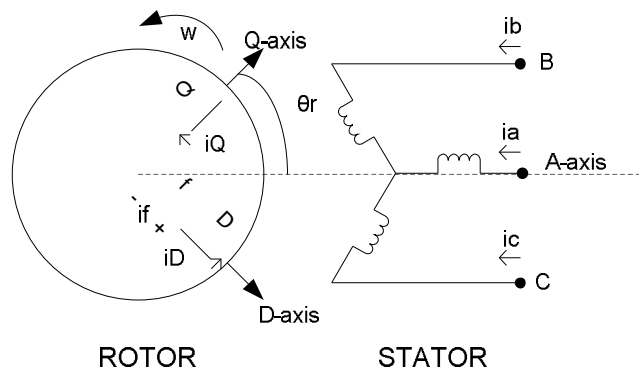


Fig. 1 Circuit representation of idealized generator

The equations are established for salient-pole synchronous generator and can be presented as follow [11], [12]:

$$\begin{aligned}
 U_s(A, B, C) &= R_s \cdot i_s(A, B, C) + \frac{dy_s(A, B, C)}{dt} \\
 U_F &= R_F \cdot i_F + \frac{dy_F}{dt} \\
 U_D &= R_D \cdot i_D + \frac{dy_D}{dt} \\
 U_Q &= R_Q \cdot i_Q + \frac{dy_Q}{dt}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

where  $U$  denotes the voltages,  $R$  the resistances,  $I$  the currents and  $\Psi$  the flux linkages.

For mathematical modeling of electrical components in practice, the 3-phase system ABC is replaced by 2-phase reference frame DQ using the Park transformation. The transformation from ABC to DQ and vice versa consists of two matrices. The direct matrix for ABC to DQ reference frame is:

$$[T_{QD}(\theta_r)] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) & \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin(\theta_r) & \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix}
 \tag{2}$$

Thus, the inverse matrix for DQ to ABC frame is:



$$[T_{QD}(\theta_r)]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) & \sin(\theta_r) \\ \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (3)$$

The angle  $\theta_r$  between the rotor Q-axis and the A-axis of the stator is defined as:

$$\theta_r(t) = \int_0^t \omega_r(t) dt + \theta_r(0) \quad (4)$$

where  $\omega_r$  is the rotational speed of the rotor and  $\theta_r(0)$  can be either 0 or some initially fixed value. The rotational speed can be expressed as:

$$\omega_r = (1 + s)\omega_s \quad (4)$$

where  $\omega_s = 2\pi f$  is the speed of stator synchronously rotating magnetic field,  $s$  is the rotor slip and  $f = 50\text{Hz}$  is the grid frequency.

Different synchronous generator equations derived from Park's equations depend on the particular choice of state variable. When modeling the synchronous generator, two electrical parameters: the flux linkage or the current can be chosen as state variables. Relatively simpler approach is to choose the flux linkage as state variables of the model. When choosing the flux linkages, currents in the voltage equations are replaced by the equivalent flux linkage equations. Then the matrix form of voltage equations is [13]:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Psi_d}{\partial t} \\ \frac{\partial \Psi_q}{\partial t} \\ \frac{\partial \Psi_f}{\partial t} \\ \frac{\partial \Psi_D}{\partial t} \\ \frac{\partial \Psi_Q}{\partial t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{ad}} & \omega_r & \frac{R_a}{X_{fd}''} & \frac{R_a}{X_{dD}''} & 0 \\ -\omega_r & -\frac{1}{T_{aq}} & 0 & 0 & \frac{R_a}{X_{qQ}''} \\ \frac{R_f}{X_{fd}''} & 0 & -\frac{1}{T_f''} & \frac{R_f}{X_{fD}''} & 0 \\ \frac{R_D}{X_{dD}''} & 0 & \frac{R_D}{X_{fD}''} & -\frac{1}{T_d''} & 0 \\ 0 & \frac{R_Q}{X_{qQ}''} & 0 & 0 & -\frac{1}{T_q''} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Psi_d \\ \Psi_q \\ \Psi_f \\ \Psi_D \\ \Psi_Q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_d \\ U_q \\ U_f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

where  $T'$ ,  $T''$  and  $X''$  are generator transient and sub-transient time constants and reactances.

## 2.2. Program modeling

The Matlab/Simulink model of the synchronous generator can be considered as a box with input/output variables representing the machine dynamics. The idea to use the model in wind turbine system simulation enforces the voltages to be input variables and respectively currents output variables. Thus, the flux linkages are state space variable option for this model. Once defined the state variables, the state space form of the synchronous generator dynamic equations to introduce in the Matlab/Simulink software environment has the following form:





$$p[\psi] = [A]x[\psi] + [B]x[U] \quad (10)$$

where  $p$  is the differential operator  $d/dt$ ,  $A$  is the parameter variables matrix from (9) and  $B$  is unity matrix.

Instead of using matrix equations, more convenient way is to use the five flux linkage equations in integral form, defined as:

$$\begin{aligned} \psi_d &= \int \left\{ u_{sd} + \omega_r \psi_q + \frac{r_s}{L_\sigma} (\psi_{md} - \psi_d) \right\} dt & i_d &= \frac{\psi_d - \psi_{md}}{L_{\sigma s}} \\ \psi_q &= \int \left\{ u_{sq} - \omega_r \psi_d + \frac{r_s}{L_\sigma} (\psi_{mq} - \psi_q) \right\} dt & i_q &= \frac{\psi_q - \psi_{mq}}{L_{\sigma s}} \\ \psi'_f &= \frac{r'_f}{L_{md}} \int \left\{ E_f + \frac{L_{md}}{L'_{\sigma f}} (\psi_{md} - \psi'_f) \right\} dt & i'_f &= \frac{\psi'_f - \psi_{md}}{L'_f} \\ \psi'_D &= \frac{r'_D}{L'_D} \int (\psi_{md} - \psi'_D) dt & i'_D &= \frac{\psi'_D - \psi_{md}}{L'_D} \\ \psi'_Q &= \frac{r'_Q}{L'_Q} \int (\psi_{mq} - \psi'_Q) dt & i'_Q &= \frac{\psi'_Q - \psi_{mq}}{L'_Q} \end{aligned} \quad (11) \quad (12)$$

where the flux linkages  $\psi_{md}$  and  $\psi_{mq}$  are:

$$\begin{aligned} \psi_{md} &= L_{md} (i_d + i'_f + i'_D) \\ \psi_{mq} &= L_{mq} (i_q + i'_Q) \end{aligned} \quad (13)$$

The flux linkages and currents calculated the electromagnetic torque of the generator is derived:

$$T_e = \frac{3}{2} P (\psi_d i_q - \psi_q i_d) \quad (14)$$

where  $P$  is the pole pairs.

The rotational speed in (11) can be obtained solving the mechanical equation, where the electromagnetic torque and the mechanical torque are swing together:

$$\omega_r(t) = \frac{P}{J} \int_0^t (T_m - T_e) dt \quad (15)$$

where  $T_m$  is the mechanical torque and  $T_e$  is the electromagnetic torque.

The structure of the programmed generator equations in the software environment of the Matlab/Simulink is visualized in fig. 2.

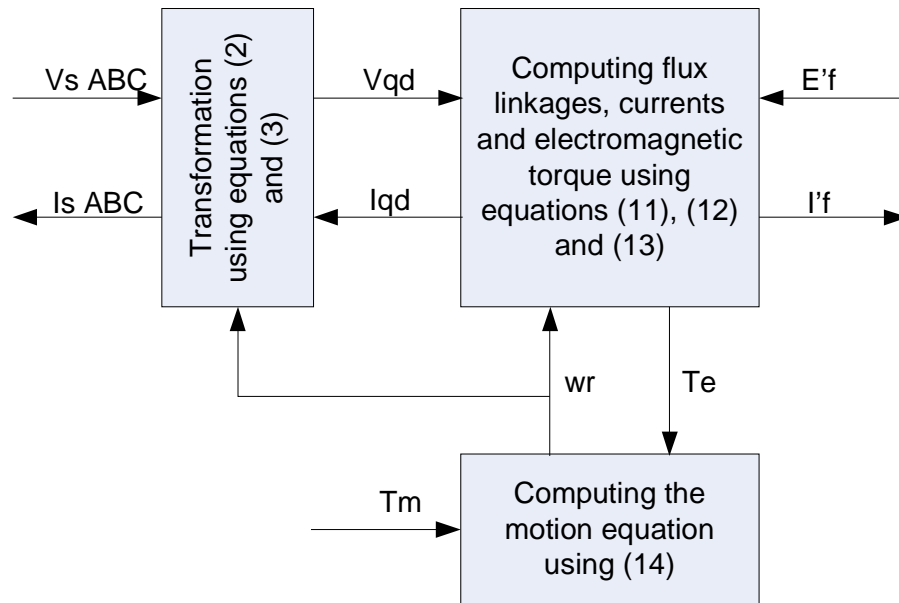


Fig. 2 Structure model of the synchronous generator

The model has three inputs: the grid voltages, the field voltage and the mechanical torque and two outputs: the stator currents and the field current. If different variables as the load angle, the apparent power, the DQ current and voltage components, etc. are required, they can be also visualized but the corresponding equations have to be introduced. The realized Matlab/Simulink generator model can be viewed on fig. 3. The model is made following the structure of fig. 2 and has one main system giving the main variables and interface ports to connect other models and one sub-system calculating the equations (11)-(14).

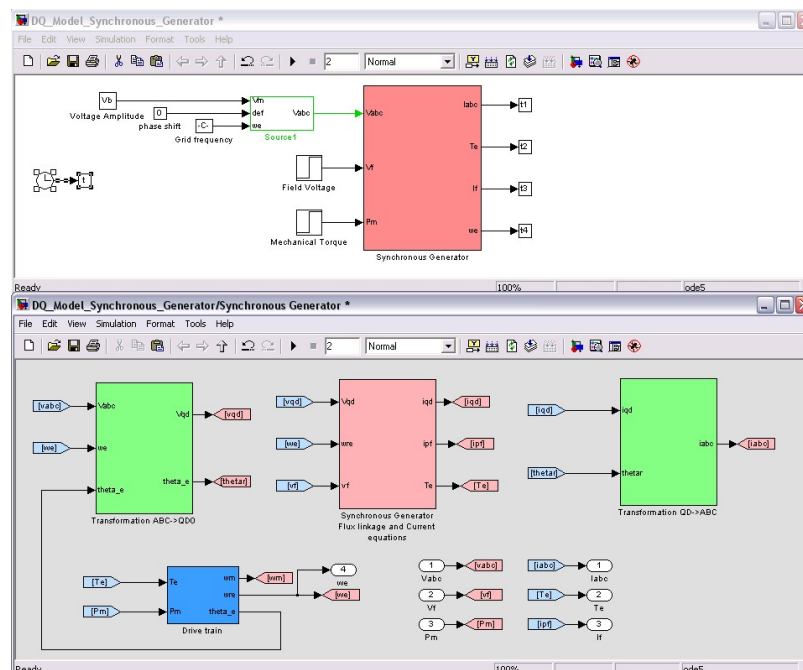


Fig. 3 Matlab/SIMULINK realization of the synchronous generator model

### 3. Simulation results



The synchronous generator model, realized in Matlab/Simulink, is tested under several types of simulation conditions using the identified parameters of existing 1.5kW synchronous machine Langlois MSM20 in the laboratory "Renewable Energy Sources" of the Technical University of Sofia. For the simulation of the generator in different operation modes the simulated conditions are fixed to: sudden step change of the system input power from 1000W to nominal power and random change of the input power due to presumable stochastic nature of the wind in WTCS model. The simulation results are shown on fig. 4-fig. 11.

The transient process at the start of the simulation can be important if initial conditions are not considered and thus the simulation process can be instable. In fig. 4-fig. 7 for the step change of the input power it can be seen that all system output variables settle down relatively fast after the change with distinctive transient process. In fig. 8-fig. 11 it is apparent that all output system variable follow tightly the changing input power curve. When rapid change in the input power occurs, it can be seen that at specific moments the output signal (power and torque) can be bigger than the input due to the inertia of the system.

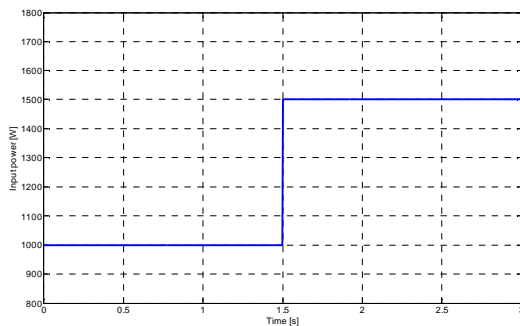


Fig. 4 Step change in the input power

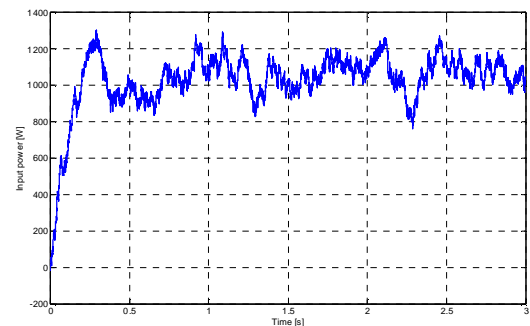


Fig. 8 Variable input power

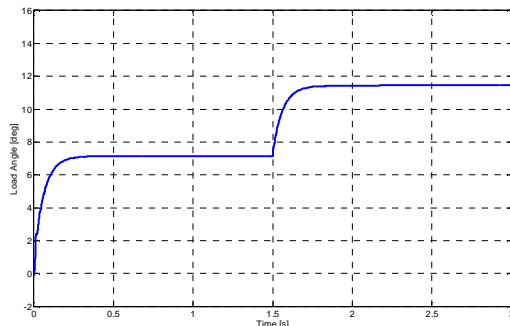


Fig. 5 Load angle at step change

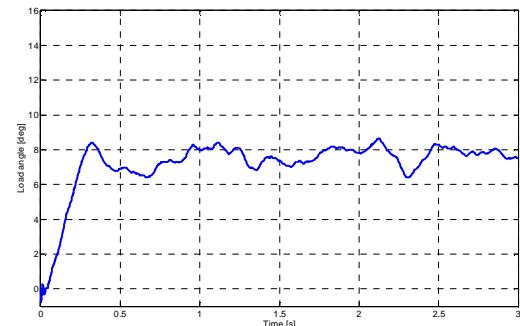


Fig. 9 Load angle at fluctuating power

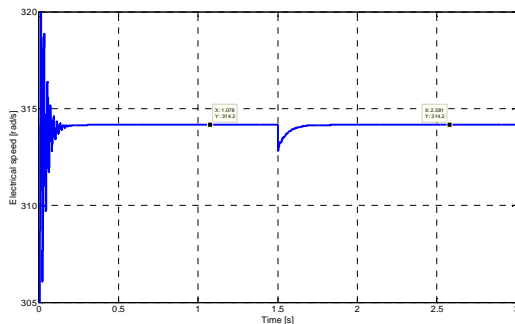


Fig. 6 Electrical speed at step change

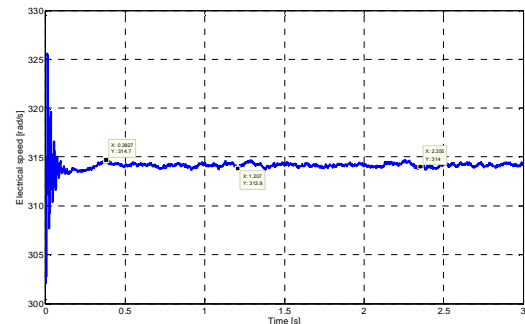


Fig. 10 Electrical speed at fluctuating power-

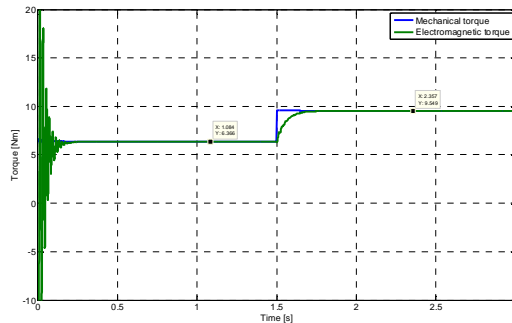


Fig. 7 Generator torque at step change

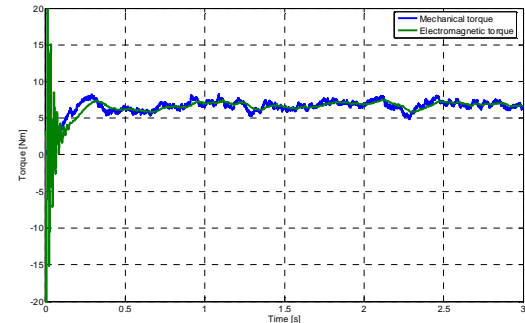


Fig. 11 Generator torque at fluctuating power

#### 4. Conclusion

A model of synchronous generator has been realized using the software environment of Matlab/Simulink. The model is based on the mathematical equations of synchronous machine in generator convention. When modeling, different particularities must to be taken into account, the most important are:

- Suitable choice of state variable to favor the modeling process and speed up the computing time;
- Allocation of appropriate reference frame to perform the variable transformation;
- Inclusion of motion equation to calculate the rotor speed in accordance to variable input power and to keep the simulation stability.

The model is tested under various operation modes i.e. sudden change of the input power and fluctuating change of the input power. The simulation results verify the reliability of the model and disclose specific transient processes features at variable speed. The stability of the model even at continuous transient operation warrants the possible usage in complex WTCS simulations. The model can be also successfully used in investigation of large power stability simulations or in 3-phase terminal faults simulation.

#### Acknowledgment

The authors would like to thanks the Ministry of Education and Science, National Science Fund (contract EE 106/07) and the Technical University - Sofia, НИС (contract. 091НИ 094-01) for their financial support.

#### References

- [1] Grauers, A. "Design of Direct-driven Permanent-magnet Generators for. Wind Turbines", Ph.D. thesis, Chalmers University of Technology 1996
- [2] M. Dubois, "Optimized permanent magnet generator topologies for direct drive wind turbines", PhD-thesis Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2004.
- [3] Dehkordi, A. B., Gole, A. M., Maguire, T. L. 'Permanent Magnet Synchronous Machine Model for Real- Time Simulation', International Conference on Power Systems Transients (IPST'05), Montreal, Canada, June 19-23, 2005.



[4] Yin, M., Li, G., Zhou, M., Zhao, C. "Modeling of the Wind Turbine with a Permanent Magnet Synchronous Generator for Integration", IEEE Power Engineering Society General Meeting, Page(s):1 - 6 2007.

[5] Lubosny, Z. "Wind Turbine Operation in Electric Power Systems", Springer 2003.

[6] Achilles, S., Pöller, M. "Direct Drive Synchronous Machine Models for Stability Assessment of Wind Farms", Proceedings of the Fourth International Workshop on Large Scale Integration of Wind Power and Transmission Networks for Offshore Wind Farms, Billund, Denmark, October 20-21 2003.

[7] Hirayama, K. "Practical Detailed Model for Generators", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 10, No. 1, March 1995.

[8] Alexandrovitz, A., Aval, M. "Dynamical, Behavior of Synchronous Generator under Various Transient Conditions", the 21st IEEE Convention of the Electrical and Electronic Engineers in Israel, 2000.

[9] Ong, C.-M. "Dynamic Simulation of Electric Machinery using Matlab/Simulink", Prentice Hall, 1998.

[10] D. Roye, V. Lazarov, D. Spirov, L. Stoyanov; "Comparison of energy conversion systems for variable speed wind turbine application", 12th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2008, Proceedings vol.1, pp. 136-141, Sofia, Bulgaria, 2008.

[11] Dinov, V. „Unsymmetrical regimes and transient processes in the electrical machines, TECHNIKA, Sofia 1974.

[12] Bojilov, G. „Transient processes and generalized theory of electrical machines", Technical University-Sofia, Sofia 2007

[13] Krause, P., Wasynczuk, O., Sudhoff, S. "Analysis of Electric Machinery and Drive Systems", 2nd Edition, Wiley-IEEE Press, 2002.

**Authors:**

Vladimir Lazarov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia and responsible for the "Laboratory on Renewable Energy Sources".

Dimitar Spirov is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia. Actually, he is PhD student in the Technical University of Sofia.

Zahari Zarkov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia

Ludmil Stoyanov is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia and master of research of the Grenoble National Institute of Technology. Actually, he is PhD student in the Technical University of Sofia.



## УПРАВЛЕНИЕТО НА ЕНЕРГИЙНИТЕ ПОТОЦИ В ХИБРИДНА СИСТЕМА С ВЪЗБНОВЯЕМИ ИЗТОЧНИЦИ НА ЕНЕРГИЯ

Брюно Франсоа, Владимир Лазаров, Жил Нотон, Людмил Стоянов, Захари Зарков, Християн Кънчев.

**Резюме:** Имайки предвид непостоянния характер на първичните източници в една хибридна система с възобновяеми източници на енергия както и консуматорите, които системата захранва (някои от тях се нуждаят от постоянно захранване), възниква нуждата от адекватно управление на енергийните потоци. В статията е направен обзор на изследванията в тази област. Обърнато внимание и на значимостта на стратегиите за управление на енергийните потоци и за планиране на производството на енергия в хибридна система.

## ENERGY FLOWS MANAGEMENT OF A HYBRID SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY GENERATORS

**Bruno François, Vladimir Lazarov, Gilles Notton, Lyudmil Stoyanov, Zahari Zarkov, Hristiyan Kanchev.**

**Abstract:** Taking into account the variable primary sources character in the hybrid system of renewable energy sources and the consumers, powered by this system (some of them need a constant power source), the need of a power management in a hybrid system emerges. This article reviews the researches in the hybrid systems domain. Also the importance of managing and planning the power production and consumption in the hybrid system is discussed.

### 1. Introduction

Following the rapid development of renewable energy sources (RES), in the recent years there is a trend of using the so-called "Distributed energy production". This means electricity production not only in the large power plants, but also in smaller local installations near the customers. A hybrid system is called a local system which comprises consumers, storage devices and few electricity generators (renewable energy based generators as well as conventional units) [1],[2]. The hybrid system operates in autonomous mode, independent from the power network or in grid connected mode. More research of the autonomous mode of hybrid systems is presented in the paper [3],[4],[5] and [6].

When connected to the power network, the hybrid system can supply electricity to the grid, but it can also be powered from the electricity grid when needed. The distributed electricity production use reduces the energy losses in the distribution network and also allows the local combined heat and power production (CHP). Such system also has the possibility of supervising the produced energy quality to supply consumers with critical importance [3],[7] and [8]. The use of renewable energy sources reduces a lot of greenhouse gas emissions and the fossil fuel demand, but has one considerable inconvenient: the stochastic primary source (sun, wind etc.) character [9]. For this reason every hybrid system should have power storage devices which assure the constant energy supply even when there are no renewable energy sources available at the moment. Thus the variations in the hybrid system power output can be eliminated [10].

### 2. Structure and characteristics of a hybrid system.

Figure 1 presents the simplified diagram of grid connected hybrid system [1], [11] and [12]. The system contains different energy source types – distributed generators (DG) and storage devices - distributed storage (DS). The hybrid system is connected to the grid in the point of

common coupling (PCC) at the local substation. The presented system can also work autonomously, but need to synchronize instantly with the power grid in the case of passing to grid-connected mode.

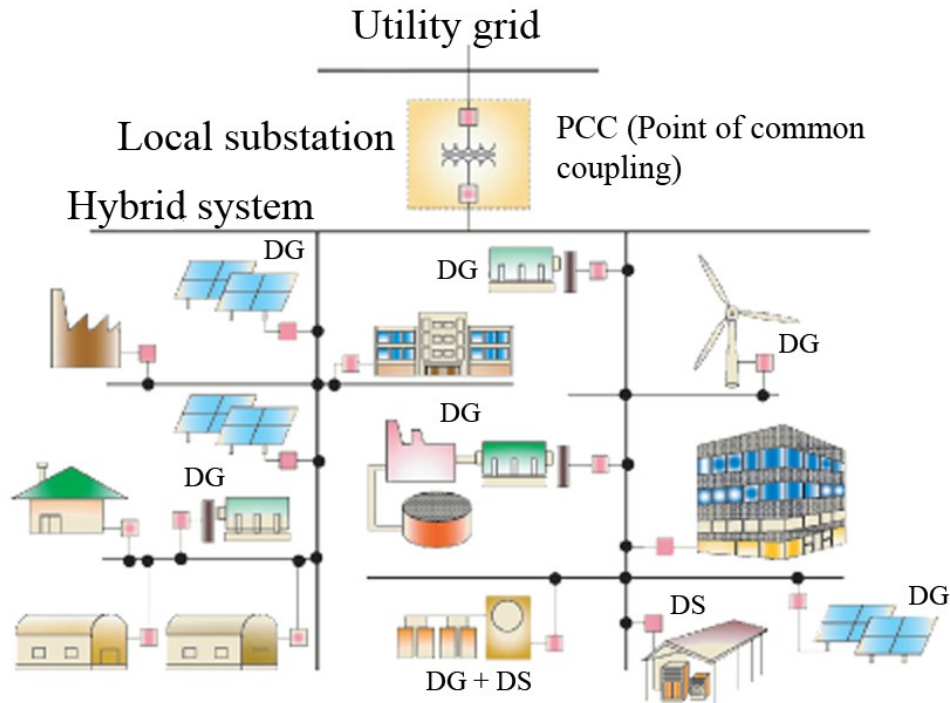


Figure 1. A general diagram of a hybrid system

Figure 2 presents the possible energy flow directions between the hybrid system main components, as well as the possible directions of the energy flows between the hybrid system and the grid [12]. In the hybrid system also heat can be produced and consumed by combined heat production (CHP) or RES[2], [13] and [14].

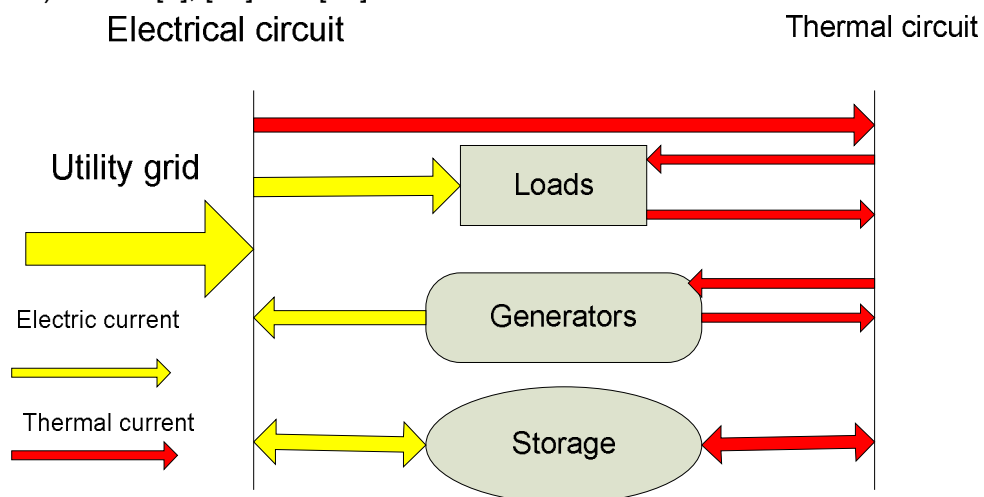


Figure 2. The possible energy flow directions between the hybrid system's main blocks.

### 2.1. The energy sources in a hybrid system and their control.

Small energy sources (less than 100kW) are most used in the hybrid systems [3], [15] and [16]. Some power sources, frequently used in hybrid systems are presented in detail in [17]. Several models corresponding to the real characteristics of the generators are presented in [18], [19]. According to [20] and [1], the generators in a hybrid system can be classified in two main groups. The first group are conventional generators that are directly couples to the system without an electronic converter. The second group includes power sources that need power converters for grid connection (photovoltaic panels, batteries, fuel cells, etc.). The generators control strategies and their characteristics can be significantly different. Also, the autonomous hybrid system control differs considerably from the conventional power system control.

Both generator groups are connected to a low voltage AC bus. On fig.3 is presented the block diagram of a generator in a hybrid system. It consists of primary source, converting the solar irradiation in electric current, power converter to supply 220V/50Hz and protections at the point of connection. As a feedback loop, observe and control devices are connected.

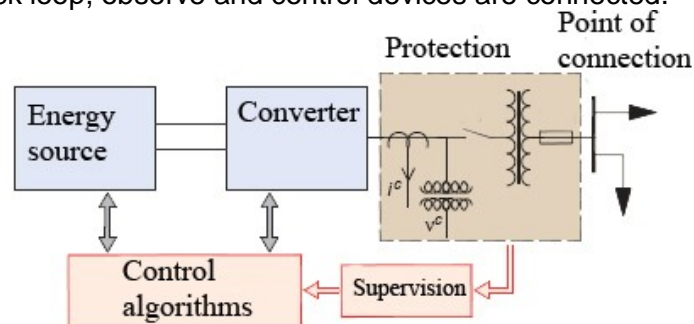


Figure 3. Block diagram of a generator for a hybrid system

The main parameters that can be controlled are: voltage, frequency and active/reactive power, supplied to the hybrid system. Two methods for power converter control are presented in papers [21], [22], [23] and [24]. In the first method (PQ inverter control), the signal references are the active and reactive power values. The second method consists of maintaining predefined voltage and frequency values. It is called VSI – voltage source inverter.

## 2.2. Energy storage devices.

In autonomous hybrid system, some constraints, caused by the variable energy from the RES and the constant consumers energy demand, occurs. In [25], it is discussed the need of storage devices to maintain the energy balance in the autonomous hybrid system. Due to the generators large time constant (10-200 s.), storage devices for power supply in short intervals are also needed. It is realized by supercapacitors or batteries [25]. The supercapacitors are used for compensation and additional system power supply in a very short period, whereas the batteries are used for long period energy supply to the system. Control algorithms and operation optimization of the storage devices for better system performance are indispensable [26].

In [26] the lead-acid batteries are considered to be very convenient for use in hybrid systems. There are several types of batteries: lead-acid, based on Nickel or lithium based [27]. We will pay more attention the lead-acid and the nickel based batteries, because the lithium-based batteries by this time are mainly used in low-power storage

The single cell voltage of the lead-acid batteries is approximately 2V. The energy density is about 30 Wh/kg [28]. They have a low self-discharge rate (about 2% per month), they are easy to install and do not require special maintenance. Their disadvantage is the short lifecycle (1200 – 1500 cycles discharge/charge, or 5-15 years of operation).

The nickel-based batteries (NiCD, NiMH and NiZn) have a voltage of 1,2 V (for NiZn 1,6 V) per cell. The density of energy storage is about 50-60 Wh/kg [27]. The exploitation period is longer than the lead-acid batteries – over 1500 cycles. Their inconvenient are the price (around 80% higher than lead-acid) and high self-discharge rate (as high as 10% per month).

The supercapacitors (called also ultracapacitors) are capacitors with an extremely big capacitance (from a few hundreds to a few thousand Farads). In the supercapacitors, no





electrochemical processes run and for this reason the supercapacitors can support much more operation cycles without characteristics degradation [28]. Some researches show that the supercapacitor can support about 300 000 to 500 000 exploitation cycles. The operation life time is about 12-15 years[17]. Another disadvantage is the self-discharge rate of about 12% per month[17]. The supercapacitors are suitable for short period (from a few seconds to a few minutes), large energy system supply. Batteries are more useful to supply energy for a longer period. Different studies of the supercapacitor characteristics are discussed in [27] and [29].

### 2.3. Loads in a hybrid system.

The hybrid system can supply electrical and thermal loads [30], [31]. In grid-connected mode, the hybrid system can supply to the grid the energy excess. It can consume energy from the grid in emergency cases. Sometimes, in autonomous operation, the energy supply of some non-critical loads has to be stopped in order to maintain the balance of produced/consumed power. From this emerges the need of planning and forecasting the power generation and consumption, as well as the hybrid system sizing. The hybrid system main controller has to separate the two load categories: loads of critical importance that need constant energy supply and non-critical loads that can be disconnected.

According to [30] and [32], the system load forecasting can be done based on statistical data. A good example is the power consumption of a typical household, as shown on fig.4. The 24 hour period is divided in 4 parts. The first one is the night, when most of the consumers are switched off and the consumed power is not considerable. Then the "morning peak" between 7 and 12 o'clock comes. In the afternoon there is no considerable consumption and during the last period between 18h and 24h we can observe another consumption peak.

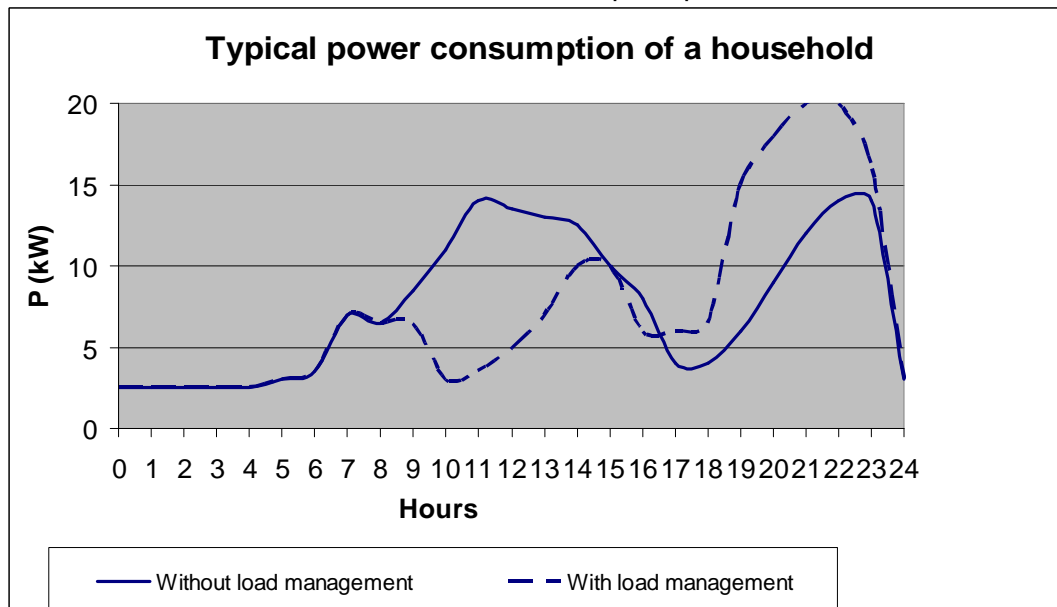


Figure 4. Daily forecast of the typical household power consumption

Classifying the loads in two categories the so-called load management can be introduced. It consists of supplying the non-critical loads when the overall consumption is low and cutting their energy supply when power consumption is at its peak. Thus, a part of peak consumption can be displaced for the time, when the system has more available power. The load curves with and without load management are shown on figure 4.

### 3. Monitoring and control of the hybrid system.

The schematic of the hybrid system main controller operation is presented on fig.5. The system consists of two active generators, gas turbine and loads. The generators are photovoltaic arrays with batteries and they are “active”, because of possibility to deliver energy through the batteries at system demands.

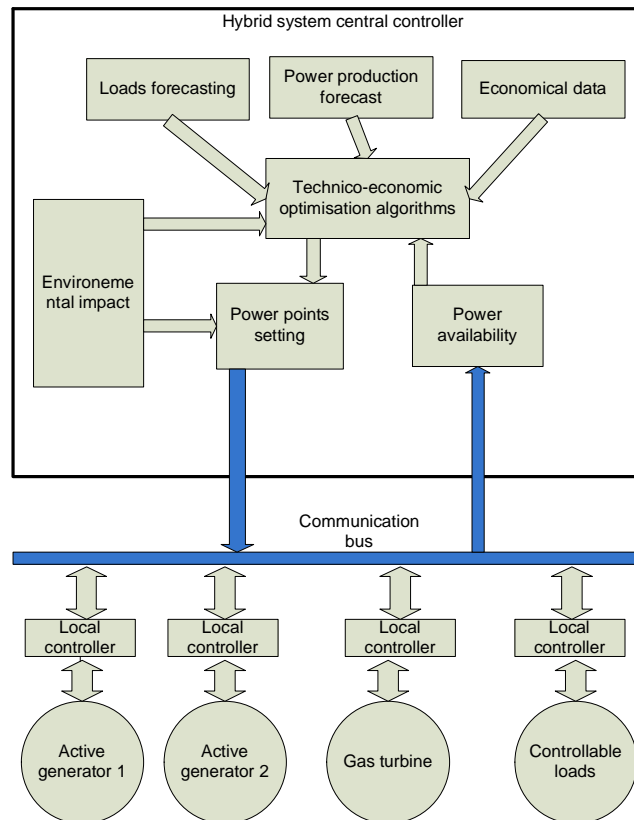


Figure 2. Hybrid system management circuit

The active generators and the gas turbine are connected to the system through three-phase inverters. According to [30] the management and control of a hybrid system can be classified in short-term management and long-term management and planning of the generation and loads.

In short term (milliseconds to a few seconds), the main controller regulates the produced energy and the energy demand in the system. It can supply additional electricity from the electrical grid when it is necessary. One of the most important main controller functions is the system voltage and frequency supervision [33].

In [14] the hybrid system controllers are analyzed, their main characteristics and some of the supervision and control algorithms are discussed.

In long term the hybrid system energy management consists of:

- Hourly forecast of the produced electricity from renewable sources
- Hourly forecast for the energy demand
- Classification of the loads in two categories: loads of critical importance and non-critical loads
- Forecasting a sufficient power reserve
- Planning the maintenance intervals

The time classification of the main controller's functions is presented on Fig. 6:

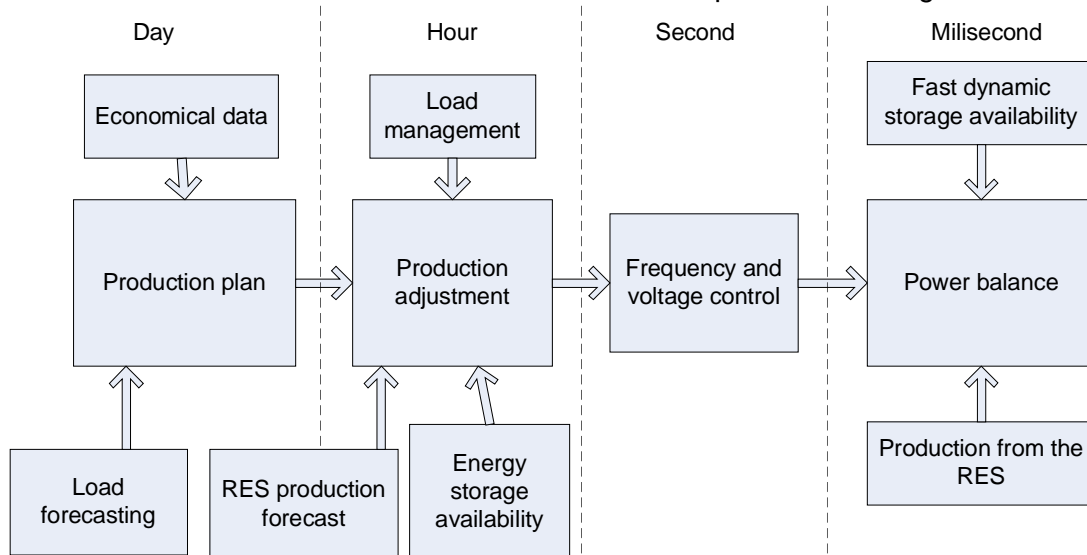


Figure 6. Time classification of the main controller's functions

The main controller uses optimization algorithms, taking into account several parameters, such as: forecast of the energy production and demand, price of the electricity delivered from the utility grid, gas emissions (when conventional generators are used in the system), etc. [34] and [35]. According to [3], [36] and [37] the main controller is connected to the generator and load controllers through a communication bus. The communication circuit is shown on fig.7.

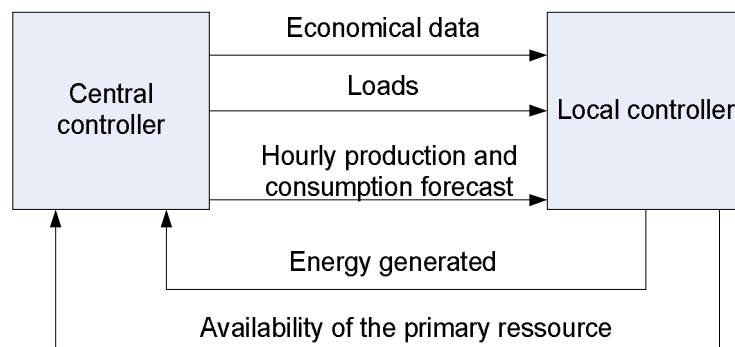


Figure 7. Communication circuit between the local controllers and the hybrid system central controller

#### 4. Conclusions.

The distributed energy production becomes more and more used in the utility grids. The concepts of managing a decentralized power system can be significantly different to those of a conventional centralized power system. At the other hand, the management of the energy flows in a hybrid system taking in account the energy resources and the electricity demand in the system implies difficult optimization problems, some of them are subject of ongoing research. According to the papers and studies mentioned in the references, the experimental results show that the stable autonomous hybrid system operation can be achieved together with system sizing and load management. The transition from autonomous operation to grid-connected mode is another aspect, which requires additional researches.

#### Acknowledgement

The authors would like to thank the Bulgarian Ministry of Education and Science, National Science Fund - contract EE 106/07 for the financial support.

**References:**

- [1] Hatziargyriou N., H.Asano, and others, "Microgrids", IEEE power&energy magazine, p 78-94, July/August 2007.
- [2] Dimitrov D., V. Lazarov and others, Sources d'énergie renouvelables, 337p. Edition Universite Technique de Sofia, 1999
- [3] Katti, P.K., Khedkar M.K. Alternative energy facilities based on site matching and generation unit sizing for remote area power supply. Renewable Energy 2007. 32:1346–1362.
- [4] Lazarov V., Z. Zarkov, and others, "Modeling environment for research of renewable energy sources operation in power limited energy systems", Advances in Bulgarian Science, vol. 1, pp. 24-31, NCID 2008, Bulgaria
- [5] Patra Shashi B., M. Joydeep and Ranade Satish J., MicroGrid architecture: a reliability constrained approach. IEEE Power Eng Soc Gen Meet 2005(3):2372–7.
- [6] Pecas Lopes, J.A., Moreira, and Madureira, A.G., Defining control strategies for MicroGrids islanded operation. IEEE Trans Power Syst 2006;21(2):916–24.
- [7] Peng Li, Formalities in the supervision of hybrid systems and distributed generation systems, PhD thesis in electrical engineering, Ecole central de Lille, 2008, Lille, France
- [8] S.Stoft, "Power system economics. Designing market for electricity", IEEE press, Piscataway, New Jersey, USA, 2002
- [9] Gianfranco C. and M. Pierluigi. Distributed multi-generation: A comprehensive view. Renewable and sustainable energy reviews 13 p. 535- 551, 2009
- [10] Lazarov, V., Z. Zarkov. Aspects électriques de sources d'énergie renouvelables. Proc. of EPF 2006, Grenoble, France. Sess.9, p.6.
- [11] Lazarov V., G. Notton and L. Stoyanov, Toward a generalized design approach of renewable energy hybrid systems, SIELA 2007, vol II, pp 49 – 56.
- [12] Lazarov,V., G.Notton, and others, Hybrid Power Systems with Renewable Energy Sources – Types, Structures, Trends for Research and Development. Proc. of Int. Conf. ELMA2005, Sofia, Bulgaria,2005,pp 515-520.
- [13] Francois B., L.Petrucci and P.Felice, Hybrid trigeneration system with a double DC bus configuration, "Electromotion 2009" EPE Chapter "Electric Drives" Joint Symposium Lille, France, 1-3 July 2009.
- [14] G.Blajszczak. "Ancillary services in market environnement", EPE 2003 Toulouse, France 2-4 septembre 2003, CD-ROM
- [15] Stoyanov, L, G.Notton and V.Lazarov, Optimization of multi-sources systems for electricity production by renewable energy souces (FR), CDR – The review of renewable energy energies, Vol.10,n1,pp1-18, Algeria.
- [16] Krusteva, A., V. Lazarov, Z. Zarkov and others, Renewable energy sources and distributed energy production – European trends. Proc. of 2nd Int. Conf. on Ecological Protection of the Planet Earth, Sofia, Bulgaria, pp.512-515.
- [17] Huang J., Jiang Chuanwen and Xu Rong, A review on distributed energy resources and MicroGrid, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) p.2472–2483
- [18] Lasseter, R.H. and P. Paolo. MicroGrid: a conceptual solution. IEEE Annu. Power Electron. Specialists Conf. 6 2004(1):4285–90.
- [19] H. Gazatanaga Arantzamendi, "Etude de structures d'intégration des systèmes de génération décentralisée : Application aux microréseaux", Thèse de doctorat, l'Institut Nationale Polytechnique de Grenoble, le 15 décembre 2006.
- [20] Kariniotakis, G.N., Soutanis N.L. and Tsouchnikas A.I., et al. Dynamic modeling of MicroGrids. Int Conf Future Power Syst 2005:1–7.
- [21] Krasteva A., C.Marinov and N. Hinov, „ Power electronic devices in the distributed generation systems", "elektronika and elektrotehnika", 9-10, 2008, p. 3-18 (in Bulgarian).
- [22] Dimeas A. and N.D. Hatziargyriou, "Agent based control for microgrids", IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, USA, June 2007.
- [23] Dimeas A. and N.D. Hatziargyriou, "Operation of a multi-agent system for microgrid control", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 20, No. 3, pp. 1447-1457, August 2005.



- [24] F. Katiraei and M.R. Irvani, "Power management strategies for a microgrid with multiple distributed generation units", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 21, No. 4, pp. 1821-1831, November 2006.
- [25] Payman A., S. Pierfederici and F. Meibody-Tabar, Energy control of a supercapacitor/fuel cell hybrid power source, Energy conversion and management 48, p.1637-1644, 2008
- [26] Venkataramanan G. and I. Mahesh. Microgrids and sensitive loads. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting, 2002(1):315–22.
- [27] Hadjipaschalis I., A. Poullikkas and V. Efthimiou, Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1513–1522
- [28] Investigation on storage technologies for intermittent renewable energies: evaluation and recommended R&D strategy, INVESTIRE-NETWORK (ENK5-CT-2000-20336), Storage Technology Reports (<http://www.itpower.co.uk>).
- [29] Halper M., Supercapacitors and other nano-enabled energy systems, MITRE Nanosystems Group; 2006 (<http://www.mitre.org>).
- [30] Francois B. and D. Lu, Strategic framework of an energy management of a microgrid with a PV-based active generator, Electromotion 2009 – EPE Chapter "Electric drives" joint symposium, 1-3 July 2009, Lille, France
- [31] Reichling J.P. and Kulacki F.A. (2008), Utility scale hybrid wind–solar thermal electrical generation: A case study for Minnesota. *Energy* 33, 626–638.
- [42] B. Robyns, Y. Pankow, and others, Equivalent continuous dynamic model of renewable energy systems, ELECTRIMACS 2002, CD, 18-21 Aout 2002, Montreal, Canada
- [33] Yunwei L., Mahinda Vilathgamuwa D. and Loh Poh Chiang. Design, analysis, and real-time testing of a controller for multibus MicroGrid system. IEEE Trans Power Electron 2004;19(5):1195–204.
- [34] Notton G., V. Lazarov and L. Stoyanov, "Ressources solaires et éoliennes – sont-elles si complémentaires ? Application à la Bulgarie et la Corse", Liaison Energie–Francophonie, num. 79, pp. 80-84, IEEF 2008, Canada.
- [35] Ozdamar, A., Ozbalta N. And others, An application of a combined wind and solar energy system in Izmir. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9, 624–637, 2005.
- [36] Guillard X. and B. François, A causal method for the modelling of static converter and the control design. Application to a Voltage Source Converter, EPE 2003 – Toulouse, France
- [37] Francois B., J.P. Hautier, Commande d'un onduleur triphase de tension par modulateur de largeur et position d'impulsions, Revue international de genie electrique volume 2, no.4 / 1999.

#### Information about the authors:

Vladimir Lazarov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia and is responsible for the "Laboratory on Renewable Energy Sources".

Bruno François is Associated Professor at the department of Electrical Engineering at Ecole Centrale of Lille, France.

Hristiyan Kanchev is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia. Actually he is PhD student in the Technical University of Sofia.

Gilles Notton is assistant professor and responsible of the French Research ADEME network between France and Oriental and Central European Countries.

Ludmil Stoyanov is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia and master of research of the Grenoble National Institute of Technology. Actually he is PhD student in the Technical University of Sofia.

Zahari Zarkov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia

**ЕДНОФАЗЕН ИНВЕРТОР ЗА ВЪЗОБНОВЯЕМИ ИЗТОЧНИЦИ НА ЕНЕРГИЯ,  
СВЪРЗАН С МРЕЖАТА**

Владимир Лазаров, Захари Зарков, Християн Кънчев

Статията е посветена на изследването на еднофазен инвертор, предназначен за свързване на генератори, използващи ВИЕ, с електрическата мрежа. Разработен е компютърен модел на инвертора, който позволява работа при промяна на входящата мощност. Използвана е програмна среда Matlab/Simulink. Показани са резултати от симулациите, които показват работоспособността и адекватността на модела. Разработена е програма за работа в реално време за микропроцесорна система dSPACE, с която са проведени експериментални изследвания. Част от резултатите са показани в статията. Резултатите от симулациите и експериментите доказват физическата адекватност на модела и позволяват неговото използване.

**GRID-CONNECTED SINGLE-PHASE INVERTER FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES**

Vladimir Lazarov, Zahari Zarkov, Hristiyan Kanchev

*This paper is devoted to the study of a single-phase inverter for connection of generator using renewable energy sources (RES) to the utility grid. A computer model of the inverter is developed. The model allows inverter operation with variable in the time input power. Thus the inverter can be easily connected to a DC-DC converter with maximum power point tracking (MPPT) which is commonly used in generators based on RES. A simulation study has been realized using Matlab/Simulink software environment. The simulation results show the physical adequacy of the model. In order to validate the model performance it has been implemented in dSPACE microprocessor board. Experimental tests have been carried out demonstrating the model viability. The results confirmed the physical adequacy of the model and allow its use in the practical control of single-phase inverters for RES.*

**1. Introduction**

As a result to the growing need of reducing the environment pollution, the interest of developing ecologically clean energy sources emerges. For this reason primary sources which do not cause pollution and which are inexhaustible are used, such as the sun, wind, biomasses, etc. The use of these sources implies the development of more efficient electronic power conversion devices with an optimal control. The distributed electricity production concept allows small power plants using renewable energy sources to be grid connected. These can be small photovoltaic plants, wind turbines or thermal plants. In the photovoltaic plants a conversion of the produced electricity is required to interconnect the power network. For the smallest power outputs (under 10kW) the most used inverters are the single-phase inverters [1]. The photovoltaic plants connected to the power network must operate in maximum power output mode of the PV panels. This is achieved by using Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm integrated in the inverter [2]. Usually the inverter consists of two parts [3]: a DC-DC converter with MPPT controller and a DC-AC module (inverter and filter) that produces current with a sinusoidal shape supplied to the power grid (illustrated on fig.1). The main directions of improving the performance of power invertors are: low harmonics in the output current, elimination of the direct current in the output, control of the active and reactive power supplied by the inverter and a digital inverter control [1].

The described converter configuration is not only used with photovoltaic panels but also with small wind turbines [4], gas or water turbines and fuel cells for auxiliary power.

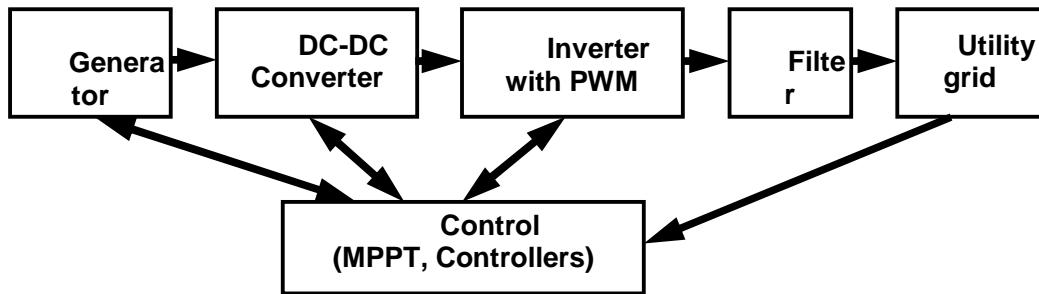


Fig.1. Block-schematic of a generator connected to the grid through a single phase inverter.

In the small single-phase inverters usually control of the reactive power output is not needed. For this reason they operate with a unity power factor, which means that the current supplied to the grid is in phase with the grid voltage [3], [5]. This simplifies the control and also makes the product cheaper. The general schematic of a renewable energy-based generator connected to the grid through a single-phase inverter is shown on fig.2.

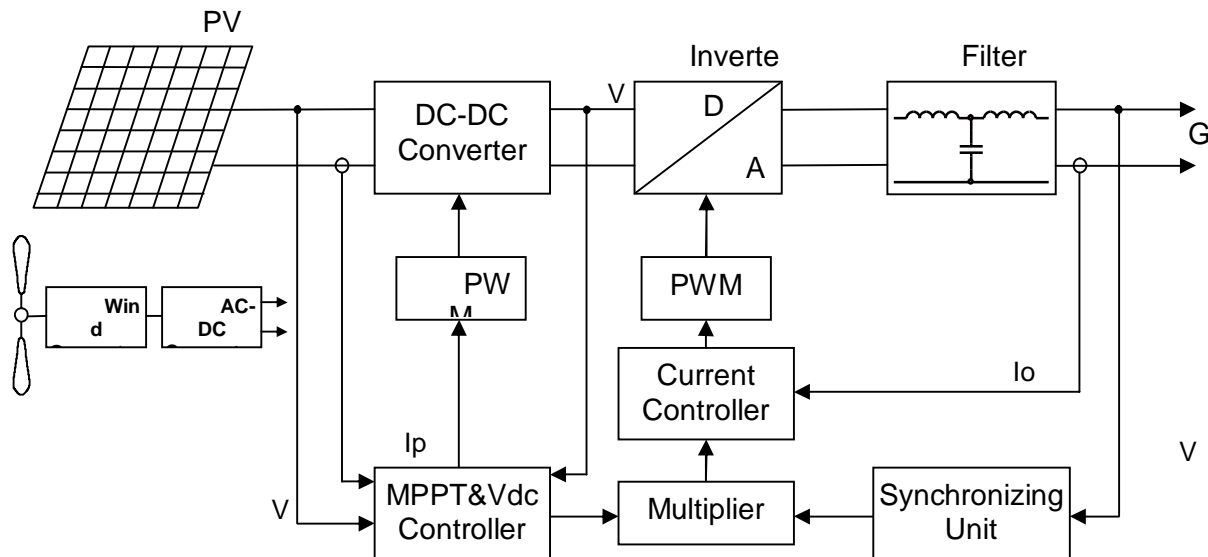


Fig.2. General block diagram of a grid-connected generator with RES.

Although there are many publications in this domain, we can see rarely results illustrating the operation of an inverter with a DC-DC converter and the generator with a variable power output. Besides, often the results are not satisfying, because of the harmonics in the output current supplied to the grid [4], [5].

The goal of this work is to create a computer model of a single-phase inverter for grid connection of small renewable energy-based generators. Using the model the simulation of the inverter's operation with a variable input power can be performed. The model allows different algorithms and strategies to be tested before their real-time implementation. The software environment Matlab/Simulink is relatively fast and the microcontroller programming that can control the inverter and the DC-DC converter is easily achievable.

## 2. Backgrounds

The paper examines the inverter and its control. In order to supply energy to the grid, the inverter current must have a phase angle less than 90° from the grid voltage. This is achieved when the inverter voltage phase is ahead from the grid voltage phase. In fig. 3 is presented a simplified schematic of the inverter's power unit. The inverter produces a sinusoidal voltage by the

means of pulse width modulation (PWM). The filter at the grid connection point usually is only an inductance which also determines the first harmonic of the current supplied to the grid.

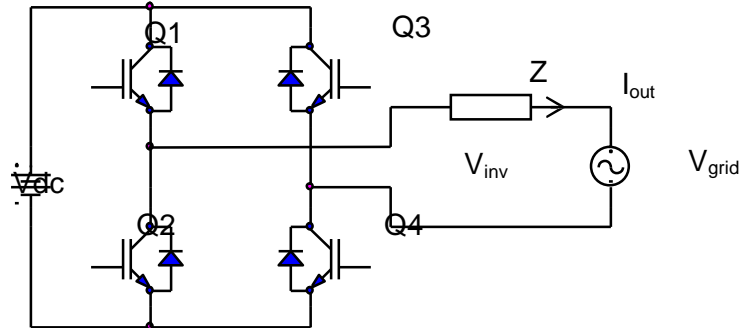


Fig.3. Circuit of the inverter's power stage with connection to the grid.

At low powers, the active resistance between the inverter and the grid cannot be neglected. It is determined by the active resistance of the inductive coil, the conductors and also by the resistances of the power bridge's transistors. In this case the output grid current is determined by the impedance  $Z$  between the inverter and the grid and by the difference between the two voltages:

$$V_Z = V_{inv} - V_{grid}, \quad I_{out} = \frac{V_{inv} - V_{grid}}{Z}, \quad (1)$$

where  $V_Z$  is the voltage drop on the impedance  $Z$ ,  $V_{inv}$  is the RMS value of the first harmonic of the inverter's output voltage and  $V_{grid}$  is the grid voltage.

The phasor-diagram corresponding to (1) is shown on fig.4a.

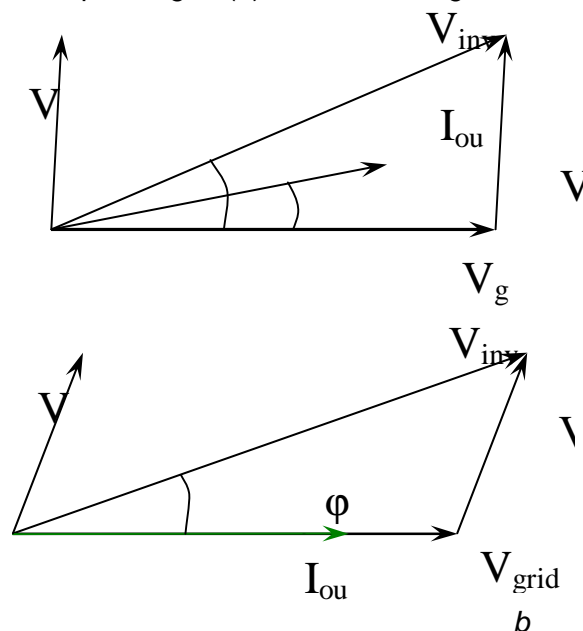


Fig.4. Phasor-diagram of the voltages and currents of the single-phase inverter.





In this figure, the phase angle between the current  $I_{out}$  and the voltage  $V_Z$  is less than  $90^\circ$  because of the active-inductive character of the impedance  $Z$ . In real conditions  $\varphi=0$ , so the current and the grid voltage are in phase. In this case the phasor-diagram is as shown of fig.4b.

### 3. Matlab/Simulink model of a single-phase inverter

One of the principal problems of a grid-connected inverter operating with renewable energy sources is the variable power that the generator produces. Thus, a DC-DC converter should be used to supply the inverter power unit with a DC voltage and current, which values however fluctuate with the time. The need of coordination of the inverter and DC-DC converter powers occurs. A reliable method performing this is to maintain the voltage in the DC-circuit  $V_{dc}$  constant. So, the inverter control consists of two control loops:  $V_{dc}$  at the power stage input and  $I_{out}$  at the inverter output, which is a slave control loop (fig.2). The current reference has to be sinusoidal and in phase with the grid voltage  $V_{grid}$ . Its amplitude is determined by multiplying a true sinusoidal signal with the output voltage of the  $V_{dc}$  controller as shown on fig.2. The sinusoidal signal is formed by a synchronizing circuit connected to the grid voltage. When the  $V_{dc}$  voltage is constant, the current coming from the DC-DC converter is equal to the inverter input current and the inverter supplies to the grid all the output power from the DC-DC converter.

The synchronizing circuit can form the sinusoidal signal in two ways [1]. The first is using directly the grid voltage (after converting its value to a lower one). This way is simple and reliable, although it has some inconvenient: the grid voltage at the connection point can contain some distortions, parasite signals and other defects. The second method is to use a Phase locked loop system (PLL). The PLL gives a clean sinusoidal signal with permanent amplitude and in phase with the grid voltage [6].

To form the inverter output voltage, PWM is normally used with a carrier frequency of 5-10 kHz to obtain a current with minimum harmonic content.

The modulation can be made in two ways [7]:

- Using a Sliding mode control SMC;
- With classic PWM method.

The first method gives good results because it is robust in the presence of parameter uncertainties and disturbances and the current ripples are constant. Its disadvantage is the non-constant switching frequency which can become very high if the required current ripples are small. Also, this method is hard to be digitally implemented because the current change has to be observed in real time. This implies the use of an external hysteresis comparator.

In this research the classical PWM method is chosen. The whole system is modeled and simulated using Matlab/Simulink.

The general structure of the proposed model is shown on fig.5

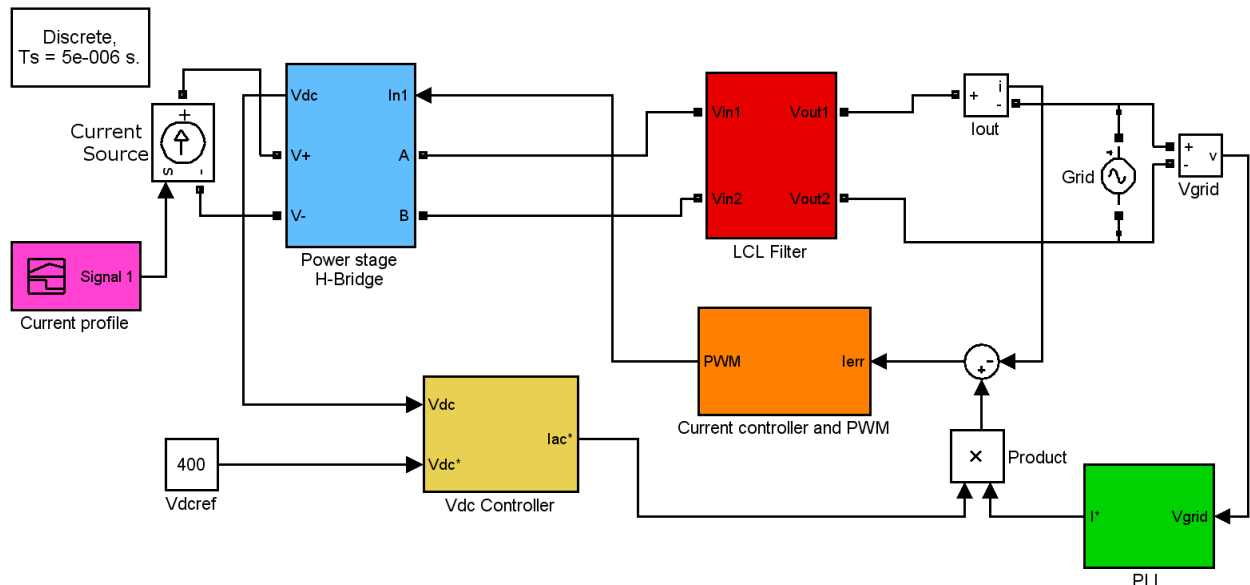


Fig.5. General structure of the proposed model in Simulink.

On fig.5 the controlled current source simulates the variable current from the DC-DC converter. The current profile is taken from the signal generator (Signal 1). The DC circuit voltage reference is 400V which is a normal value for a single-phase inverter operating with a grid voltage with maximum value of 330V (RMS value 232V). The  $V_{dc}$  controller is PI with a large time constant because it must not react to the voltage changes due to the pulsations of the current drawn by the inverter. Otherwise, ripples with 100Hz frequency appear at the controller output and they cause a distortion of the sinusoidal signal from the PLL after the multiplying. Thus, inverter output current harmonics appear. The current regulator is also type PI with a large gain for 50Hz frequency maintaining the current close to the reference signal.

The filter used is not only inductive, but a LCL – two inductances and a capacitor. It eliminates the high frequency pulsations of the current supplied to the grid. When using a LCL filter better results are obtained as shown by the simulation results. The inverter's power unit is a full bridge with 4 IGBT type transistors and 4 diodes as shown on fig.3.

#### 4. Simulation results

With this model several simulations have been performed at different operation conditions. The parameters of the system are:

- Inverter rated power: 1,5 kW at grid voltage 220V/50Hz
- PWM switching frequency – 10kHz;
- Filter -  $L1=5\text{mH}$ ,  $C=20\mu\text{F}$ ,  $L2=1\text{mH}$ ;
- Inverter input capacitance – 2000 $\mu\text{F}$ .

The most representative simulation results are shown next.

Figure 6 shows the voltages and currents at the inverter grid side. It illustrates the current controller, PWM and the filter operation. The output current is in phase with the grid voltage. High-frequency current ripples are very well filtered. However there are small distortions in the current reference due to the non-constant output voltage of the  $V_{dc}$  controller.

In fig.7 are presented the results of the model with variable input power. The input power variation is simulated by variation of the inverter input current – upper curve. The voltage controller calculates the value of the AC current at the inverter output and thus maintains  $V_{dc}$  constant.  $V_{dc}$  is presented on the second graph. His changes are in the limits of  $\pm 10\text{V}$ , which is  $\pm 2,5\%$  from the desired value of 400V. The third graph shows the RMS value of the output current  $I_{out}$ . On the last



graph is the active power supplied to the grid. It is clearly visible that the output current and active power are following the curve of the input current which demonstrates a power balance and controllers fluent operation.

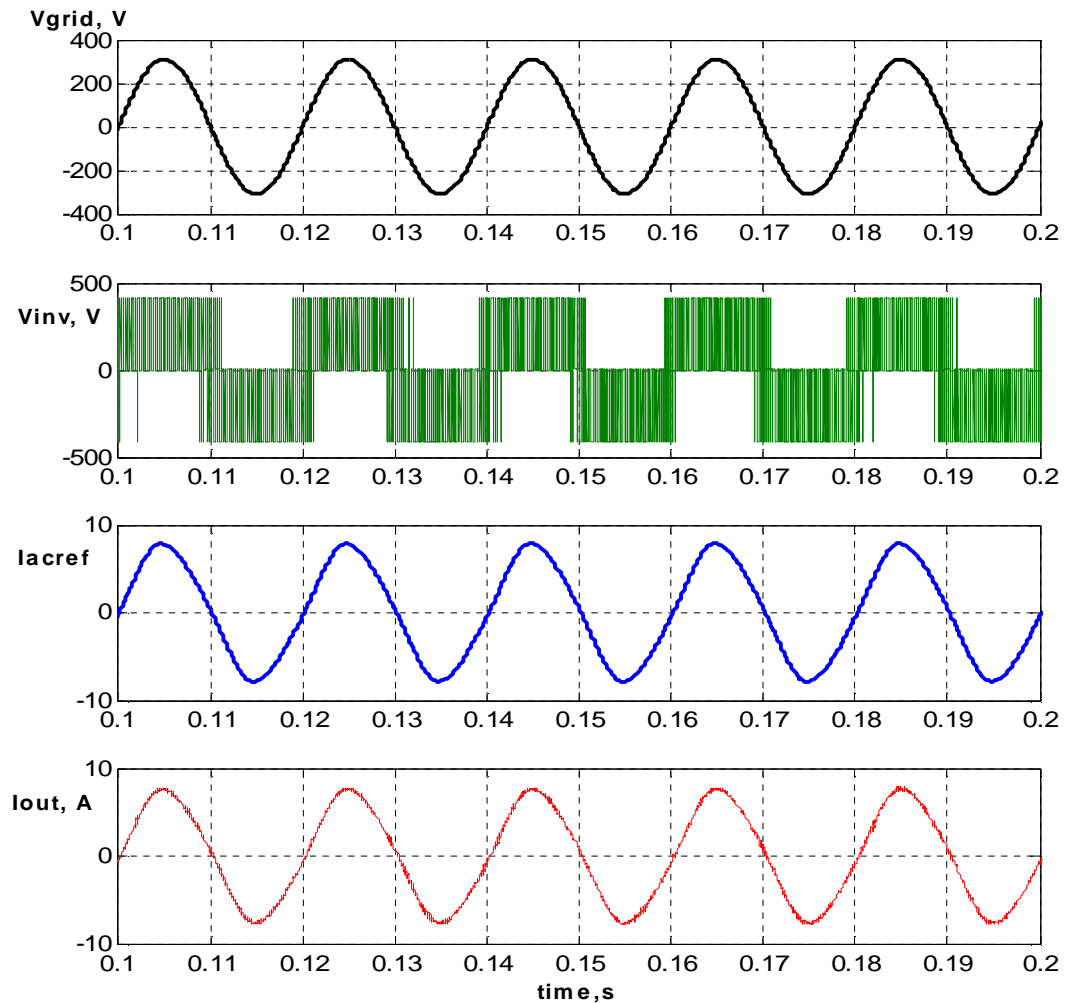


Fig.6. The inverter output currents and voltages.

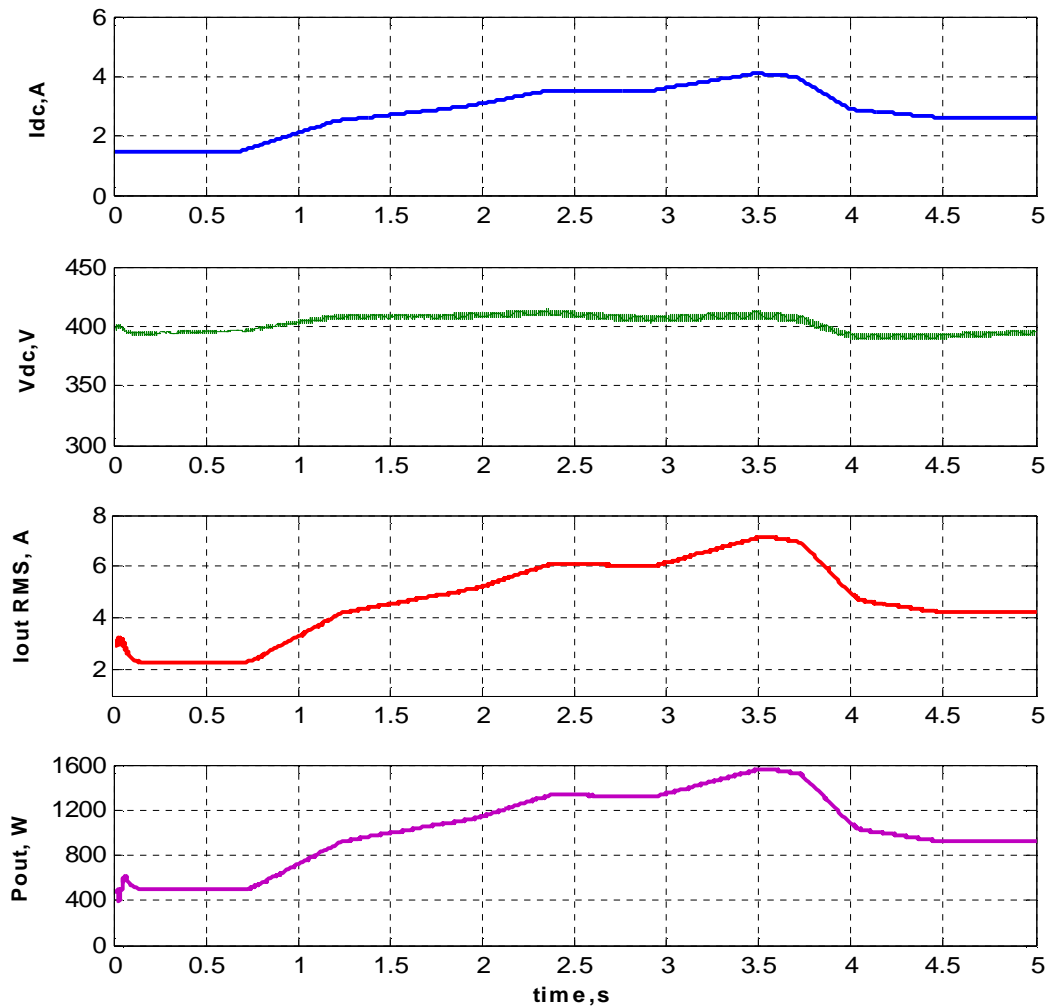


Fig.7. Curves of the currents and voltages at the inverter output. On top is the DC current at the inverter input  $I_{dc}$ ; Inverter input voltage  $V_{dc}$ ; RMS value of  $I_{out}$ ; active power supplied to the grid.

## 5. Experimental results

Based on this model, software for a dSPACE programmable controller is developed and several experimentations are carried out. The operation of the synchronization block is verified with the test-bench shown on fig.8. The grid voltage is lowered by a measuring transformer, and then it is digitalized by one of the ADC on the dSPACE board. The PLL is implemented digitally in the microprocessor. To verify its operation, the output signal is passed through a DAC and then observed with an oscilloscope. The results are shown on fig.9 and fig.10. On fig.9 is presented the synchronization of the PLL output signal with the grid voltage when initializing the software. It is clearly visible that the synchronization is fast enough – in 3 periods the two signals are already in-phase.

In fig.10 is presented the operation in steady state. The signal generated from the PLL is sinusoidal (even though the grid voltage has some defects) and is exactly synchronized with the grid voltage.

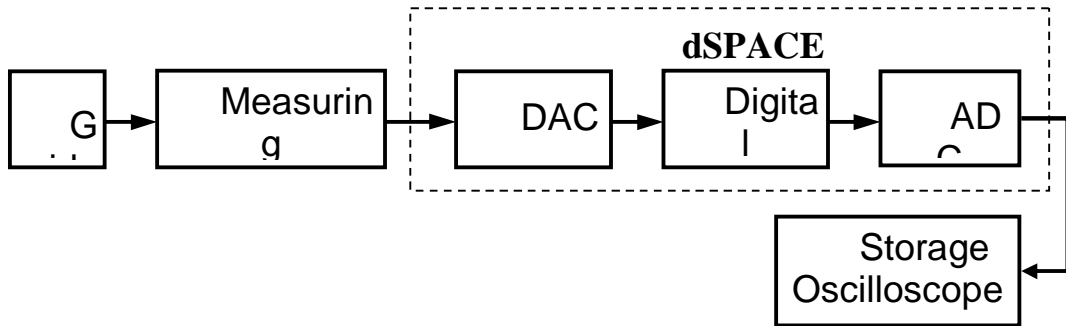


Fig.8. Block diagram of the experimental test-bench.

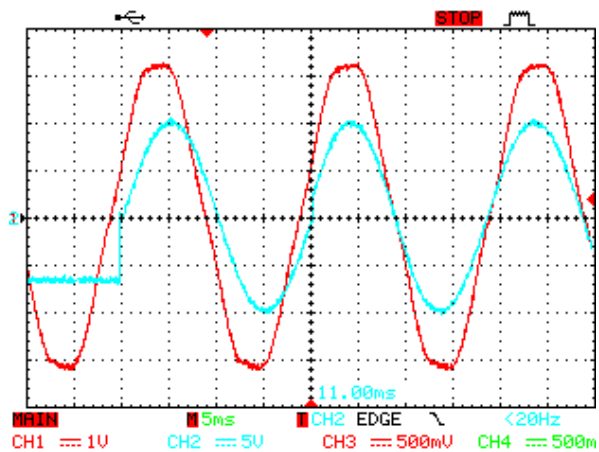


Fig.9. Synchronization of the PLL signal (CH2) with the grid voltage (CH1) after the initialization.

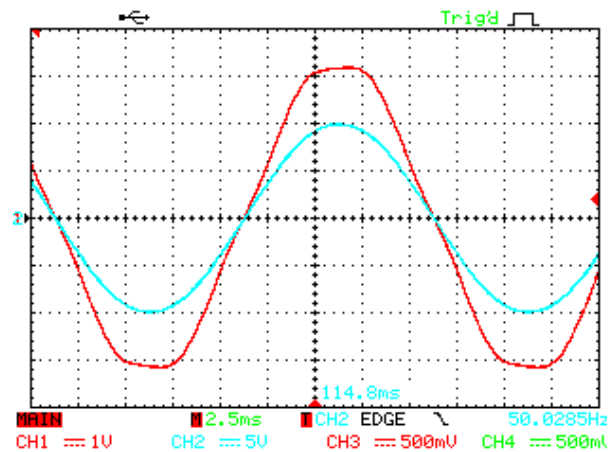


Fig.10. The PLL signal (CH2), synchronized with the grid voltage (CH1).

## 6. Conclusions

This paper is focused on the simulation of a RES power system before its real-time implementation. The structure of a renewable energy based generator connected to the grid through a single-phase inverter is presented. Other main results are:

- A computer model of a grid connected single-phase inverter operating with variable input power is developed.
- The simulation results show flawless work of the model.
- The developed current controller follows exactly the current reference and the output current ripples are non-considerable.
- The voltage controller maintains a correct balance between the generator and the inverter power.
- The model presented can be developed to control also the reactive power supplied to the grid.
- A part of the model is tested in real-time application and the experimental results are satisfactory.
- The model can be used to develop a real-time system for controlling a low-power inverter for a renewable energy generator.

## Acknowledgment



The authors would like to thank the Bulgarian Ministry of Education and Science, National Science Fund - contract EE 106/07 for the financial [support](#).

## References

- [1] Didat, J.R., I. Meny, P. Enrici, D. Matt. "Modeling and experimental testing of a grid-connected small Wind Energy Conversion System". EWEC 2006, Athens, Greece, 27 February - 2 March 2006.
- [2] Ciobotaru, M., R. Teodorescu and F. Blaabjerg. "Control of Single-Stage Single-Phase PV Inverter". Proc. of EPE'05, ISBN: 90-75815-08-5.
- [3] Chayawatto, N, et al. "DC-AC switching converter modelings of a PV grid-connected system under islanding phenomena". Renewable Energy, Elsevier, 2009, doi:10.1016/j.renene.2009.05.002
- [4] Nayar, C., H. Dehbonei and L. Chang. "An IGBT Inverter for Interfacing Small Scale Wind Generators to Single Phase Distributed Power Generation System". Proc. Solar 2004: Life, the Universe and Renewables, 30 November -3 December 2004, Murdoch University, Western Australia.
- [5] Marisa, T.I., St. Kourtesib, L. Ekonomouc, G.P. Fotisd. "Modeling of a single-phase photovoltaic inverter". Elsevier, Solar Energy Materials & Solar Cells, 91, 2007, pp. 1713-1725.
- [6] Arruda, L.N., S.M. Silva and B.C. Filho. "PLL Structures for Utility Connected Systems", Proc. of IAS'04, vol. 4, 2004, pp. 2655-2660.
- [7] Минчев, М., Й.М. Шопов, Е. Рац. "Преобразователна техника". С., Авангард Прима, 2006. ISBN: 954-323-233-4.

## Information about the authors:

Vladimir Lazarov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia and is responsible for the "Laboratory on Renewable Energy Sources".

Zahari Zarkov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia.

Hristiyan Kanchev is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia. Actually he is PhD student in the Technical University of Sofia.



## ЙОННО-ПЛАЗМЕНО ЕЦВАНЕ И ФУНКЦИОНАЛИЗИРАНЕ НА ПОЛИ(ДИМЕТИЛСИЛОКСАНОВИ) ПОВЪРХНОСТИ

Петър Динев, Тодорка Владкова, Диляна Господинова, Иван Керанов

**Резюме:** Изследвани са възможностите на йонно-плазмено обработване с потопен в плазма поток от аргонски йони на поли(диметилсилоксанови) повърхности в инертна среда и следващо окисление във въздух при атмосферно налягане. Изследвано е окислението на полимерните повърхности, промяната на техния химичен състав и минерализацията на поли(диметилсилоксана) чрез ESCA- спектроскопия. Изследвана е още топографията и параметрите на грапавостта на модифицираните повърхности чрез AFM- микроскопия. Определени са равновесния ъгъл на умокряне, повърхностното напрежение с неговите две компоненти – полярната и дисперсната, и промяната на полярността на окислената повърхност след ецване и функционализиране.

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Използването на полимери като *биоматериали*, т. е. като материали, които влизат в непосредствен контакт с тъкани, белтъци, храни, кръв и други биологични субстанции изисква решаването на нови проблеми, свързани с т. нар. биосъвместимост (англ. *bioscompatibility*). Развитието на този вид полимерни материали започва със създаването на инертните биоматериали, които се характеризират с ниска адсорбция на протеини и слаби взаимодействия с кръв, живи тъкани и клетки, и стоят в основата на производството на протези, катетри, сърдечни стимулатори.

Появата на *биохибридни технологии* насочва търсенето към създаването на нови биоинтегриращи се материали, които имат активно поведение към тъканите като стимулират закрепването и образуването на клетъчна матрица, която може да стане предпоставка за регенериране на тъканта. Заговори се дори за „интелигентни” материали, които управляват биологичната среда около себе си и предизвикват собственото си интегриране в нея.

*Началните клетъчни взаимодействия* зависят от свойствата на полимерната повърхност - от повърхностната енергия и способността за мокрене; хетерогенността, микрорелефа и грапавостта на повърхността; повърхностните електрически заряди; химичния състав и присъствието на определени функционални групи. Проблемите на междофазовия контакт вече могат да бъдат решени чрез управление на свойствата на целесъобразно създадени, подходящи по предназначение, тънки повърхностни (наноразмерни) слоеве върху полимерната повърхност.

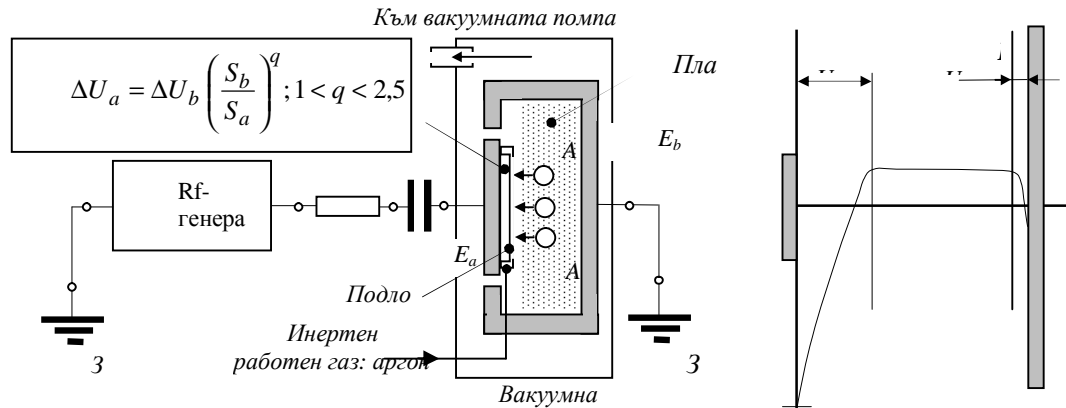
*Полидиметилсилоксанът*  $[(H_3C)_3SiO[Si(CH_3)_2O]_nSi(CH_3)_3]$ , *PDMS*, *poly(dimethylsiloxane)*] е един от най-широко използваните силициево-органични материали за производство на контактни лещи и еластомери с медицинско приложение. Известен повече като силиконов каучук, *PDMS* е също така един от най-широко използваните инертни полимерни биоматериали за производство на сензори, подложки за култивиране на клетки, микрочипове, импланти - най-вече заради добрата му биоинертност, мекотата и еластичността, стабилността и прозрачността, и възможността да бъдат управлявани топографията и микрорелефа на повърхността и повърхностните механични свойства в зависимост от изискванията на физиологичната среда. Отсъствието на активни функционални групи и силно хидрофобното поведение на *PDMS*- повърхностите пречат за химичната им модификация и подобряването на техните свойства за реализиране на клетъчни взаимодействия, [1, 2].

*Плазменото окисляване и ецване* (англ. *plasma etching, PE*) на *PDMS*- повърхностите води до промяна на химичния състав и поява на кислород съдържащи *силанолови* (SiOH) *групи*. Това третиране прави повърхността хидрофилна, т. е. тя се мокри от вода и водни

разтвори. Окислената PDMS- повърхност открива възможности за: присадителна съполимеризация на мономери, подобряваща взаимодействията с клетки; създаване на нагънат микрорелеф (патерниране) или на повърхностни (микро- и наноразмерни) структури чрез електронна или йонна литография, [1, 2 и 3].

Известни са също така практики, [8, 9], при които PDMS- повърхностите се подлагат на линейно йонно (англ. *argon ion beam etching, IBE*) или реактивно йонно ецване (англ. *reactive ion beam etching, RIE*) за изграждане на нови повърхностни структури и промяна на химичния състав. Тук трябва да се прибави и практиката на т. нар. потопена в плазма йонна имплантация (англ. *plasma immersion ion implantation, PIII*), която използва създадения вътре във високочестотна плазма йонен поток за имплантиране на различни по природа йони и отлагане на тънки слоеве, [4, 5 и 6].

Съществуването на тези практики определи основната идея на това изследване, която се състои в използването на нов технологичен инструмент, който едновременно (или последователно) разрушава (ецва) и химически функционализира обработваната PDMS-повърхност, с което определя един по-голям ефект и стабилност на последващата реорганизация на повърхността.



**Фиг. 1.** Капацитивно свързан радиочестотен (RIE- радиочестотен разряд, [6, 7]) разряд (а) в асиметрична плоско-паралелна електродна система (RIE – конфигурация) и разпределение на потенциала в междуелектродната междина (б).

$S_a$  и  $S_b$  – площ на двата електрода;  $\Delta U_a$  и  $\Delta U_b$  – постоянни приелектродни падове;  $q$  – степенен показател, в общия случай заема стойност около  $q = 2$ .

## 2. Експериментални изследвания

Капацитивно поддържаният радиочестотен разряд (англ. *capacitive coupled radio-frequency discharge*) във вакуум се използва широко при организирането на индустриални процеси. Представената на фиг. 1 плоско-паралелна геометрия стои в основата на изграждането на диоден плазмен реактор с разстояние между електродите от 1 до 3 cm и захранващо напрежение от 100 до 1000 V при честота 13,56 MHz. За анизотропно ецване в диоден реактор, практикувано в микроелектронната индустрия, се дават следните характеристики: налягането -  $10^3 \div 10^4$  Pa ( $10 \div 100$  mTorr); повърхнинната плътност на мощността -  $0,1 \div 1,0$  W/cm<sup>2</sup> (мощност от 50 до 2000 W); концентрацията на йонизирани частици -  $10^9 \div 10^{11}$  cm<sup>-3</sup>; и голям, пад на напрежение – 200 ÷ 1 000 V, ускоряващ йоните. Средната енергия на електроните е от 3 до 8 eV, а разпределението им по енергия (и скорости) е максвелово. Диаметърът на подложките е от 10 до 50 пъти по-голям от междуелектродното разстояние, [6].

Предположението, че IPE- (англ. *ion plasma etching*) конфигурация на диодния плазмен реактор, т. е. свързването на кондензатора  $C_b$  последователно откъм високоволтовия електрод  $E_a$  на асиметричната диодна система, определя формирането на





йонен поток, насочен перпендикулярно към повърхността на подложката  $S$ , потопен вътре в самата плазма, характеризира т. нар. анизотропно ецване. Големият пад на напрежение върху приелектродната област  $S_a$  ( $200 \div 1\,000$  V) създава (ускорява и насочва) поток от аргонни ( $Ar^+$ ) йони, бомбардиращи повърхността на обработваните проби  $S$ , Фиг. 1а. Обратното свързване на кондензатора  $C_b$ , откъм заземяния електрод, се отнася до друга конфигурация на диодната технологична система, която стои в основата на традиционното изотропно или *PE*- (англ. *plasma etching*) плазмено ецване на повърхността, [7].

Потопеният в плазмата поток от химически инертни аргонни йони (, англ. *argon ion beam immersed in plasma, AIBIP*) създава допълнително условия за активно разпръскване и реорганизиране на повърхността, съпроводено с нейното функционализиране в инертната вакуумна среда. Този процес е известен в българската литература като процес на йонно-плазмено третиране или ецване, което може да бъде проведено или в инертна, или в химически реактивна среда, [10,11]. В тази работа ще бъде използвано българското наименование, като уточнението е за йонно-плазмен процес, развиващ се в инертна атмосфера на аргон, който е последван от окисляване във въздушна атмосфера при атмосферно налягане и стайна температура.

Съществуват два варианта за окисляване на йонно-плазмено третираните *PDMS*-повърхности:

- паралелно на йонно-плазменото третиране или директно окисляване във вакуумната камера като се използва химически реактивна атмосфера, или изцяло в реактивен газ (кислород), или в газова смес при различни съотношения на реактивен (кислород) и инертен (аргон) газ;

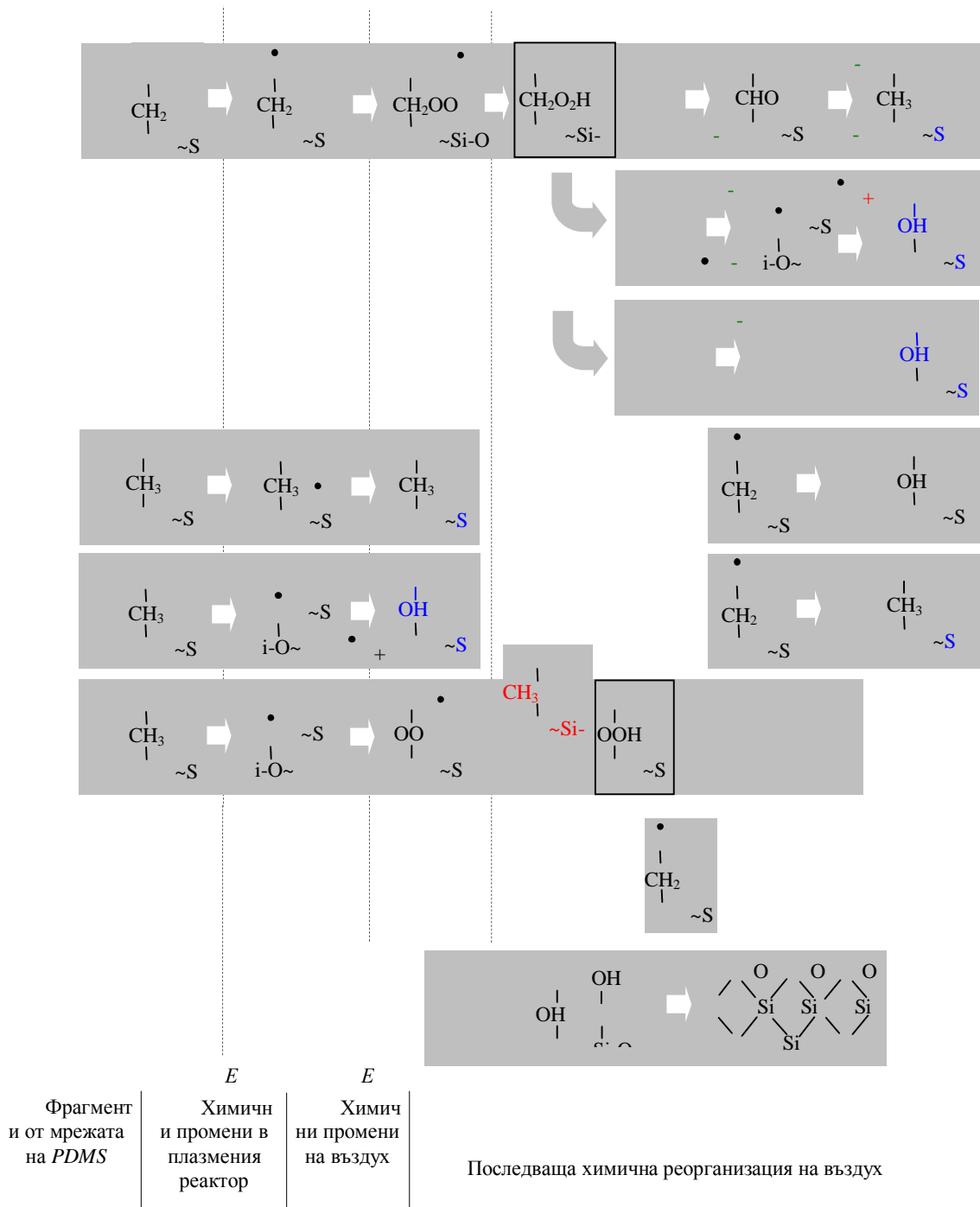
- последователно на йонно-плазменото третиране или окисляване във вакуумната камера, като йонно-плазменото обработване се извършва изцяло в химически инертна вакуумна атмосфера (на аргон) – това отговаря на ецването с потопен в плазма аргонен йонен сноп, а химичните промени се осъществяват след това във вакуумната камера в реактивна атмосфера – въздух при атмосферно налягане и стайна температура.

Вторият, или двуетапният, вариант на окисляване на *PDMS*- повърхностите се възприема като по-подходящ за едно начално изучаване на технологичния процес поради сложността и множествеността на химичните превръщания. Едновременното протичане на процеси на разрушаване (физични и химични) и на окисляване създава картина много по-сложна за изучаване от случая на последователно реализиране на окисляването на *PDMS*-повърхностите, непосредствено след йонно-плазменото третиране. Възприема се за изследване двуетапния процес на разрушаване на инертната повърхност и следващо окисляване във въздушна среда, във вакуумната камера при атмосферно налягане и стайна температура.

В резултат на йонно-плазменото обработване при ниско налягане се очаква да се получат върху повърхността на *PDMS*- подложки (пробни тела) множество радикали по един от следните три начина: *i*) чрез разкъсването на напречни  $CH_2-CH_2$ - връзки и извличането на водороден атом от  $-CH_3$  групи (случай А, Фиг. 2); *ii*) чрез разкъсването на главната верига  $-Si-O-$  (случай В, Фиг. 2); *iii*) чрез елиминирването на  $-CH_3$  и  $-CH_2$  групи (случаи С и D, Фиг. 2). Естествено е част от радикалите да рекомбинират още във вакуумната камера и да образуват химично неактивни частици и нови радикали.

Очаква се веднага, още в първите минути, след изваждането на *PDMS*- подложките във въздушна атмосфера, голяма част от образувалите се радикали бързо да се окислят до пероксиди и хидропероксиди (фрагментите в правоъгълници, случаи А и D, Фиг. 2), които при нагриване лесно се разпадат, както и да се произведат много силанолови групи (случаи В и С, Фиг. 2).

Последващата химическа реорганизация на повърхността протича във времето след това, като в повечето от случаите завършва с получаването на нови силанолови групи ( $SiOH$ ) - случаи  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$ ,  $C-A_1$ ,  $C-A_2$  и  $C-A_3$ ) и  $-Si-O-Si-$  и  $-Si-O-C-$  връзки.



**Фиг. 2.** Схема на двустепенно окисляване на PDMS- повърхности: първи етап – йонно-плазмено разрушаване (ецване) в инертен газ (аргон); втори етап – окисляване в реактивна среда – във въздушна среда при атмосферно налягане и стайна температура.

Силололовите групи на повърхността на полимера са интересни с това, че заедно с образувалия се с тяхно участие минерализиран повърхностен слой могат да определят трайното хидрофилизиране на повърхността на PDMS, Фиг. 2.

Йонно-плазменото ецване се провежда при налягане (във вакуум)  $2,67 \times 10^4$  Pa (200 mTorr), в инертната среда на аргон, като се променя мощността на разряда – 100, 1 200 и 2 500 W, на която отговарят следните стойности на повърхнинната плътност на мощността – 0,1; 1,2 и 2,2 W/cm<sup>2</sup>. Времето на обработване се променя на три равнища: 60, 300 и 600 s.



Химичният състав на повърхността на *PDMS*, и неговите промени след йонно-плазмено третиране и окисляване, са проследени чрез електронна спектроскопия за химически анализ (*ESCA*, *XPS*). Свързващата енергия е характеристика на атомите на повърхността (на дълбочина до 5 nm). *ESCA*- анализът е реализиран с помощта на фотоелектронния спектрометър *VGS ESCALAB Mk II* с монохроматичен радиационен източник *AlK<sub>α</sub>* (*FWHM* = 0,5 eV).

Сравнителни изследвания на топографията и грапаковостта на повърхнините се осъществяват чрез сканираща атомно силова (*AFM*, *atomic force microscopy* или *SFM*, *scanning force microscopy*) микроскопия с апарат на фирмата *Anfatec Instruments AG*, Германия, с вертикална разделителна способност до 0,2 nm. Повърхностите са изследвани сравнително и със сканираща електронна спектроскопия (*SEM*) върху апарат *Jeol Super Probe 733*.

Хидрофилно-хидрофобният баланс на повърхността, повърхностното напрежение и неговите компоненти, поляризацията на повърхността на *PDMS* се определят чрез измерване на равновесния ъгъл на умокряне по метода с две течности - дестилирана вода и метилен йодид (*CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>*). Трайността на извършената реорганизация на повърхността на *PDMS* е определена чрез изменението на граничния ъгъл на умокряне при съхранение на пробите при нормално атмосферно налягане и стайна температура в границите на 720 h (30 d).

### 3. Експериментални резултати и дискусия

#### *Промяна на химичния състав на модифицираните PDMS- повърхности*

Химичният състав на повърхността след модификация, определен чрез общия *ESCA*-спектър, е представен в Табл. 1. Наблюдава се характерното за плазмено модифицирани (окислени) повърхности на *PDMS* рязко намаляване на съдържанието на въглерод (*C<sub>1s</sub>*) на повърхността, съпроводено с значително нарастване на съдържанието на кислород (*O<sub>1s</sub>*) и на силиций (*Si<sub>2p</sub>*). Промените явно се дължат на физично разпръскване и химично извличане на въглерод, съпроводено с образуването на летливи продукти след окисляване. Според много автори реорганизацията на повърхността на *PDMS* води до образуването на минерализиран (подобен на *SiO<sub>2</sub>*) повърхностен слой, който съдържа още малко количество окислени въглеродни частици и силанол (*SiOH*), Фиг. 2.

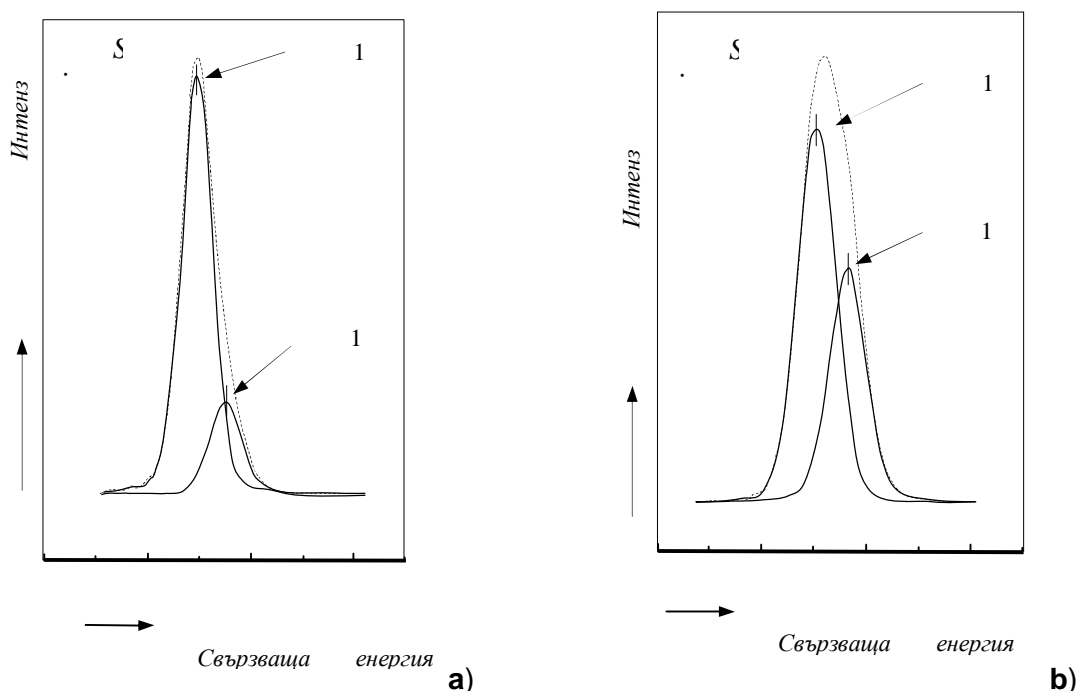
**Таблица 1.** Химичен (елементен) състав на повърхността на *PDMS*.

Проби		Химичен (елементен) състав на повърхността, ат. %				
		<i>C<sub>1s</sub></i>	<i>O<sub>1s</sub></i>	<i>Si<sub>2p</sub></i>	nC/nSi	nO/nSi
PDMS нетретиран		49,7	24,5	25,8	1,93	0,95
PDMS плазмено третиран	0,1 W/cm <sup>2</sup> ; 60 s	37,9	35,0	27,1	1,39	1,29
	1,2 W/cm <sup>2</sup> ; 60 s	18,6	49,4	31,0	0,60	1,60
	2,2 W/cm <sup>2</sup> ; 60 s	18,8	49,2	31,0	0,63	1,59
	1,2 W/cm <sup>2</sup> ; 300 s	18,5	49,4	29,9	0,62	1,65
	1,2 W/cm <sup>2</sup> ; 600 s	18,0	49,9	31,1	0,58	1,60

Забелязва се, че увеличаването на повърхнинната плътност на мощността над 1,2 W/cm<sup>2</sup> и на продължителността на йонно-плазменото третиране над 60 s не носи силно различаващо се изменение на химическия състав. Този факт определя избора на операционен режим на йонно-плазмено третиране (60 s; 1 W/cm<sup>2</sup>), който се възприема като

ефективен по отношение на преследваните максимални промени в химичния състав на повърхността на *PDMS*.

Хипотезата за частична минерализация на повърхността на *PDMS*, в резултат на йонно-плазмено ецване, окисляване и реорганизация, намира потвърждение в резултатите от *ESCA*-анализа на подробния  $Si_{2p}$  максимум. Наблюдението върху *ESCA* максимума при 103,7 eV (за  $SiO_x$ ) показва, че след модификацията интензитетът на този пик рязко нараства даже при най-ниска интензивност на процеса на йонно-плазмено третиране ( $0,1 W/cm^2$ ), като зависи от операционните условия – времето на йонно-плазмено третиране и повърхнинната плътност на мощността, фиг. 3.

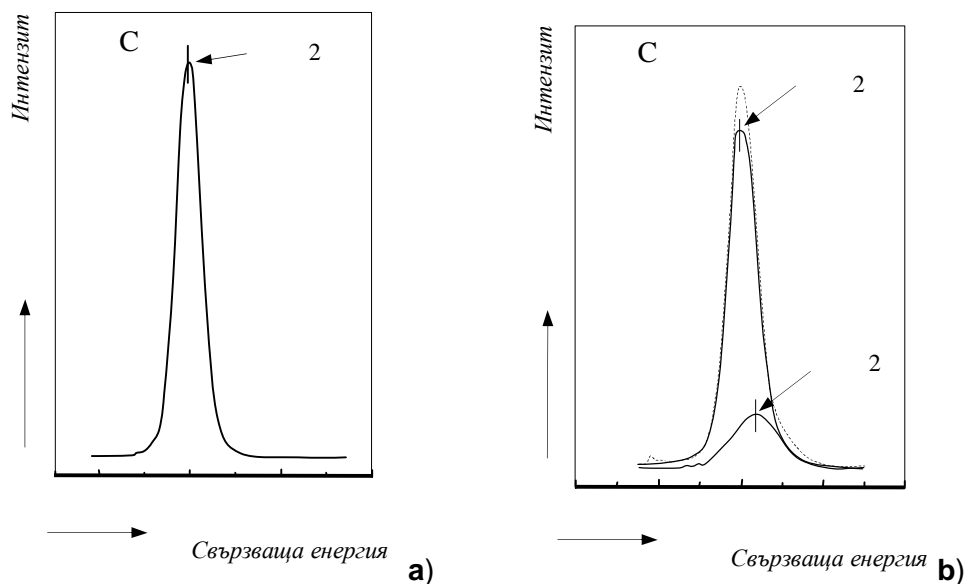


**Фиг. 3.** Подробен *ESCA*-спектър на  $Si_{2p}$  пик и характерни съставни пикове на *PDMS*:  
**a** – немодифицирана (изходна) повърхност на *PDMS*; **b** – йонно-плазмено третиран и окислен *PDMS* при повърхнинна плътност на мощността  $0,1 W/cm^2$  и продължителност на обработване 60 s.

Тези резултати потвърждават, че предприетата модификация води до получаването на частично минерализиран повърхностен слой, подобно на слоя, който се получава след бомбардиране с линеен аргонов сноп (англ. *argon linear ion beam bombardment*), т. е. при тези условия на йонно-плазмено третиране се получават резултати аналогични на обработването с линеен йонен сноп.

Този резултат произтича от елиминирането на  $-CH_2$  или  $-CH_3$  групи на изходния полимер и образуването на нови  $Si-O-Si$  и  $Si-O-C$  връзки. Трябва да се подчертае още, че много от пътищата, водещи до образуването на силанолови групи на повърхността на *PDMS*, фиг. 2, водят и до образуването на  $-Si-O-Si-$  мрежа (химична реорганизация Е, Фиг. 2).

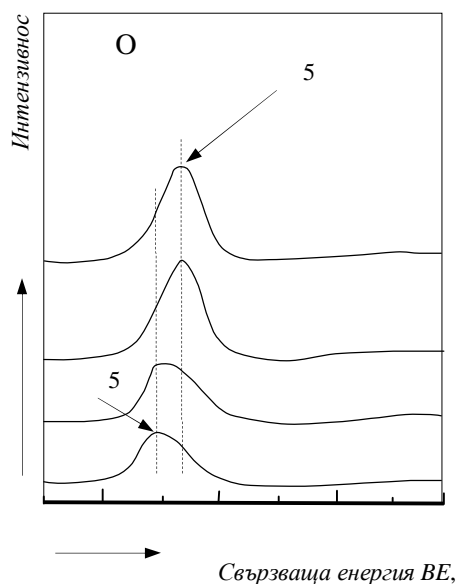
Така промененият химичен състав се запазва трайно, вероятно поради образуването на сложна армираща мрежа от  $SiO_xC_yH_z$ , която предотвратява последващата реорганизация на модифицираната повърхност на *PDMS* във времето при съхранение.



**Фиг. 4.** Подробен ESCA-спектър на  $C_{1s}$  и характерни съставни пикове на PDMS: **a** – немодифицирана (изходна) PDMS повърхност; **b** – йонно-плазмено третиран и окислен PDMS при плътност на мощността  $2,2 \text{ W/cm}^2$  и продължителност на обработване 60 s.

Подробният  $C_{1s}$  спектър на немодифицирания PDMS съдържа един единствен пик, центриран при  $285,0 \text{ eV}$ , отговарящ на  $-\text{CH}_2$  и  $-\text{CH}_3$  групи, свързани към Si атом, Фиг. 4a.

Всички йонно-плазмено третирани и окислени проби съдържат още един характерен пик при  $285,9 \text{ eV}$ , изместен към по-високи свързващи енергии в областта на кислородните връзки, което разкрива появата на окислени въглеродни атоми на повърхността на PDMS, Фиг. 4b.



**Фиг. 5.** Подробен ESCA-спектър на  $O_{1s}$  и характерни съставни пикове на PDMS:

**1** – немодифициранд (изходна) повърхност на PDMS;

**2, 3** и **4** – йонно-плазмено третиран и окислен PDMS при продължителност на обработване 60 s

Образуването на кислород съдържащи групи с въглеродни атоми, в резултат на предприетата йонно-плазмена модификация на повърхността, се потвърждава и от подробните ESCA спектри на  $O_{1s}$ , фиг. 5. На немодифицираната PDMS-повърхност съответства само един характерен пик при  $532,1 \text{ eV}$  (за свързан със силиций кислород: Si-O).

Втори максимум се появява в ESCA-спектъра при  $533,5 \text{ eV}$  след йонно-плазмена модификацията и окисляване, което според много автори е резултат от образуването на



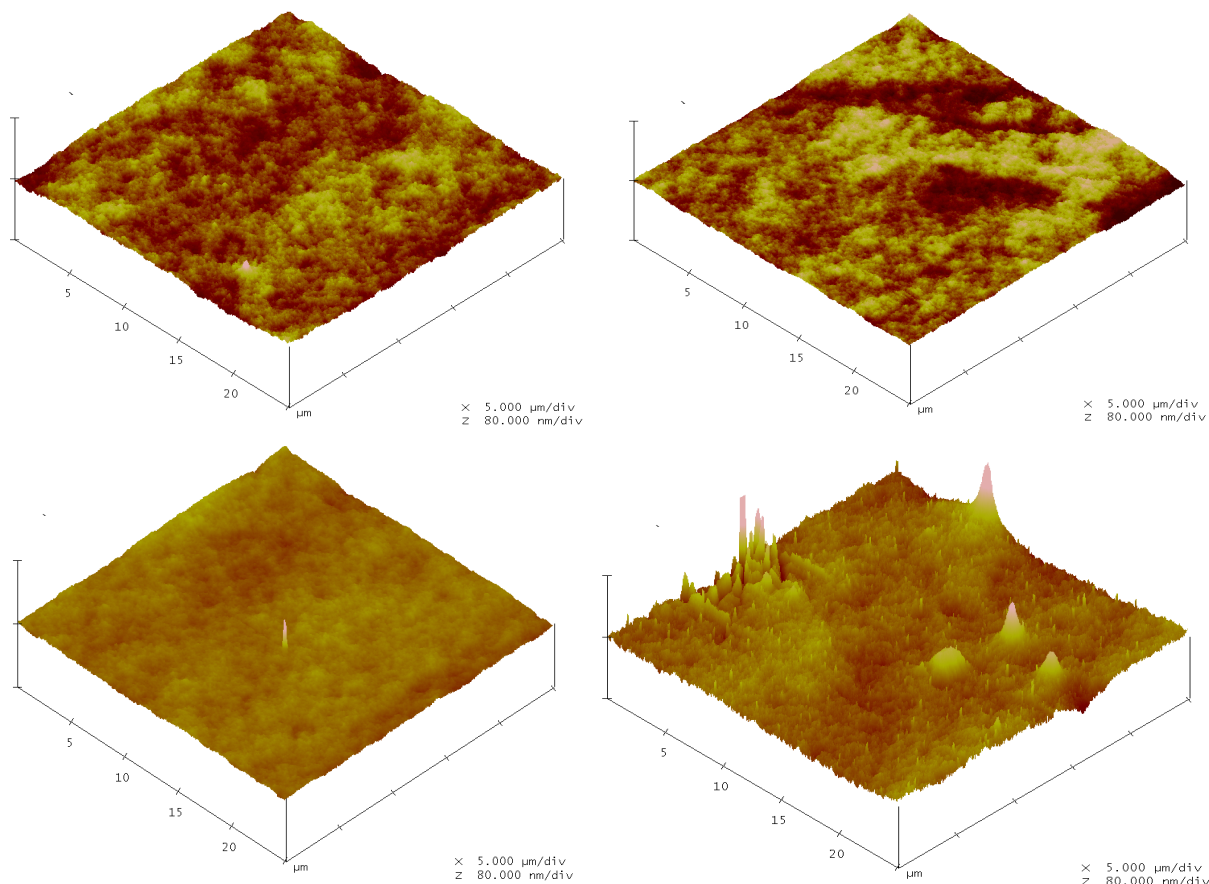
кислородни връзки с въглеродните атоми – С-О. Това се проявява при ниските стойности на повърхнинната плътност на мощността ( $0,1 \text{ W/cm}^2$ ), но е вече добре проявено при  $1,2 \text{ W/cm}^2$  (и  $2,2 \text{ W/cm}^2$ ). Тези процеси също така водят до образуването на една по-сложна мрежа от  $\text{SiO}_x\text{C}_y\text{H}_z$  върху *PDMS*- повърхностите.

Атомният силов микроскоп (*AFM, atom force microscope*) е един от най-мощните инструменти за разкриване на промени в повърхностната топография със субнанометрична резолюция (Müller, 1995; Schabert, 1995, Shao, 1996). Топографията и микрорелефът на полимерната повърхност оказват съществено влияние върху ъгъла на умокряне и върху началните взаимодействия с клетки. Това, както и очакваните промени на *PDMS*-повърхностите, в резултат на йонно-плазменото обработване и окисляване, дават основание за провеждането на сравнителни микроскопски наблюдения на изследваните *PDMS*- подложки.

Немодифицираният *PDMS* се характеризира с дребнозърнеста структура на повърхността и стойности на грапавостта – средна  $R_a = 1,59 \text{ nm}$  и ефективна  $R_{RMS} = 2,01 \text{ nm}$ , Фиг. 6а.

Интересни са, обаче, резултатите след йонно-плазмено третиране и следващо окисляване при атмосферно налягане, тъй като измененията се развиват в две противоположни направления, в зависимост от повърхнинната плътност на мощността на високочестотния кондензаторно свързан разряд:

- двадесет и четири часа след обработването при  $1,2 \text{ W/cm}^2$  (за време 60 s) и окисляване във въздушна среда, морфологията на *PDMS*- повърхността се характеризира с още по-дребнозърнеста структура и по-ниски стойности на грапавостта - средна  $R_a = 1,06 \text{ nm}$  и ефективна  $R_{RMS} = 1,20 \text{ nm}$ , фиг. 6с, т. е. наблюдава се изглаждане или полиране на полимерната повърхност;

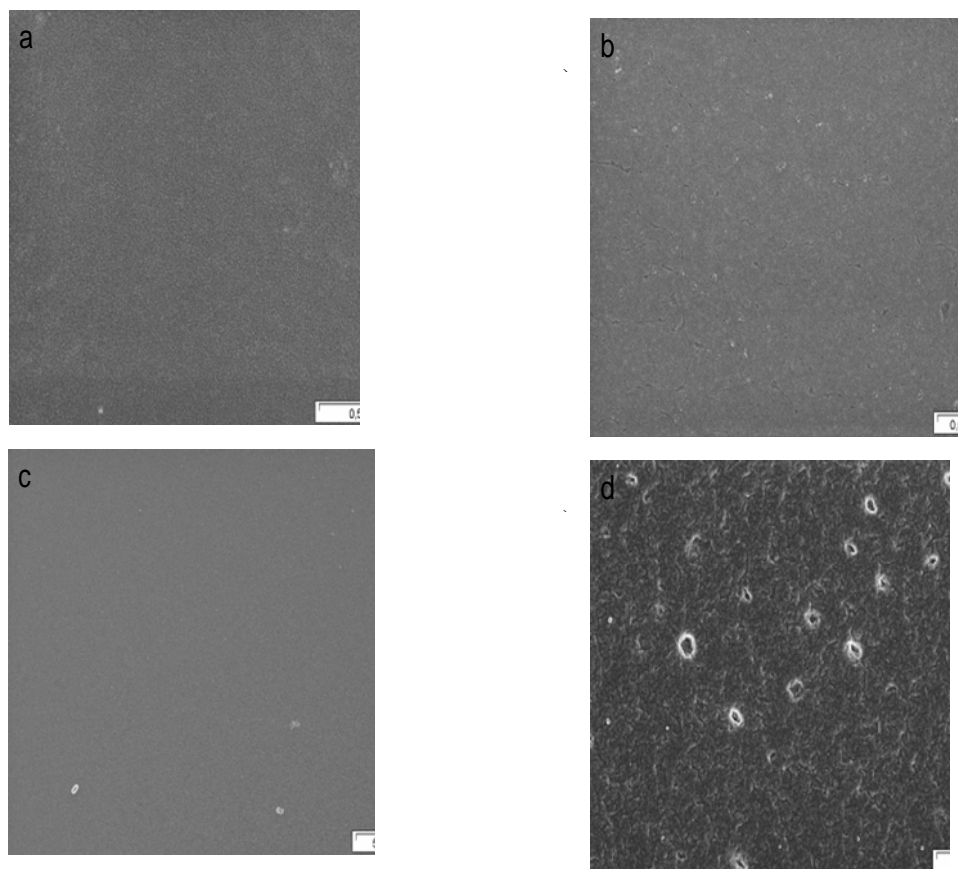




**Фиг. 6.** Тримерни АТМ– изображения на PDMS повърхности: **a** - изходна (нетретирана в плазма) с височината на профила –  $R_a = 1,59$  nm;  $R_{RMS} = 2,01$  nm; **b** - третирана в плазма ( $0,1$  W/cm<sup>2</sup>; 60 s) с височината на профила –  $R_a = 1,36$  nm;  $R_{RMS} = 1,60$  nm; **c** - третирана в плазма ( $1,2$  W/cm<sup>2</sup>; 60 s) с височината на профила –  $R_a = 1,06$  nm;  $R_{RMS} = 1,20$  nm и **d** - третирана в плазма ( $2,2$  W/cm<sup>2</sup>; 60 s) с височината на профила –  $R_a = 3,87$  nm;  $R_{RMS} = 5,81$  nm.

*Промяна на топографията и грапавостта на PDMS- повърхностите*

- двадесет и четири часа след йонно-плазменото третиране при значително по-голяма мощност -  $2,2$  W/cm<sup>2</sup> (за време 60 s), и окисляване на въздуха, повърхностната морфология на PDMS се характеризира с множество големи и малки локални пикове на фона на характерна дребнозърнеста структура и повишени стойности на грапавостта - средната стойност нараства на  $R_a = 3,87$  nm, а ефективната - на  $R_{RMS} = 5,81$  nm, фиг. 6d, т. е. наблюдава се характерния режим на ецване на повърхността.



**Фиг. 7.** SEM – изображения на PDMS повърхности: **a** - изходна (нетретирана в плазма); **b** - третирана в плазма ( $0,1$  W/cm<sup>2</sup>; 60 s); **c** - : третирана в плазма ( $1,2$  W/cm<sup>2</sup>; 60 s); **d** - третирана в плазма ( $2,2$  W/cm<sup>2</sup>; 60 s).

Тези наблюдения се потвърждават и от SEM- изображенията, фиг. 7.

Тези наблюдения показват, че йонно-плазменото третиране, съчетано с окисляване на PDMS- повърхностите във въздушна среда при атмосферно налягане и стайна температура, представлява мощен инструмент за управление на топологията и микрорелефа на полимерната повърхност, а оттам и на взаимодействието им с живи клетки. По този начин се преодолява естествената биологична инертност на PDMS- повърхностите и се отваря път за последваща химична модификация.

*Промяна на хидрофилно-хидрофобното равновесие на PDMS- повърхности*



Добре известно е, че началните клетъчни взаимодействия са по-добри при изразена хидрофилност на повърхността, поради което много често модификацията на повърхностите се насочва към изменение на хидрофилно-хидрофобното равновесие. Поли(диметилсилоксановите) повърхности са силно хидрофобни, което затруднява (дори прави невъзможно) началното им взаимодействие с клетки. Изразените промени в химичния състав на повърхността на PDMS- подложки, включващи наблюдаваната минерализация с изграждане на сложна мрежа от  $\text{SiO}_x\text{C}_y\text{H}_z$  и множеството от силанолови (SiOH) групи, Фиг. 2, предполагат изместване на това равновесие към хидрофилизиране. Много автори посочват плазменото окисляване на PDMS- повърхностите като основание за хидрофилизиране дори след плазмено обработване, [1, 2, 3, 5, 6 и 7]. Промяната на хидрофилно-хидрофобния баланс се определя не само от променения химичен състав, но и от променената топология (морфология) и микрорелеф (грапавост) на повърхността.

Резултатите от предприетото изследване на равновесния ъгъл на умокряне  $q$  при използване на две течности – полярна ( $\text{H}_2\text{O}$ , вода) и неполярна ( $\text{CH}_2\text{I}_2$ , метилен йодид), измерени и изчислени са показани в Табл. 2.

**Таблица 2.** Равновесен ъгъл на умокряне  $q$  с вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ) и метилен йодид ( $\text{CH}_2\text{I}_2$ ), повърхностно напрежение  $g_s$  и неговите компоненти – полярна  $g_s^p$  и дисперсна  $g_s^d$ , и полярност  $p$  на повърхността на модифициран и немодифициран PDMS.

Проби		$q$ ( $\text{H}_2\text{O}$ )	$q$ ( $\text{CH}_2\text{I}_2$ )	$g_s$	$g_s^d$	$g_s^p$	$p$
				mJ. m	mJ. m	mJ. m	-
PDMS нетретиран		101, 9 <sup>0</sup>	70,2 <sup>0</sup>	22, 9	21,8	1,1	0,0 5
PDM S третира H 60 s	0,1 W/cm <sup>2</sup>	87,9 0	66,7 <sup>0</sup>	26, 8	21,9	5,0	0,1 8
	1,2 W/cm <sup>2</sup>	60,8 0	49,5 <sup>0</sup>	45, 6	28,1	17,5	0,3 8
	2,2 W/cm <sup>2</sup>	39,4 0	61,8 <sup>0</sup>	57, 1	18,5	38,7	0,6 8

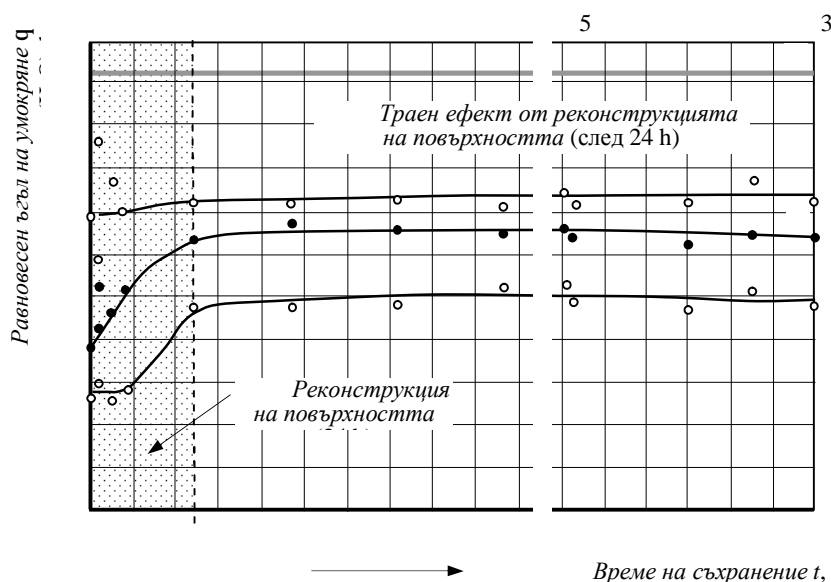
Предположението за силно хидрофилизиране на повърхността на PDMS след йонно-плазмено химично обработване се потвърждава от получените резултати - силно хидрофобната повърхност на изходните PDMS- подложки с равновесен ъгъл на умокряне [ $q$  ( $\text{H}_2\text{O}$ ) = 101,9<sup>0</sup>;  $q$  ( $\text{CH}_2\text{I}_2$ ) = 70,2<sup>0</sup>] се хидрофилизира. След йонно-плазмено обработване и окисляване на въздуха, тя се превръща в хидрофилна повърхност със силно повишена полярност – от 0,05 полярността нараства на 0,18; 0,38 и 0,68, в зависимост от режима на йонно-плазмено обработване, Табл. 2.

Нарастването на полярността  $p$  се дължи основно на бързото нарастване на полярната компонента на повърхностното напрежение  $g_s^p$ . Натрупването на кислородсъдържащи полярни групи на повърхността на PDMS при увеличаване на повърхнината плътност на мощността на високочестотния разряд от 0,1 до 2,2 W/cm<sup>2</sup>, Фиг. 2, определя наблюдаваното намаляване на равновесния ъгъл на умокряне  $q$  - много съществено при полярната течност ( $\text{H}_2\text{O}$ ) и значително по-малко съществено при неполярната течност ( $\text{CH}_2\text{I}_2$ ), Табл. 2.

Трябва, обаче, веднага да се отбележи, че модифицираните подложки, независимо от близкия по характер химичен състав на PDMS- повърхностите, Табл. 1, имат твърде различна хидрофилност, Табл. 2. Това навежда на мисълта, че топологията и микрорелефът играят също така съществена роля при изместването на хидрофобно-хидрофилното равновесие.



Въпросът за трайността на извършената реорганизация и продължителността на съществуване на ефекта от модификация на повърхността се поставя винаги при този вид модификация, което налага да се проследи изменението на равновесния ъгъл на умокряне  $q$  в един продължителен интервал от време – от 0,5 до 720 h (30 d), Фиг. 8.



**Фиг. 8.** Зависимост на равновесния ъгъл на умокряне с вода  $q$  ( $H_2O$ ) от времето на съхранение  $t$  при атмосферно налягане и стайна температура за изследваните повърхности от PDMS: 1 – немодифицирана PDMS изходна повърхност; 2, 3 и 4 – йонно-плазмено третиран и окислен PDMS при продължителност на обработване 60 s и повърхнинна плътност на мощността 0,1; 1,2 и 2,2  $W/cm^2$ , съответно.

Много въпроси поставя продължаващата реконструкция на повърхността на PDMS-подложките, която формулира наблюдаваното характерно разсейване в стойностите на равновесния ъгъл на умокряне  $q$  в първите 24 часа. Промените на повърхността се установяват трайно едва след този период. Тогава вече може да се говори за траен резултат от йонно-плазменото третиране и окисляване на PDMS-повърхностите. Той е налице след съхранение при нормални условия - равновесният ъгъл на умокряне с полярна течност (вода) намалява от  $\theta = 101,9^\circ$  с около 27 % при 0,10  $W/cm^2$ ; 36 % при 1,20  $W/cm^2$  и 52 % при 2,2  $W/cm^2$ , Фиг. 8.

Реконструкцията на PDMS-повърхността е свързана с появата на електрически повърхностен електрически заряд (най-вероятно хомозаряд), който най-вероятно се дължи на бомбардирането, имплантирането и залавянето на аргонни ( $Ar^+$ ) йони в т. нар. потенциални ями на повърхността. В зависимост от влажността, температурата и налягането, наличието на отрицателни йони във въздуха, този заряд по-бързо или по-бавно се неутрализира, като поляризираното състояние се разрушава. Електрическата поляризация, или електретното състояние на полимера, влияе съществено върху измененията на равновесния ъгъл на умокряне, което отслабва след неговото неутрализиране или разрушаване. Наблюдаваните относително големи разсейвания при измерването на равновесния ъгъл на умокряне, Фиг. 8, най-вероятно се дължат на електрическата поляризация на полимера при йонно-плазмено обработване.

#### 4. Заключение

Изследваните промени на PDMS-повърхности, след различни операционни режими на йонно-плазмено третиране (полиране или разяждане) и окисляване във въздушна среда, позволяват да бъдат направени следните основни изводи:



- йонно-плазменото третиране на *PDMS*- повърхности в инертна среда на аргон и следващото го окисляване могат да се разглеждат като инструмент, който в зависимост от избрания операционен режим, може да полира и/или разяжда обработваната повърхност, да променя в различна степен химичния ѝ състав чрез окисляване и да имплантира положителни йони като зарежда електрически повърхностния слой, т. е. да го приведе го в електрически поляризирано (електретно) състояние;

- йонно-плазменото третиране на *PDMS*- повърхности позволява да бъдат получени резултати, които са характерни за модификацията на повърхността с линеен йонен ( $Ar^+$ ) сноп, при много по-голяма простота на апаратурата, като в този случай могат да бъдат използвани дори промишлените *RIE*- високочестотни реактори, които отдавна се възприемат като „динозаври“ от ерата на начално развитие на микроелектронните технологии;

- потопеният в плазма йонен сноп дава възможност за анизотропно третиране не само на равнинни обекти, но и на обекти, които имат сложна и разгъната повърхност, каквато практика съществува при имплантирането с йонен сноп потопен в плазма (*PIII*) - по този начин могат да се обработват и функционализират сложни тримерни (*3D*-) повърхности;

- на този етап може да се приеме, че йонно-плазмената технология за подготовка чрез окисляване на *PDMS*- повърхности представлява ефективен инструмент, който променя химичния състав и топологията на повърхнината като я подготвя за успешното ѝ взаимодействие с клетки, [12, 13];

- йонно-плазмено окислените *PDMS*- повърхности (при  $2,20 \text{ W/cm}^2$ , 60 s) се характеризират с подобрени начални клетъчни взаимодействия, [12];

- йонно-плазмено окислените *PDMS* повърхности могат да бъдат химически активирани допълнително чрез успешна присадителна съполимеризация с акрилова киселина ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$ ), като цялата повърхност търпи реконструкция и се появяват карбоксилни групи ( $-\text{COOH}$ ), които от своя страна позволяват следващата им биофункционализация, [12];

- получени са нови данни за управлението на окислителните процеси върху *PDMS*-повърхности чрез предварително йонно-плазмено третиране, което има изразени предимства пред плазменото третиране и пред третирането с линеен йонен сноп.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. HILLBORG, H., J. ANKNER, U. GEDDE, G. SMITH, H. YASUDA, AND K. WIKSTROM, [CROSSLINKED POLYDIMETHYLSILOXANE EXPOSED TO OXYGEN PLASMA STUDIED BY NEUTRON REFLECTOMETRY AND OTHER SURFACE SPECIFIC TECHNIQUES](#), POLYMER, 2000, 41, (18), PP. 6851÷6863.

2. MOON, M.-W., A. VAZIRI. SURFACE MODIFICATION OF POLYMERS USING A MULTI-STEP PLASMA TREATMENT. [SCRIPTA MATERIALIA](#), 2009, 60 (1), PP. 44÷47.

3. Spanos, C., S. Ebbens, J. Badyal, A. Goodwin, and P. Merlin. Surface Segregation and Plasma Oxidation of Poly(dimethylsiloxane)-Doped Polyolefins. *Macromolecules*, 2001, 34 (23), pp. 8149÷8155.

4. A. Anders (editor). Handbook of Plasma Immersion Ion Implantation and Deposition. John Wiley & Sons, Inc., 2000.

5. M. Lieberman, A. Lichtenberg. Plasma Discharges and Material Processing. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000 (2<sup>nd</sup> edition).

6. Roth, J. Reece. Plasma Industrial Engineering: Application of Non-thermal Plasma Processing. IOP Publishing, Ltd., 2001.

7. Chen, F. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. Plenum Press, 1984 (2<sup>nd</sup> edition).

8. Flitsch, R., Da-Yuan Shih. An XPS study of argon ion beam and oxygen RIE modified BPDA-PDA polyimide as related to adhesion. [Journal of Adhesion Science and Technology](#), Vol. 10, 12, 1996, pp. 1241÷1253.



9. Noriaki, K., S. Jumpei, M. Makoto, K. Masaya, Y. Toshimoto. The influence of the argon ion beam etching on the structure of the various set bonding resins. Adhesive Dentistry, 2003, vol. 21, 1, pp. 7÷16.

10. Орлинов, В., Г. Младенов. Електронни и йонни методи и устройства за обработка и анализ на веществото. София, Техника, 1982.

11. Динев, П. Електротехнология. Въведение в електротехнологията. София, 2000.

12. Керанов, И. Модификация на повърхността на полидиметилсилоксан за подобряване на взаимодействията му с клетки. - Дисертация. София, 2008.



## ХОМОГЕНЕН АТМОСФЕРЕН БАРИЕРЕН РАЗРЯД

Петър Динев

Таунсендовият квази-хомогенен механизъм на електрически пробив е в сила не само при ниски налягания, но също така при относително къси въздушни междини (5,26 cm) при атмосферно налягане и стайна температура. Характеристиката „повърхнинна плътност на активната мощност- размер на въздушната междина“ разкрива съществуването на лавинна (квази-хомогенна) форма на атмосферния бариерен разряд при къси въздушни междини (0,15, 0,30 cm) и индустриална честота (50 Hz). Ясно се различават още две стримерни форми на атмосферния бариерен разряд – на положителен (0,60 cm) и на отрицателен (1,20 cm) стример.

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Изследването на устойчивите режими на горене на атмосферния бариерен разряд (англ. *atmospheric pressure dielectric barrier discharge*, AP-DBD) е силно затруднено от лесно разбираеми трудности при определяне на активната мощност на разряда, свързани с нелинейния характер на неравновесния (неизотермичен) електрически разряд.

Съществуват два подхода за пресмятане на активната мощност на атмосферния бариерен разряд, разсеяна във въздушната междина, чрез електрическите характеристики на разряда: *първият*, основан върху определяне на активната мощност за един полупериод на напрежението чрез площта затворена от експериментално снетата динамична характеристика „електрически заряд- напрежение“ (Manley, 1943; Kögelschatz, 1988; Falkenstein-Coogan, 1997), [1]; *вторият*, основан върху определяне на активната мощност чрез статичната волтамперна характеристика, свързваща средната стойност на тока и ефективната стойност на напрежението (Филиппов-Емельянов, 1957; Динев, 2002), [5].

Въпросът за съществуването на *хомогенен* (еднороден) или *квази-хомогенен* бариерен разряд при атмосферно налягане и стайна температура се поставя много остро, тъй като хомогенността позволява към практиката на инженерните повърхностни процеси на почистване и активиране (функционализиране) да се прибавят успешно още процесите на разрядане (ецване) и нанасяне на покрития. С това, плазмените инженерни процеси на повърхността получават целия набор от инструменти за управление на нейните свойства.

**ЗАДАЧАТА** на предприетото експериментално-теоретично изследване е чрез статичните волтамперни характеристики на атмосферния бариерен разряд да се разкрият различните по характер механизми на горене на атмосферния бариерен разряд и да се определят условията за устойчиво съществуване на квази-хомогенен разряд.

### 2. ХОМОГЕННИ ФОРМИ НА АТМОСФЕРНИЯ БАРИЕРЕН РАЗРЯД

Първата индустриално използвана хомогенна форма на атмосферния бариерен разряд, която остава много близка до традиционния бариерен разряд е *OAUGDP*<sup>®</sup>- (англ. *one atmosphere uniform glow discharge plasma*) разряд, (Roth, 1994, 1995, 2001). Тя се интерпретира от една страна чрез т. нар. *механизъм на йонната потенциална яма* (Roth, 1994; Gardí, 1999), а от друга чрез *повишената повърхностна проводимост* на диелектричната бариера (стъкло, полимери), която определя бързо разсейване на повърхностния заряд (електрони) върху диелектрика и прекъсване на наследствената приемственост на микроразрядите. Честотата на захранващото напрежение е над 500 (1 000) Hz, (Roth, 2006), [1, 2, 3 и 4].

Хомогенна форма на атмосферния бариерен разряд, или т. нар. *атмосферен тлеещ разряд* (англ. *atmospheric pressure glow discharge*, APGD), се регистрира при „оживяване“ на голямо количество адсорбирани върху диелектричната бариера електрони, които увеличават рязко концентрацията на електрони преди старта на електронната ударна ( $\alpha$ -) йонизация, определят големия радиус на лавината, намаляват разстоянието между



лавините и усилват взаимодействието между съседни електронни лавини. Всичко това увеличава ефективно стойността на критерия на *Raether-Meek*, характеризиращ прехода от електронна лавина към положителен и/или отрицателен стример, който слага край на хомогенната форма на горене на разряда, (*Fridman*, 2005, 2006). Природата на газа, дифузията на електроните и разсейването на топлина и маса в разрядния обем оказват също така съществено влияние върху условията за съществуване на хомогенен бариерен разряд, (*Kanazava*, 1987, 1988; *Honda, Tochikubo, Watanabe*, 2001; *Montijn- Ebert*, 2006). Хелият (He) се явява най-добрата среда за реализация на хомогенен атмосферен бариерен разряд, [2, 3 и 4].

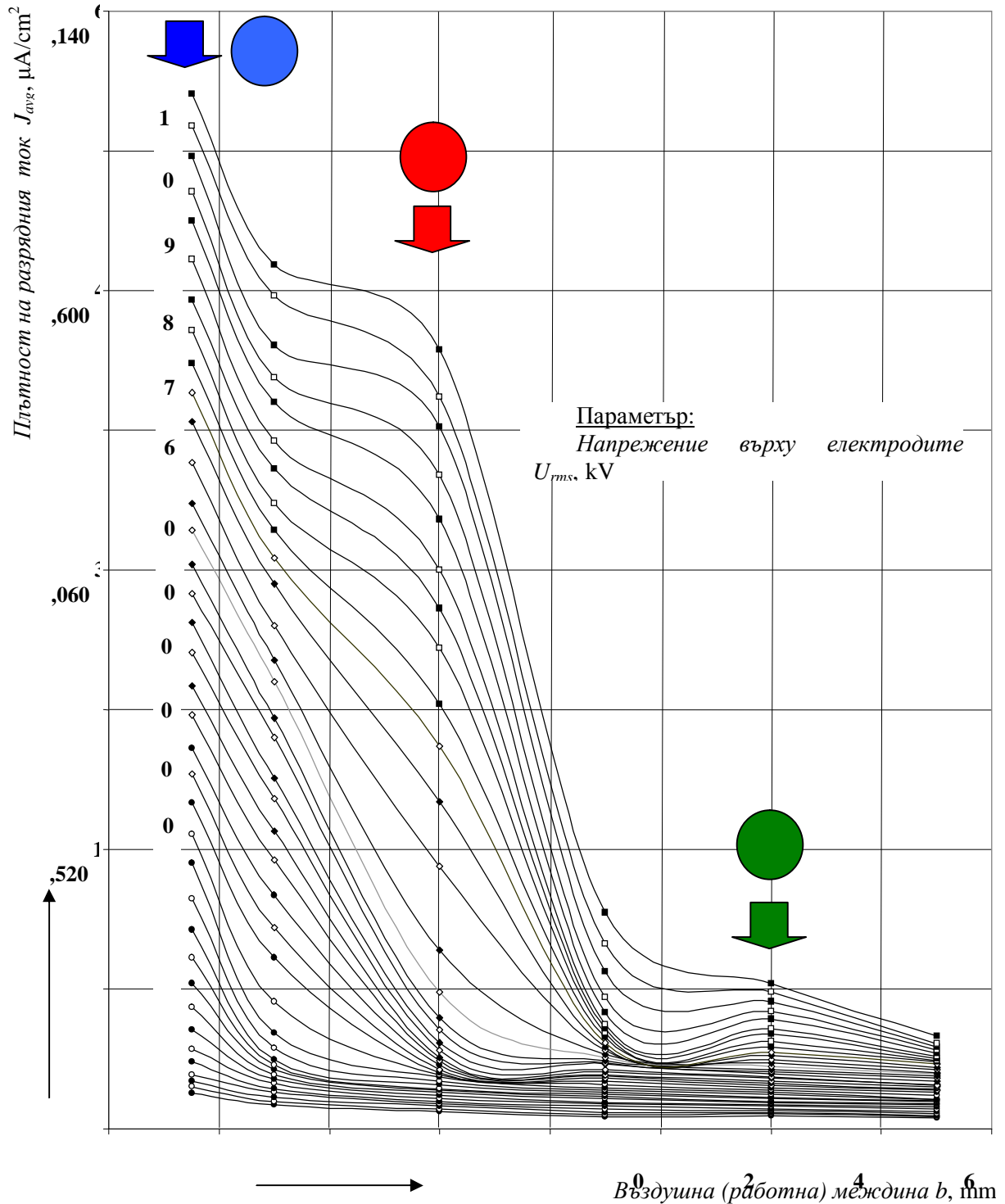
Хомогенният атмосферен разряд се използва индустриално при относително ниски напрежения (до 10 kV) и с електродни системи, които осигуряват максимално равномерно електрическо поле в две характерни диодни конфигурации: *първата*, която представлява система от два коаксиални електрода с относително голяма кривина (диаметърът на вътрешния електрод е около 25-30 mm, а въздушната междина е до 3 mm) се използва индустриално за получаването на озон, а *втората*, която представлява копланарна (плоско-паралелна) диодна конфигурация с размери на електродите 2x10 m и малка въздушна междина – до 10 mm, се въвежда от *Dow Corning Plasma Solutions* и *Plasma Ireland Ltd.* (Ирландия, 2006) за реализация на всички възможни видове плазмени повърхностни технологични процеси в текстилната индустрия, [3, 4].

Този повече от петнадесет годишен чужд и собствен опит позволява да се предполага, че в копланарна диодна конфигурация, осигуряваща относително равномерно електрическо поле, при малки въздушни междини може да се наблюдава хомогенна форма на атмосферния бариерен разряд във въздух, дори при индустриална (50 Hz) честота и използване на бариера от алкално стъкло. Експериментира се с една диелектрична бариера, което също така усложнява допълнително разряда. Използването на стоманени електроди трябва да повлияе положително върху дифузията на електрони и също така да допринесе за положителния резултат от предприетото изследване.

### 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

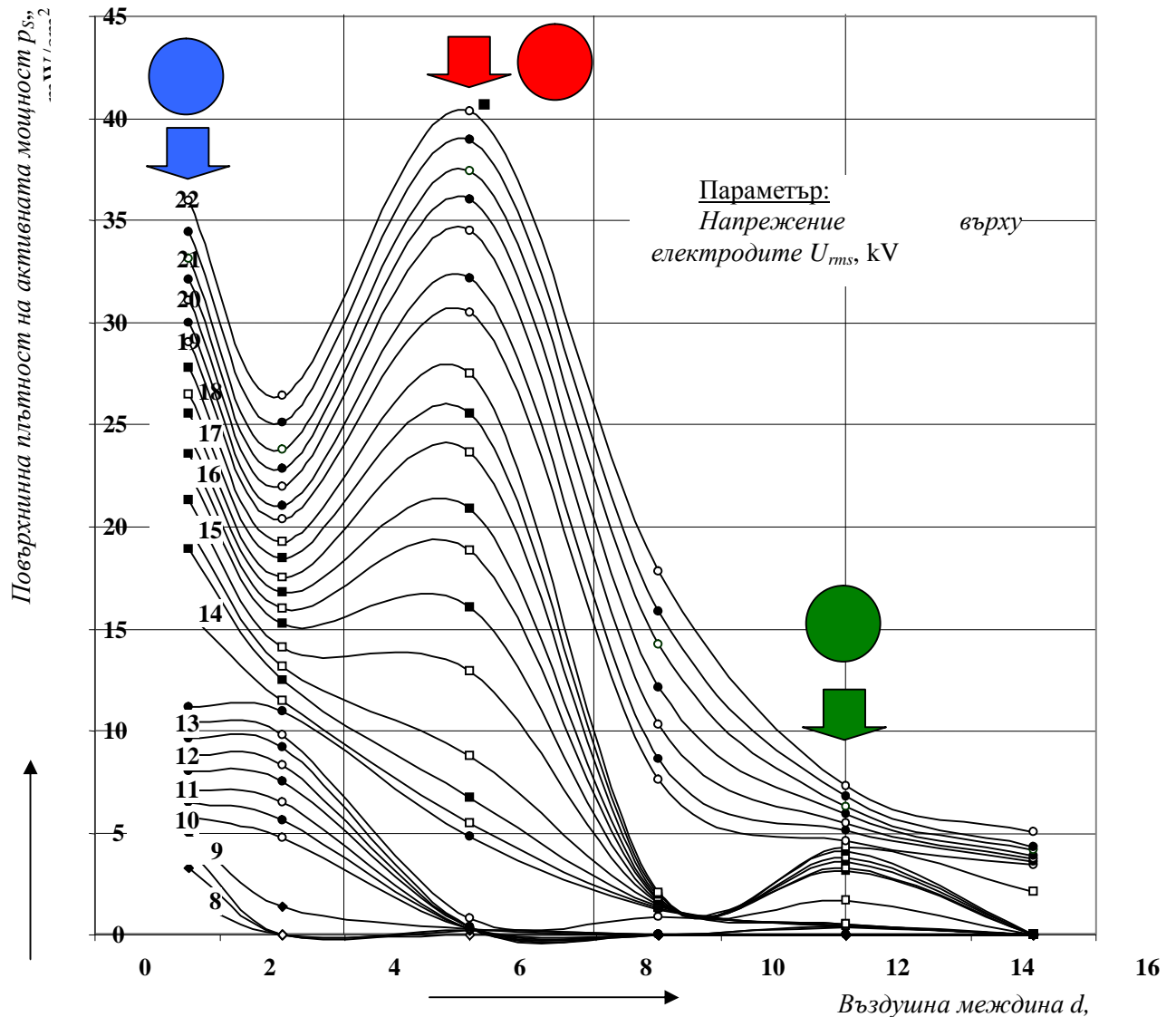
Методът на статичната волтамперна характеристика е в сила за газови смеси (и за въздух) при различни налягания, независимо от размерите на изследваната диодна разрядна система. Освен това, анализът на волтамперната характеристика позволява да бъдат определени параметрите на операционните режими на горене на атмосферния бариерен разряд, критичните параметри на запалване на разряда и преходите от един към друг операционен режим, напрежението на горене, което е основна характеристика на операционния режим и накрая функционалната зависимост между активната мощност и приложеното променливо напрежение, [5].

Статичната волтамперна характеристика “средна стойност на разрядния ток- ефективна стойност на приложеното върху електродите напрежение” се снима експериментално и се обработва по описаната в [6] методика. Диелектричната бариера е от алкално стъкло с дебелина  $b = 0,3$  cm и електрически параметри: относителна диелектрична проницаемост  $\epsilon_r = 10$ ; специфично обемно електрическо съпротивление  $r_v = 10^9$   $\Omega$ m; тангенс от ъгъла на диелектричните загуби  $tg d = 25$  (при 20 °C). Активната площ на стоманените електроди е 651,5 cm<sup>2</sup>. Електродите имат закръгления в краищата за намаляване на краевия ефект и осъществяване на максимално хомогенно електрическо поле. Въздушната (работната, разрядната) междина  $d$  се изменя на следните нива:  $d = 1,5; 3,0; 6,0; 9,0; 12,0$  и 15,0 mm.



**Фиг. 1.** Изменение на плътността на разрядния ток  $J_{avg}$  на атмосферен бариерен разряд в зависимост от изменението на въздушната междина  $d$  при постоянна стойност на приложеното променливо напрежение  $U_{rms}$ .

**A** – квази-хомогенен (лавинен, таундсенов) атмосферен бариерен разряд; **B** – стримерен (аноден стример) бариерен разряд; **C** – стримерен (катоден стример) разряд.



**Фиг. 2.** Изменение на повърхнинната плътност на активната мощност  $p_s$  в зависимост от изменението на въздушната междина  $d$  при постоянна стойност на приложеното променливо напрежение  $U_{rms}$ . Характерни области на максимална плътност на активната мощност  $p_s$ , отговарящи на различен характер на горене на атмосферния бариерен разряд: **A** – операционен режим на квази-хомогенен (лавинен, таунсендов) бариерен разряд; **B** – първи операционен режим (на анодни стримери) на нехомогенен бариерен разряд; **C** – втори операционен режим (катодни стримери) на нехомогенен бариерен разряд.

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ**

На фиг. 1 и 2 са представени графично кривите, които отразяват зависимостта на плътността на разрядния ток  $J_{avg}$  (средна стойност) и на повърхнинната плътност на активната мощност  $p_s$  (за единица активна площ на електрода) от изменящата се въздушна (работна) междина  $d$  при постоянна стойност на приложеното напрежение  $U_{rms}$  (ефективна стойност).

Изменението на плътността на разрядния ток  $J_{avg}$ , както и изменението на повърхнинната плътност на активната мощност  $p_s$  в зависимост от изменението на въздушната междина  $d$ , още по-ясно, показват наличието на три характерни стойности на



въздушната междина, които отговарят на три характерни максимума на изменение – областта около 1,5 mm (А), областта около 6,0 mm (В) и областта около 12 mm (С).

Съгласно съществуващите представи, таунсендовият квази-хомогенен механизъм на електрическия пробив и запалването на самостоятелен електрически разряд, се прилага само при относително ниски налягания  $p$  и къси въздушни междини  $d$ :  $pd < 5\,333\text{ Pa}\cdot\text{m}$ . При нормално атмосферно налягане ( $1\text{ atm} = 101,325\text{ kPa} = 760\text{ Torr}$ ), това отговаря на въздушна междина  $d_0 < 5,26\text{ cm}$ , или избраните за експеримента стойности на междината остават под тази граница ( $d_{\text{max}} = 1,5\text{ cm} < d_0$ ). Условието за таунсендов електрически пробив на въздуха, е интензитетът на електрическото поле да бъде равен или по-голям от т. нар. критичен интензитет. Таунсендовият разряд се развива при толкова малка сила на тока, че деформирането на електрическото поле от възникналия обемен заряд може да се пренебрегне, [4].

Преходът от лавинна (хомогенна) към стримерна (нехомогенна, нишковидна) форма на атмосферния бариерен разряд, така както се разглежда днес, [4], изисква изпълнението на следните условия: *първо*, от вътрешността на първичната лавина навън да се излъчват фотони с достатъчно висока енергия, които да бъдат в състояние да предизвикат йонизацията на поне един атом, намиращ се достатъчно близо до фронта на лавината; *второ*, електрическото поле  $E_{av}$ , създадено от пространствено разделените заряди в обема на първичната лавина трябва да бъде достатъчно високо, за да предизвика прехода от лавина към формиране на положителен или отрицателен стример, фиг. 3.

Това може да стане, когато интензитетът  $E_{av}$  на електрическото поле на лавината се изравни с интензитета на външното електрическо поле  $E_0$ :

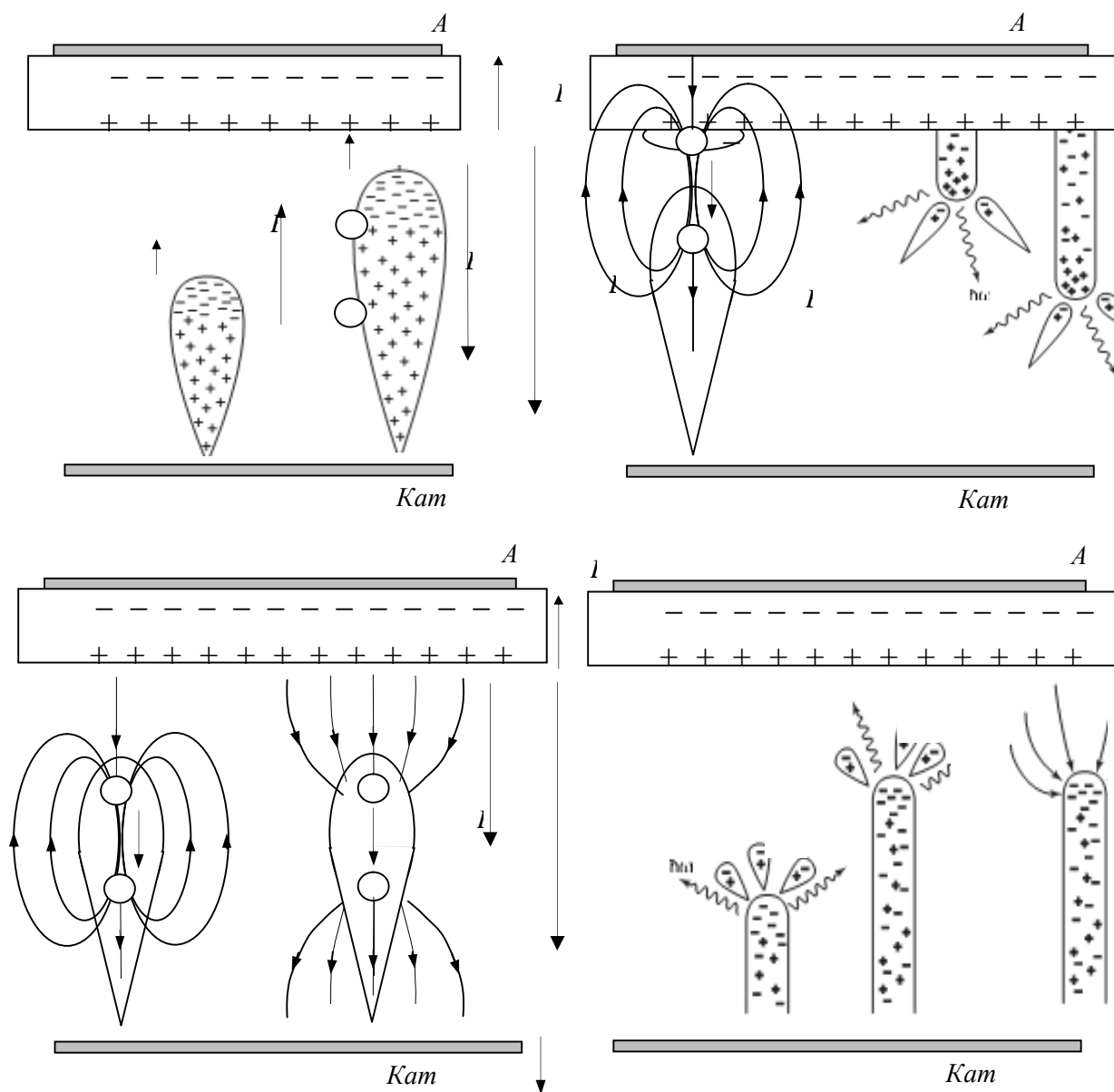
$$E_{av} = \frac{e}{4p e_0 r_A} \exp[ad] \approx E_0. \quad (1)$$

или при радиус на главата на лавината  $r_A \approx 1/a$ , условието за поява на стример във въздушната междина  $d$  изглежда така:

$$ad = \ln \frac{4p e_0 E_0}{e a^2} \approx 20 \text{ при } N_e = \exp(ad) \approx 3 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-3}. \quad (2)$$

Това е известният *критерий на Reather-Meek*, който определя необходимите условия за преход от електронна лавина към стример:  $ad \geq 20$ . Съществуването на присъединяване на електрони и образуване на отрицателни йони, характерно за т. нар. електроотрицателни газове, изисква увеличаване на стойността на критерия, [4].





**Фиг. 3.** Формиране на положителен (аноден, катодно насочен) стример (a, b, c, d и e) и на отрицателен (катоден, анодно насочен) стример (a, b, f, g, h и i) при бариерен разряд с една диелектрична бариера: a, b - развитие на основна електронна лавина, движеща се към анода, разделяне на електрическите заряди и оформяне на следа от положителни йони; c – формиране на повърхностен отрицателен заряд върху диелектричната бариера и деформиране на полето -  $E = E_{air} + E_{av}$ ; d – бързо разрастване на положителния стример към катода за сметка на насочените към главата му вторични лавини (фотойонизация); e – усилване на резултантното електрическо поле между главата на стримера и катода; f - разделяне на електрическите заряди и усилване на резултантното електрическо поле -  $E = E_{air} + E_{av}$ ; g - деформиране, усилване на полето вътре в областта на дипола и отслабване на полето вън от дипола; h - бързо разрастване на отрицателния стример към анода за сметка на насочените към главата му вторични лавини (фотойонизация); i - усилване на резултантното електрическо поле между главата на стримера и анода.

Модифицираният критерий на *Reather-Meek*, приложим при ясно изразен ефект на *памет* и съхранение на повърхностния отрицателен заряд (електрони) върху диелектричната бариера, т. е. при наличието на голяма концентрация на електрони  $n_e^p$  при



старта на паралелно развиващите се лавини, която осигурява голям радиус  $r_A$  на лавината в края ( $\alpha$  – коефициент на ударна електронна йонизация;  $d$  – въздушна междина;  $L$  – разстояние между две съседни лавини), изглежда така, [4]:

$$a d - \left( \frac{r_A}{L} \right) \approx K, \quad (3)$$

$$a d \approx K + n_e^p r_A^2 d. \quad (4)$$

Във въздух, при 1 atm = 101,325 kPa, посочената константа  $K$  е равна на 20. Така, преходът между лавинна и стримерна форма на атмосферния бариерен разряд може да бъде избегнат само ако се създадат условия за достатъчно голяма предварителна йонизация, т.е. повърхностният заряд  $n_e^p$  върху диелектрика бъде съхранен; голям радиус  $r_A$  на главата на лавините, и достатъчно голяма въздушната междина  $d$ , [4].

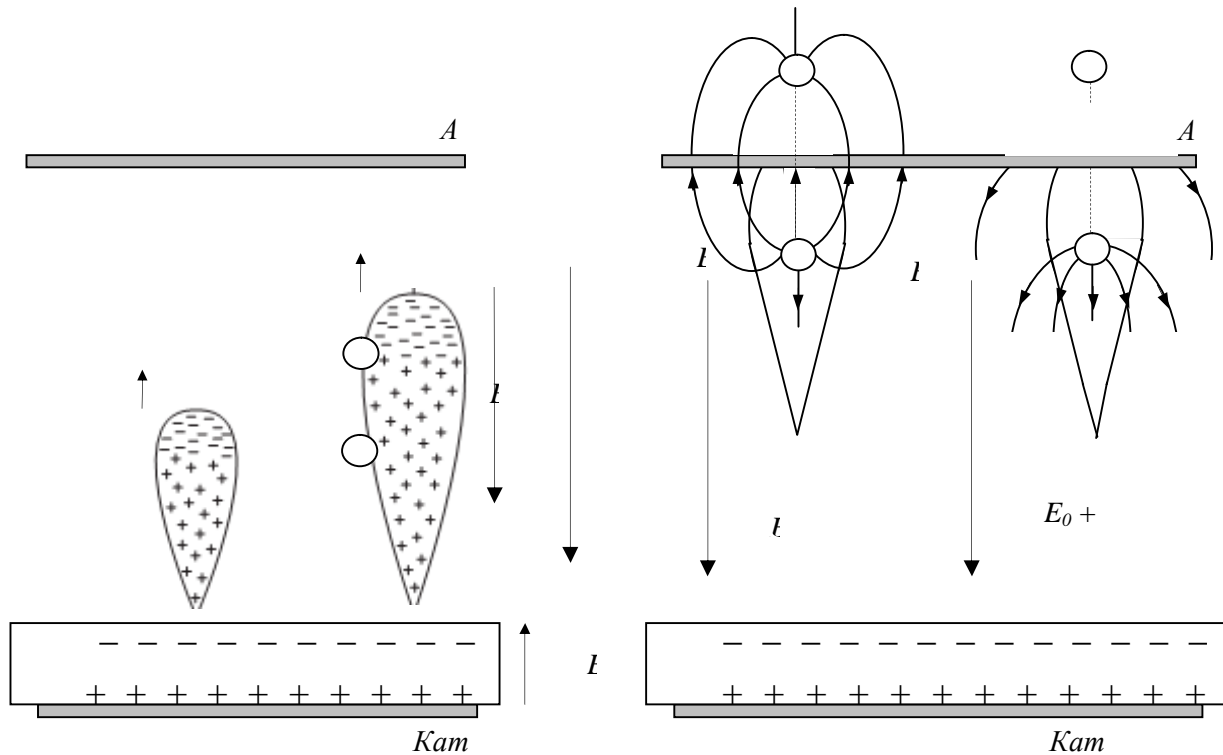
Така на практика при достатъчно голяма въздушна междина  $d \approx 6$  mm и критичен интензитет на електрическото поле (напрежение върху електродите) се достига до първата промяна на характера на атмосферния бариерен разряд – до преход от лавинна към стримерна форма на разряда, фиг. 1.

Постепенното разделяне на зарядите (електроните и йоните) в лавината създава електрически дипол, ориентиран по направление на външното електрическо поле  $E_0$ . Електроните формират главата на лавината, а йоните оформят нейното тяло. Центровете на действие на зарядите с различна полярност се намират един от друг на разстояние  $1/\alpha$ , а броят на зарядите нараства по познатия начин -  $N_e \gg \alpha x$ . При достигането на интензитета на електрическия пробив - около 30 kV/cm (във въздух при атмосферно налягане),  $\alpha$ -коефициентът приема стойности около  $0,1 \text{ cm}^{-1}$ , което означава, че и характеристичната дължина е почти толкова -  $1/\alpha \approx 0,1$  cm. Напречният размер на лавината има същия размер – около 0,1 cm, което отговаря на максимална концентрация на електрони  $10^{12} \div 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ , (Fridman-Kennedy, 2004).

Когато основната лавина достигане до диелектричната бариера, електроните в главата на лавината формират отрицателно заредена област (петно) върху повърхността на бариерата. Вътрешното поле на образувалия се дипол се усилва и колабира, с което от повърхността на диелектричната бариера към катода започва бързото нарастване на положителен (аноден) стример, фиг. 3a, b, c, d.

Положителният стример представлява бързо разпространяващ се йонизиран канал между електродите, който преминава през следата от положителни йони, останала след електронната лавина. Рекомбинацията генерира множество фотони, които инициират вторични лавини в непосредствена близост. Електроните от вторичните лавини се въвличат от резултантното електрическо поле в следата от положителни йони и съдействат за бързото разпространение на стримерния канал (Loeb, 1960; Raether, 1964; Meek и Craggs, 1978). Диаметърът на стримерния канал е  $0,01 \div 0,10$  cm и отговаря на максималния размер на главата на основната лавина. Концентрацията на йонизирани частици в тялото на стримера отговаря на максималната концентрация, която е достигната преди това в главата на основната лавина -  $10^{12} \div 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ . Скоростта на движение на стримера към катода е около  $10^8 \text{ cm.s}^{-1}$  и се поддържа от високия интензитет на електрическото поле между неговата глава и катода, фиг. 3e. Запазената в обема на стримерния канал енергия остава относително ниска, като за молекулни газове тя е около  $10^{-3} \text{ eV/mol}$ , което отговаря на прегряване на канала с около 10 K, [1].

При достатъчно голяма въздушна междина  $d \approx 12$  mm, се достига до нова промяна на характера на разряда – включва се вторият стримерен механизъм на горене. Електрическото поле вътре в лавината се усилва, нараства бързо и колабира преди тя да достигане до анода. Така започва образуването на отрицателен стример, който нараства интензивно към анода, фиг. 3a, b, f, g, h.



**Фиг. 4.** Формиране на положителен (аноден, катодно насочен) стример (a, b, c, и d) върху метален анод – разликата от случая с диелектричната бариера е тази, че металният анод разсейва отрицателния заряд на електроните.

Описаните два стримерни механизма на развитие на атмосферния бариерен разряд протичат при различна въздушна междина, но при близък критичен интензитет  $E_0$  на външното електрическо поле. Катодно насочения стример се проявява при по-малка въздушна междина  $d$  (0,6 cm) и протича, както с участието на диелектричната бариера, така и без нея, фиг. 4. Анодно насочения стример се проявява при значително по-голяма въздушна междина  $d$  (1,2 cm), но при почти същото напрежение, приложено върху електродите. Трябва да се посочи една съществена разлика, максимумът на повърхнинната плътност на активната мощност  $p_s$ , отговарящ на анодно насочения стример е със значително по-голям интензитет, фиг. 2.

Хомогенна форма на атмосферния бариерен разряд се наблюдава изключително при малки въздушни междини и ниски захранващи напрежения. До 12,5 kV (rms), повърхнинната плътност на активната мощност  $p_s$  е различна от нула почти до  $d = 0,6$  cm, но максимумът остава при въздушна междина  $0,15 \pm 0,30$  cm. Високите стойности на напрежението (над 12,5 kV), изместват този максимум към малки стойности на въздушната междина - около 0,15 cm. При въздушни междини по-големи от 0,20 cm започва преход към стримерни форми на горене на атмосферния бариерен разряд, фиг. 2.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Експериментално получената статичната волтамперна характеристика на атмосферен бариерен разряд при индустриална честота е анализирана по оригинален начин, така че разкрива съществуването на лавинна (таунсендова) и две стримерни форми на горене при различен размер на въздушната междина. С това е доказана възможността за съществуване на лавинна (квази-хомогенна) форма на атмосферния бариерен разряд при честоти по-ниски от 500 Hz.

### ЛИТЕРАТУРА



1. Roth, J. R. *Industrial Plasma Engineering: Application of non-thermal plasma processing*. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 2001.
2. Becker, K., U. Kögelschatz, K. Schoenbach, R. Barker (Eds). *Non-equilibrium Air Plasmas at Atmospheric Pressure*. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 2005.
3. Shishoo, R. *Plasma Technologies for Textile*. Cambridge: Woodhead, 2007.
4. Fridman, A. *Plasma Chemistry*. Cambridge University Press, 2008.
5. Dineff, P., D. Gospodinova. *Energy-effective plasma-chemical surface modification of polymers and polymeric materials at atmospheric pressure*. International Conference "MEDPOWER'02", November 04÷06, 2002, Athens, Greece. Proceedings of Papers, pp. 01÷06.
6. Динев, П., Д. Господинова, М. Шопов. *Плазмени технологии*. Авангард-Прима, София, 2008.



## ИЗСЛЕДВАНЕ НА УМОКРЯНЕТО НА НИСКОЕНЕРГИЙНИ ПОВЪРХНОСТИ СЛЕД ПЛАЗМЕНО-ХИМИЧНО ОКИСЛЕНИЕ

Петър Динев, Диляна Господинова

**Резюме:** Плазмено-химичното повърхностно окисление се използва за промяна на хидрофилно-хидрофобното равновесие на повърхността на полиестерно фолио преди и след почистване с етилов алкохол. За целта са използвани два характерни източника на атмосферна студена плазма – симетричния бариерен разряд и коронния (асиметричния) бариерен разряд. Изследвани са промените на повърхността с помощта на метода на неподвижната капка, като по известните теории е определена повърхностната енергия и нейните (полярна и неполярна) компоненти. Потвърдена е високата технологична ефективност на хомогенния бариерен разряд.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Общо известно е, че полимерните материали най-често имат химически неактивна повърхност с ниска повърхностна енергия, което я прави невъзприемчива към редица довършващи повърхностни технологии като печатане, лепене, боядисване, нанасяне на покрития, импрегниране. Налага се тези материали да се подлагат на повърхностно обработване, което да подобри тяхната химична активност чрез функционализиране. Повърхностното функционализиране се изразява в промяна на химичния състав чрез създаване на активни групи (центрове) върху повърхността, характерни за всеки полимер, [1, 2, 3].

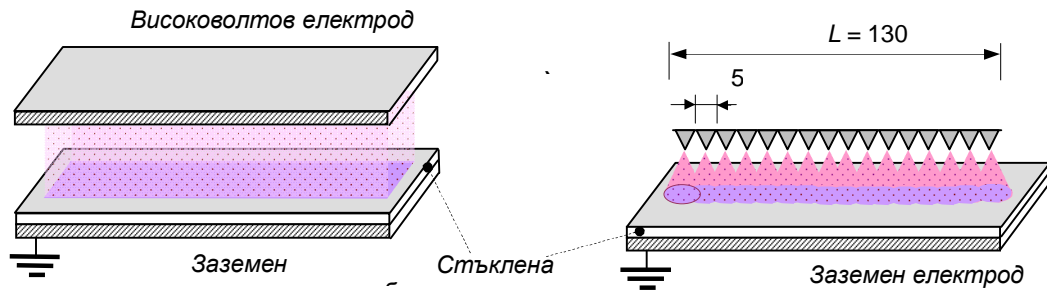
Модификацията на полимерните повърхности чрез промяна на химическия състав, повърхностната енергия и характера на химичните връзки е от съществена важност за множеството от плазмено-подпомогнати (или предизвикани) технологии, като лепене, печатане, боядисване и багрене, импрегниране, нанасяне на покрития. Плазмено-химичното активиране във въздушна атмосфера се изразява в окисляване на повърхността и създаване на полярни кислородсъдържащи групи. Те предизвикват съществена промяна на химичната активност, но променят в голяма степен повърхностните свойства, и преди всичко тези, които характеризират тяхното взаимодействие с различни по природа и полярност течности и разтвори, [1, 2, 3].

Най-често на плазмено-химично активиране се подлагат материали като полимерни (PVC, PET, PE, PP, PTFE) фолия, хартия, картон, текстил. Всички подложки, независимо от тяхната повърхностна природа и морфология, се активират преди влизане в действие на основния технологичен процес. Това са плазмено подпомогнатите, или плазмено предизвиканите технологични процеси, [1, 2].

Атмосферният бариерен разряд (англ. *atmospheric-pressure dielectric barrier discharge*) във въздух се използва за плазмено-химично повърхностно окисляване при атмосферно налягане и стайна температура в две характерни технически реализации, [1, 2, 3]:

- *хибридният бариерен разряд*, или просто *коронният бариерен разряд*, който гори в асиметрична диодна конфигурация, съдържаща два електрода - един изолиран и един неизолиран, като неизолираният електрод създава силно неравномерно електрическо поле - много от водещите производители, като *Enercon*, *Pilar*, *Sigma Technologies* и *Tantec* (САЩ), *Ahlbrandt*, *AFS* и *Softal* (Германия), *Vetaphone* (Дания), наричат този разряд коронен, въпреки, че истинската корона е изместена от диелектричен бариерен разряд, фиг. 1;

- *хомогенният бариерен разряд* (англ. *homogeneous dielectric barrier discharge*), прилаган от *Dow Corning Plasma Solutions* и *Plasma Ireland Ltd.* (Ирландия, 2006), който гори в симетрична диодна копланарна конфигурация с една или две диелектрични бариери при малки въздушни междини и ниско напрежение (до около 10 kV).



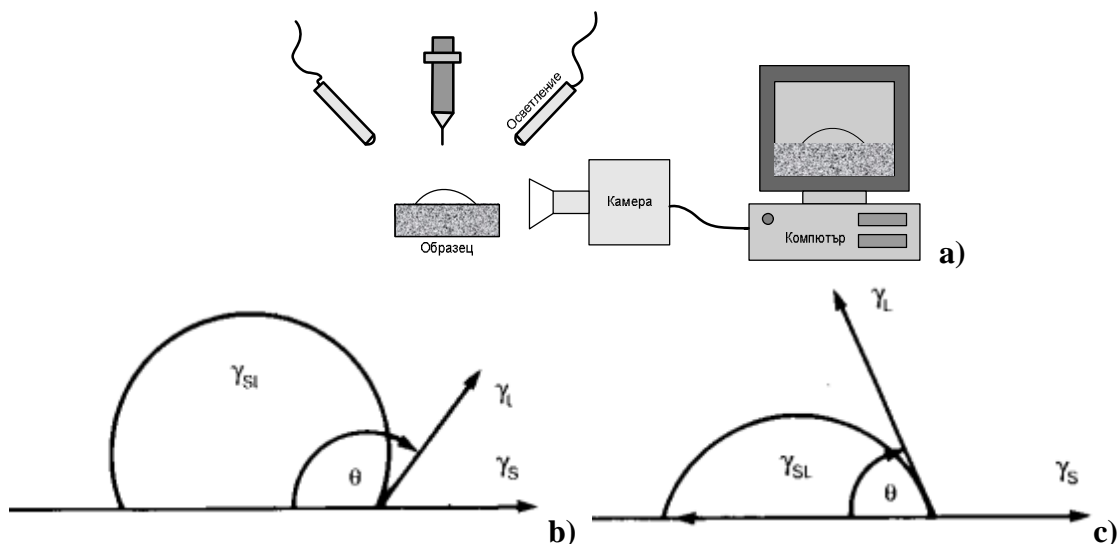
Фиг. 1. Електродна конфигурация на атмосферен бариерен разряд: а - с копланарна диодна система; б – коронен бариерен разряд с диодна система от вида „острие-равнина” и трионовиден електрод.

Плазмено-химичното обработване на повърхността променя съществено нейната повърхностна енергия, мокренето на повърхността от разтвори с различна полярност и измества лиофилно-лиофобното ѝ равновесие. Капковият тест (англ. *sessile drop test*) се използва като основен метод за определяне не само на енергията на повърхността, но и на двете ѝ компоненти – дисперсната и полярната, [5].

**ЗАДАЧАТА** на предприетото експериментално-теоретично изследване е да се изучи изменението на повърхностните свойства на полиестерно изолационно фолио чрез настъпилата промяна на ъгъла на умокряне, на повърхностната енергия и на полярността в резултат на плазмено-химично обработване в хомогенен, нехомогенен и силно нехомогенен атмосферен бариерен електрически разряд във въздух.

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Експерименталните изследвания се провеждат върху гъвкаво изолационно полиестерно (PET, *polyethylene terephthalate*) фолио „Hostaphan KN” (*Mitsubishi Polyester Film, GmbH*, Германия) с дебелина 25  $\mu\text{m}$  и ширина 10 mm, използвано за електроизолационни приложения. Полиестерът се поддава относително лесно на атмосферно плазмено-химично активиране с цел печатане, метализиране, ламиниране, лепене. Това е основната причина той да бъде избран за тестване на различните форми на атмосферния бариерен разряд и на технологичните режими на повърхностно окисление.



Фиг. 2. Принципна схема (а) на оптично измерване на равновесния ъгъл на умокряне  $\theta$ ; повърхностната енергия на твърдата повърхност  $\gamma_S$  е по-малка от повърхностната енергия на течността  $\gamma_L$  (б) и повърхностната енергия на твърдата повърхност  $\gamma_S$  е по-голяма от повърхностната енергия на течността  $\gamma_L$  (с).



Техниката на неподвижната (статичната) капка позволява чрез измерване на равновесния (контактния) ъгъл на умокряне  $\theta$  да се характеризират интегрално настъпилите след плазмено-химично окисляване промени на повърхността, да се определи изменената енергия на повърхността и при определени случаи нейните компоненти - дисперсна и полярна. Равновесният ъгъл на умокряне  $\theta$  се измерва чрез профила на неподвижната капка върху изследваната повърхност, фиг.2а.

Измерванията се извършват с апарат *EasyDrop DSA16* (Krüss, Германия), който измерва ъгъла на умокряне от 0 до 180° с точност  $\pm 0,1^\circ$ . Работи се с три течности: вода ( $\theta = 73 \pm 3^\circ$ ; повърхностна енергия, дисперсна и полярна компонента  $\gamma_S = 72,8 \text{ mJ/m}^2$ ;  $\gamma_S^D = 21,8 \text{ mJ/m}^2$ ;  $\gamma_S^P = 51,0 \text{ mJ/m}^2$ ), CAS No. 7732-18-5; етилен гликол ( $\theta = 46 \pm 3^\circ$ ; повърхностна енергия  $\gamma_S = 47,7 \text{ mJ/m}^2$ ;  $\gamma_S^D = 30,9 \text{ mJ/m}^2$ ;  $\gamma_S^P = 16,8 \text{ mJ/m}^2$ ), CAS No. 107-21-1; и *n*-хексадекан ( $\theta = 2 \pm 2^\circ$ ; повърхностна енергия  $\gamma_S = 27,6 \text{ mJ/m}^2$ ;  $\gamma_S^D = 27,6 \text{ mJ/m}^2$ ;  $\gamma_S^P = 0 \text{ mJ/m}^2$ ), CAS No. 544-76-3, [4].

При мокрене важи следното правило: един материал се умокря, ако неговата повърхностна енергия е по-висока от повърхностната енергия на течността. Това правило е в сила, ако не съществуват специфични проблеми, свързани с адхезията, фиг. 2с, [5].

Изследва се промяната на повърхностните свойства на полиестерното фолио, която настъпва при почистване на повърхността с чист етилов алкохол (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, 96 %). Почистването става чрез натриване с чиста памучна тъкан и подсушаване чрез изпаряване на остатъчната течност при стаини условия за достатъчно дълго време (около 60 min).

**Таблица 1.** Видове атмосферни бариерни разряди и електродни системи и използвани операционни режими на плазмено обработване на PET- лента (*Hostaphan KN*).

Проба №	Режим на плазмено-химично обработване: напрежение и честота	Вид на бариерния разряд и на електродната система
1	контролна проба	не се обработва плазмено химично
2	10 kV, 50 Hz	хомогенен разряд в копланарна електродна система
3	15 kV, 50 Hz	нехомогенен разряд копланарна електродна система
4	7 kV, 50 Hz	коронен бариерен разряд с трионообразен електрод
5	9,5 kV, 50 Hz	коронен бариерен разряд с трионообразен електрод
6	11 kV, 50 Hz	коронен бариерен разряд с трионообразен електрод

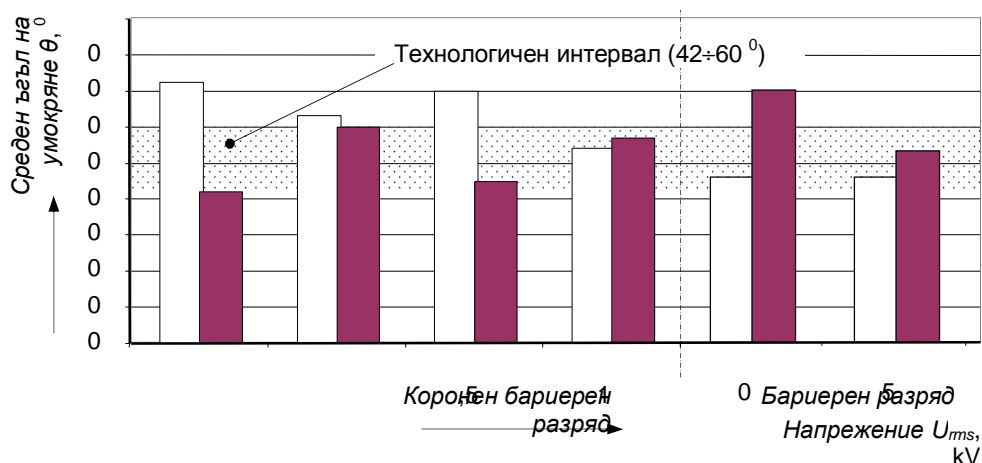
Плазменото обработване не се осъществява след като повърхността е подсушена. Плазменото обработване се провежда с два вида атмосферни бариерни разряди при индустриална честота (50 Hz) и подходящо подбрани операционни режими: квази-хомогенен бариерен разряд в копланарна диодна система (10 kV); нехомогенен бариерен разряд в следните варианти – *i*) копланарна диодна система (15 kV); *ii*) коронен бариерен разряд с нарастващо напрежение 7,0; 9,5 и 11,0 kV, фиг. 2. Продължителността на плазменото повърхностно обработване е 180 s (3 min).

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Използваната техника за измерване на ъгъла на умокряне  $\theta$  и програмно осигуряване позволява да бъдат определени различните параметри на изследваните повърхнини. Измереният равновесен ъгъл на умокряне  $\theta$  (измерен след 60 s) на изследваните PET-повърхнини с дестилирана вода (силно полярна течност  $\gamma_S^P > \gamma_S^D$ ;  $51,0 > 21,8 \text{ mJ/m}^2$ ;  $\gamma_S = 72 \text{ mJ/m}^2$ ) са представени на фиг. 3.

Почистването с етилов алкохол на *PET*- повърхността радикално променя нейните повърхностни свойства, като равновесният ъгъл на умокряне намалява до долната граница на известния технологичен (ефективен за печатане, лепене, ламиниране) интервал, фиг. 3.

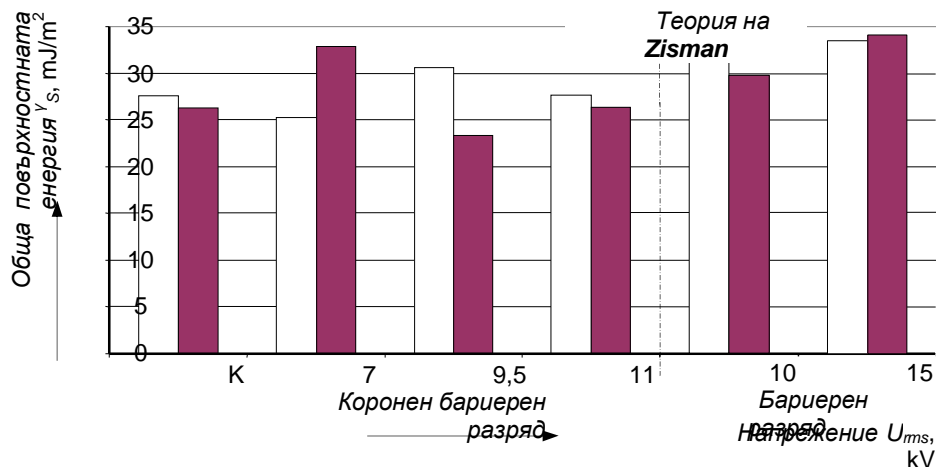
Плазменото активиране зависи силно от началното състояние на повърхността – непочистена или почистена. Най-добро активиране се получава при обработване с хомогенен бариерен разряд (10 kV), като вторият режим на бариерния разряд дава близки стойности. За сметка на това коронният бариерен разряд слабо променя равновесния ъгъл на умокряне – едва при най-интензивния режим на обработване се влиза в границите на технологичната ефективност, фиг. 3.



**Фиг. 3.** Средна стойност на равновесния ъгъл на умокряне  $\theta$  за различните *PET*- проби: контролна необработена повърхност (К), непочистена (бяло) или почистена (сиво) с етилов алкохол повърхност и плазмено обработена повърхност.

Плазменото обработване на почистената повърхност може да се възприеме като почистване от етиловия алкохол, който се явява замърсител, който променя съществено свойствата на повърхността. Отново се установява, че хомогенният бариерен разряд е най-ефективен, като след плазмено обработване за време от 180 s възстановява нейните свойства, фиг. 3.

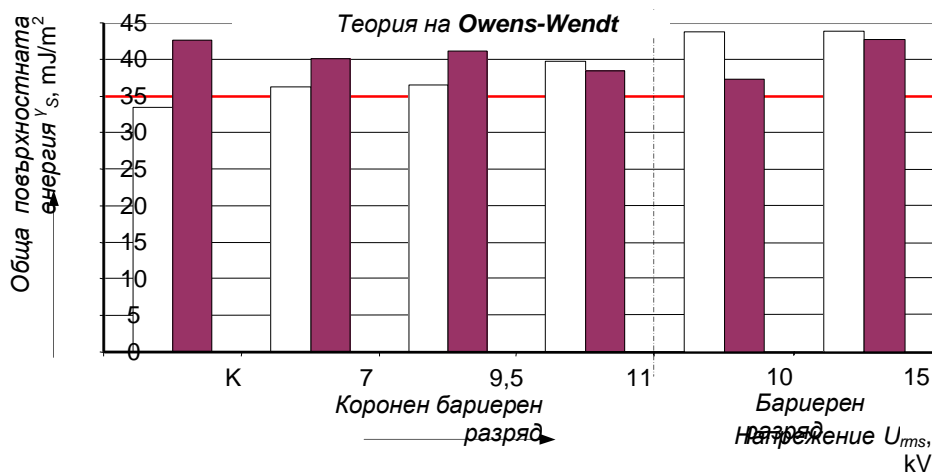
Твърдението на някои автори, [6], че повърхностното плазмено обработване (активиране или почистване) за времена под 300 s (5 min) не изменя съществено повърхностните свойства не е общовалидно. Всичко зависи от електродната система и вида на разряда, както и от операцияния режим на обработване, фиг. 3.





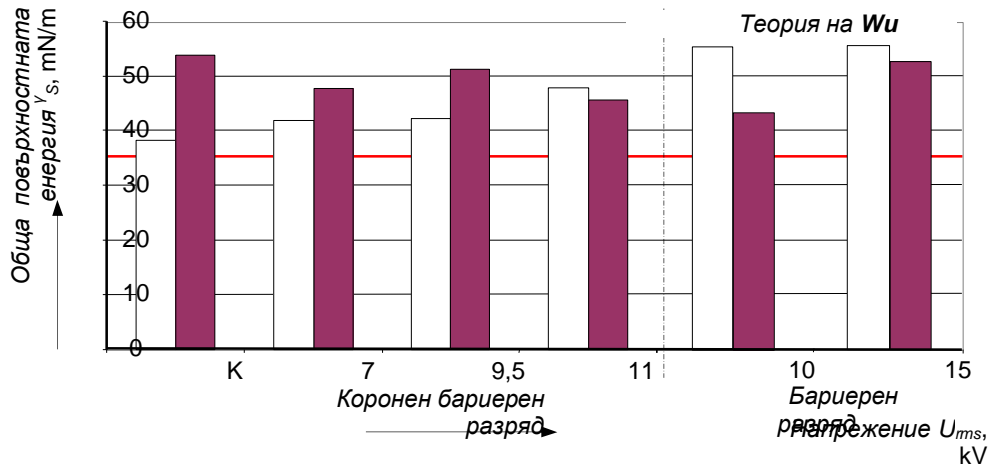
**Фиг. 4.** Повърхностна енергия  $\gamma_s$  на различните *PET*-проби, определена по теорията на *Zisman*: контролна необработена повърхност (*К*), непочистена (*бяло*) или почистена (*сиво*) с етилов алкохол повърхност и съответно плазмено обработена повърхност.

Повърхностната енергия, определена чрез теорията на *Zisman*, фиг. 4, отразява условието за равенство на енергиите на адхезия и кохезия, т.е. условно определя повърхностната енергия при  $\cos \theta = 1$ . Някои фирми (*Accudynetest Inc.*; *Enercon Industries Corp.*, САЩ), [5], обобщават своя опит в плазменото обработване чрез повърхностната енергия по *Zisman*, тъй като тя дефинира само една стойност за сравнение. Те препоръчват ефективни технологични интервали (в  $\text{mJ/m}^2$ ), например приложението на водни разтвори изисква следния ефективен интервал на изменение на повърхностната енергия при офсетов и литографски печат – 46÷56; при нанасяне на покрития – 42÷52; при ламиниране - 46÷60. Приложението на неводни разтвори изисква различен ефективен интервал на изменение на повърхностната енергия при офсетов и литографски печат – 42÷46; при нанасяне на покрития – 42÷48; при ламиниране - 42÷48. Ултравioletовото изсъхване (омрежване) изисква друг интервал на изменение на повърхностната енергия при офсетов и литографски печат – 44÷56; при нанасяне на покрития – 46÷60; при ламиниране - 44÷60, [4].



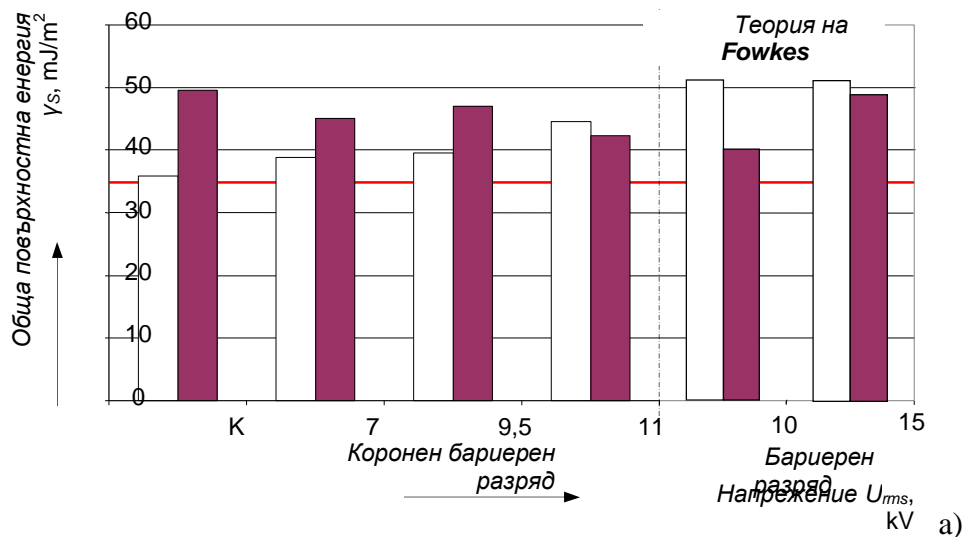
**Фиг. 5.** Повърхностна енергия  $\gamma_s$  на различните *PET*-проби, определена по теорията на *Owens-Wendt* (а): контролна необработена повърхност (*К*), непочистена (*бяло*) или почистена (*сиво*) с етилов алкохол повърхност и съответно плазмено обработена повърхност.

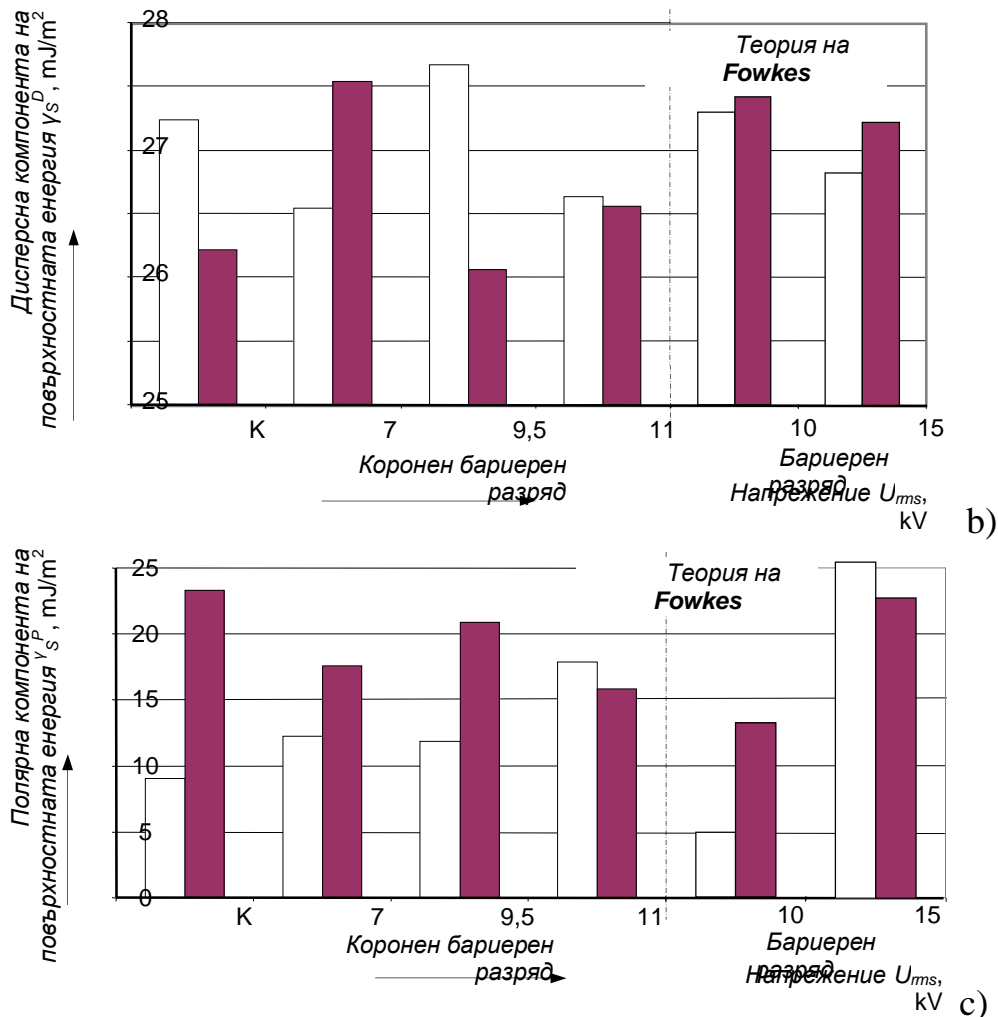
Анализът на получените резултати показва отново предимствата на хомогенния бариерен разряд. Трябва, обаче, да се признае, че времетраенето на плазменото активиране трябва да се увеличи, за да се влезе в този препоръчван технологичен интервал на повърхностната енергия. Теорията на *Zisman* е в сила при неполярни повърхности, което не може да се твърди за почистената с етилов алкохол или плазмено обработената *PET*-повърхност. Единствено възможният анализ е анализът чрез сравнение с емпиричните стойности, публикувани от водещи фирми, производители на технологично оборудване и създатели на плазмени технологии. Сравнението става по един единствен показател, фиг. 4.



**Фиг. 6.** Повърхностна енергия  $\gamma_s$  на различните PET- проби, определена по теорията на Wu: контролна необработена повърхност (K), непочистена (бяло) или почистена (сиво) с етилов алкохол повърхност и съответно плазмено обработена повърхност.

Теорията на Wu е неприложима към изследването на PET- фолио и неговата повърхностна модификация, тъй като определената повърхностна енергия е над  $35 \text{ mJ/m}^2$ . Тези повърхнини не са типичните нискоенергийни повърхнини, за които теорията на Wu е в сила, [4]. Въпреки това получените стойности на повърхностната енергия  $\gamma_s$  подчертават предимството на квази-хомогенния атмосферен бариерен разряд пред останалите източници на студена атмосферна плазма, фиг. 6.





**Фиг. 7.** Повърхностна енергия  $\gamma_S$  (a), дисперсна  $\gamma_S^D$  (b) и полярна  $\gamma_S^P$  (c) компонента на повърхностната енергия на различните PET- проби, определена по теорията на Fowkes: контролна необработена повърхност (K), непочистена (бяло) или почистена (сиво) с етилов алкохол повърхност и съответно плазмено обработена повърхност.

Двете, теорията на Owens и Wendt, фиг. 5, както и теорията на Fowkes, фиг. 7, са приложими към изследвания обект. Чрез теорията на Fowkes са изчислени повърхностната енергия  $\gamma_S$ , компонентите на повърхностната енергия  $\gamma_S$  - неполярната или дисперсната  $\gamma_S^D$  и полярната  $\gamma_S^P$ , фиг. 7, и полярността на повърхността  $\rho$ , фиг. 8.

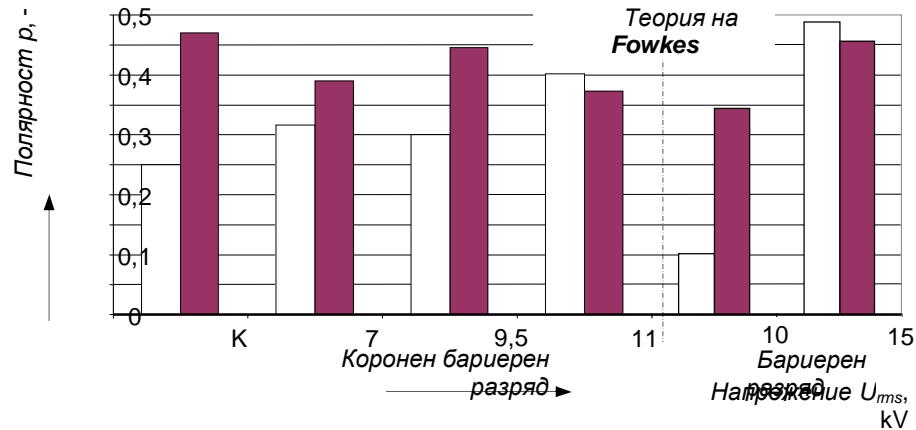
Най-ефективен източник на студена плазма отново се оказва квази-хомогенния бариерен разряд, който увеличава повърхностната енергия на PET- фолиото с около 17 mJ/m<sup>2</sup> (без почистване с етилов алкохол), фиг. 7a.

Интересен е установеният факт, че полярната компонента на повърхностната енергия  $\gamma_S^P$  намалява в този случай, което се явява изключение в сравнение с останалите изследвани операционни режими. При тях повишаването на повърхностната енергия  $\gamma_S$  става за сметка на увеличаването на полярната компонента на повърхностната енергия  $\gamma_S^P$  и на полярността на PET- повърхността, фиг. 7c.

Нехомогенният режим на бариерния разряд и всички операционни режими на коронния бариерен разряд показват по-ниска ефективност.

Максимална полярност  $\rho$  се постига отново при копланарната електродна конфигурация на бариерния разряд – до 0,49, фиг. 8.

Независимо от широкото разпространение на коронния бариерен разряд в практиката на плазменото почистване и активиране, той отстъпва по ефективност на бариерния разряд с копланарна диодна система, фиг. 5 и 7.



**Фиг. 8.** Полярност  $\rho$  на различните PET- проби, определена по теорията на Fowkes: контролна необработена повърхност (K), непочистена (бяло) или почиствена (сиво) с етилов алкохол повърхност и съответно плазмено обработена повърхност.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Равновесният ъгъл на умокряне, повърхностната енергия на PET- изолационно фолио и нейните компоненти са използвани за анализ на технологичната ефективност на различни атмосферни източници на студена плазма и операционни режими на студено плазмено обработване.

Експериментално е доказана високата технологична ефективност на хомогенния бариерен разряд. Полярната компонента и полярността на повърхността, обаче, не се променят съществено, което показва, че технологичният ефект вероятно се дължи на ефективно окисление на повърхността от генерирания озон и химически активните продукти от неговото разпадане.

Почистването на PET- изолационното фолио с етилов алкохол променя съществено повърхностната активност в посока на хидрофилизаране, което променя съществено изолационните качества на повърхността и има отношение към възприемането на различни по природа замърсявания отвън.

Съвместяването на двата инструмента за променяне на повърхностните свойства на PET- изолационното фолио – почистването с етилов алкохол и активирането със студена атмосферна плазма не носи промяна в една посока и може да стане причина за намаляване или заличаване на ефекта от плазмено-химичното активиране, проведено върху почиствената с етилов алкохол PET- повърхност.

### Благодарности

Това изследване е проведено при финансовата поддръжка на Научно-изследователския сектор при Техническия университет – София чрез проекта за научни изследвания 091-ни-093-01 от 2009.

### ЛИТЕРАТУРА

- Roth, J. R. *Industrial Plasma Engineering: Application of non-thermal plasma processing*. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 2001.
- Shishoo, R. *Plasma Technologies for Textile*. Cambridge: Woodhead, 2007.
- Fridman, A. *Plasma Chemistry*. Cambridge University Press, 2008.
- Contact angle. [www.kruss.de](http://www.kruss.de) – фирмени материали на „Krüss GmbH, Германия;
- Markgraf, D. *Corona treatment: An Overview*. [www.enerconind.com](http://www.enerconind.com).



---

12. Nashuta, G., G. Rusu, I. Topala, A. Chiper, G. Popa. *Surface Modifications of Polymer Induced by Atmospheric DBD Plasma in Different Configurations*. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 10, No. 8, August 2008, pp. 2038 ÷ 2042.

#### За авторите

д-р **Петър Дончев Динев** е доцент по електротехнологични процеси и апарати към Електротехнически факултет на Технически университет в София. Неговите основни области на научен интерес и дейност са: електротехнологични процеси и апарати, полимерно материалознание, инженерство на повърхнините, плазмени технологии и електрохимия. Експертна и преподавателска дейност в областта на технологията на материалите. София 1000, Технически университет, Електротехнически факултет.

д-р **Диляна Николаева Господинова** е доцент по електротехнологии към Електротехнически факултет на Технически университет в София. Нейните основни области на научен интерес и дейност са: електротехнологични процеси и апарати, инженерство на повърхнините и плазмени технологии. Експертна и преподавателска дейност в областта на технологията на материалите. София 1000, Технически университет Електротехнически факултет.



ТУ-София

Дни на Науката в ТУ-София



Електротехнически факултет

I Научна конференция ЕФ'2009

Созопол, 1 – 4 октомври 2009 г.

---

**Секция**  
**“ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА И**  
**ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ”**



## СТЕНД - СИМУЛАТОР НА ОПЕРАТИВНИ ПРЕВКЛЮЧВАНИЯ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИ УРЕДБИ

Десислав Тодоров, Андрей Крумов, Александър Овчаров, Красимир Боев, Георги Бакалки, Атанас Апостолов, Добри Добрев, Стефан Драгостинов, Маргарита Гъркова, Албена Костова, Емил Вълчев

**Резюме:** В катедра „Електроенергетика“ на Технически университет – София е проектиран и е в процес на реализация стенд – симулатор на оперативни превключвания в РУ. Стендът позволява симулиране на всички видове схеми на електрически уредби с еднократно свързване на присъединенията и превключванията в тях, както и запознаване с нови технически решения за управление и събиране на данни.

### Предназначение и структура на симулатора

Оперативната работа в подстанциите е многостранна и отговорна. Тя изисква от персонала да познава конструкциите, допустимите и икономичните режими на работа, правилата за техническа експлоатация на обслужваните съоръжения, да умее да прилага знанията и опита си в напрегната и сложна обстановка, която може да възникне внезапно, да притежава производствени навици, обуславящи вземане на правилни решения и бързина на оперативните действия. Оперативната работа трябва да се извършва при строго спазване на производствената дисциплина и със съзнание за лична отговорност на персонала за всяко изпълнявано действие.

В катедра „Електроенергетика“ на Технически университет – София е проектиран и е в процес на реализация стенд – симулатор на оперативни превключвания в разпределителни уредби (РУ). Симулаторът дава възможност за:

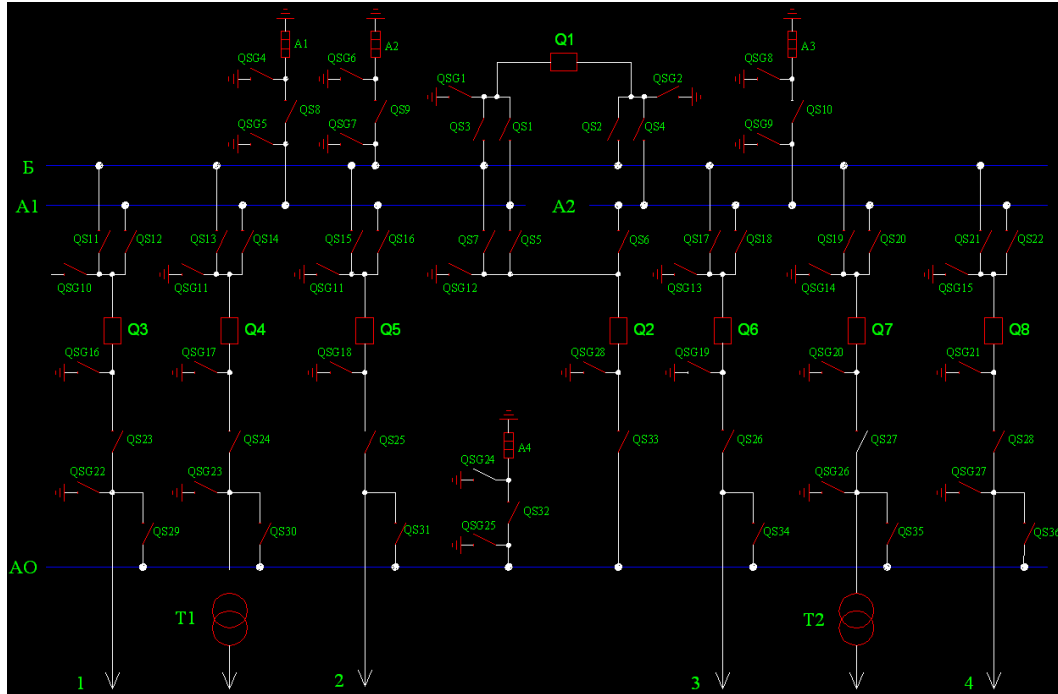
- Обучение по видовете схеми на РУ с еднократно свързване на присъединенията;
- Извършване на манипулации със съоръженията в определен ред;
- Запознаване и действие с блокировките;
- Действие в предаварийни и аварийни ситуации;
- Анализ на събития при действие или отказ на релейна защита и автоматика, изключване или повреда на прекъсвач, определящ по-нататъшните действия на оператора;
- Развойна среда за автоматизирани системи за управление и събиране на данни в разпределителни уредби;

### Описание на стенда

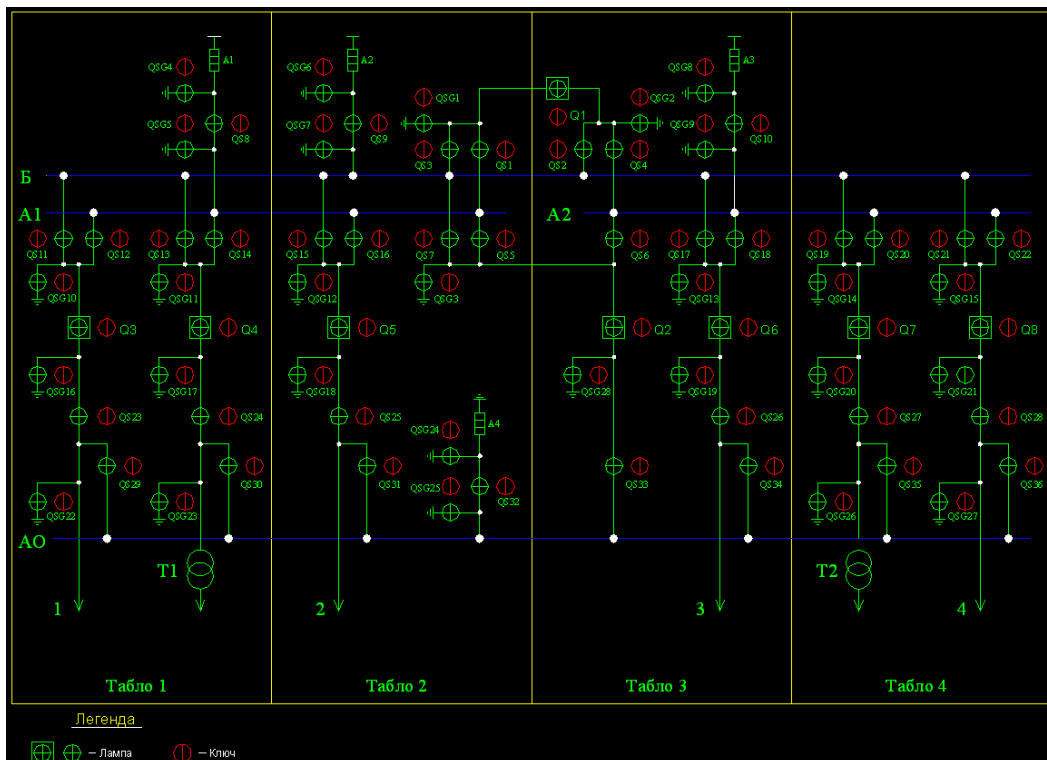
Принципната схема на симулатора е показана на Фигура 1. Изграждането на стенда се осъществява на два етапа:

- Първи етап – реализация на командните табла и тяхното управление, разработване на софтуер за програмируем логически контролер;
- Втори етап – интегриране на софтуер за управление и събиране на данни, изработване на релейни табла и осъществяване на връзката им с операторското работно място.

До момента е завършен първият етап. Изработени са командните табла и програмното осигуряване за тяхното управление. Това позволява реализацията на първите три от посочените във въведението възможности.



Фигура 4: Принципна схема на стенд - симулатор на оперативни превключвания



Фигура 3: Мнемонична схема на стенд - симулатор на оперативни превключвания



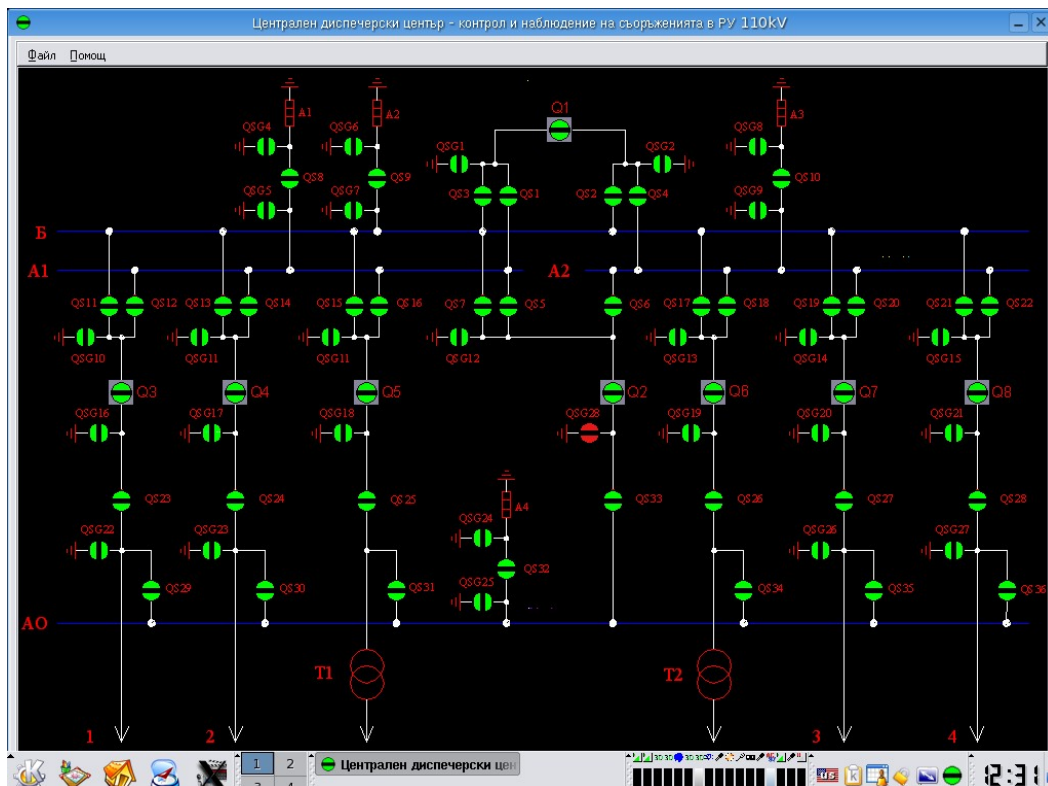


Стендът е проектиран така, че да могат да се симулират превключвания в разпределителни уредби с еднократно свързване на присъединенията по всички възможни схеми. Мнемоничната схема е показана на Фигура 2. Тя се състои от четири линейни и две трансформаторни присъединения. Прекъсвачът Q1 изпълнява ролята на секционен или шиносъединителен прекъсвач в зависимост от това кои от принадлежащите му разединители са включени. Обходният прекъсвач Q2 може да свързва всяка една от работните шини с обходната, с помощта на съответните разединители.

Различните видове превключвания се изпълняват на място, с ключовете за управление, или дистанционно, посредством терминал ( персонален компютър ).

### Информационна система за дистанционно управление и събиране на информация

За реализацията на системата за дистанционно управление и събиране на информация се използва Линукс операционна система и софтуер с отворен програмен код MATPLC, система за визуализация HMI\_GTK2 и система за управление на базата данни



Фигура 5: Екран на терминал на стенд - симулатор на оперативни превключвания

LOGGER\_DB. Екранът на терминала е показан на Фигура 3.

### Програмируем контролер



Програмируемият контролер представлява разпределена комуникационна входо – изходна система съдържаща процесорен блок тип DP99 и входно изходни блокове „DIOS”, производство на българската фирма „Комикон”. Той имитира действието на прекъсвачите и разединителите в схемата. Сигналите от ключовете за управление се подават към цифровите входове на контролера. Показващата сигнализация за положението на комутационната апаратура е реализирана със светлинни указатели, които се управляват от цифровите изходи. Обмяната на информация между входо-изходните блокове “DIOS” и процесорният блок DP99 се извършва по мрежата „DIOSBUS”. Процесорният модул може да обработва информация от не повече от 31 „DIOS” блока. Конкретната конфигурация съдържа 136 броя дискретни входа (X) и 136 дискретни изхода (Y).

#### *Комуникационни интерфейси на програмируемият логически контролер*

##### Интерфейс RS232

DP99 поддържа интерфейс RS232 за директна връзка с компютър. Протоколът за обмен на информация е Modbus като контролерът е подчинен на персоналния компютър.

##### Интерфейс DIOSBUS

DIOSBUS е мрежов интерфейс RS485, с преносна среда усукана двойка. Топологията на мрежата DIOSBUS е магистрална. Комуникацията в мрежата DIOSBUS е от типа MASTER/SLAVE, като DP99 играе ролята на MASTER, който управлява обмена на данни в мрежата, а останалите устройства, в конкретната реализация блокове „DIOS”, са SLAVE и отговарят на заявките на DP99. Отделните елементи на контролера са разположени в различни командни табла.

#### **Табла**

Цялата постановка е реализирана върху 4 броя рехабилитирани табла с размери 800/600/1800 mm. На лицевата страна е залепено автомобилно фолио с отпечатана върху него мнемонична схема.



Фигура 6: Командни табла към стенд - симулатор на оперативни прекъсвания



### Действие на стенда

Реализирани са две работни шинни системи, от които едната е секционирана (U1, UD1, UD2), и една обходна UA. Ръководителят на работата задава предварително схемата на уредбата и според нея са активирани съответните шини и присъединения. Така може да се симулират схеми с единична, единична секционирана, двойна, двойна секционирана и двойна с обходна шинни системи.

Индикацията за активните в даден момент шинни системи и присъединения се осъществява с помощта на светодиоди, монтирани в мястото на връзката на всяко присъединение със съответната шина. Светодиодите се управляват от цифрови изходи на контролера.

Оперативните и защитните блокировки в уредбата са реализирани програмно. При грешна манипулация се подава сигнал и се прекратява изпълнението на превключванията.

### Заклучение

Симулаторът създава възможност за добиване на необходимите знания и навици от обучаващите се при извършване на оперативни превключвания и анализ на действието на релейната защита и автоматика. Изграден като една реална уредба на безопасно напрежение, той предоставя неоспорими възможности за запознаване със съоръженията в една разпределителна уредба и тяхното управление, релейните защиты, сигнализации и блокировки.

Управлението на комутационните апарати може да се извършва с ключове за управление, както е все още в много командни зали у нас. Има възможност и за управление от операторското работно място чрез терминал.

Стенд-симулаторът ще е полезен и за изследване на влиянието на човешкия фактор при нормални и аварийни експлоатационни условия.

### Литература

1. Етърски, С.И. Електрическа част на електрически централи. С., Техника, 1994.
2. Врангов, Й. Режимы на основните електрически съоръжения в централите. С., Техника, 1990.
3. Наредба № 3 от 9 юни 2004 г. за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии.
4. Филатов, А. Оперативно обслужване на електрически подстанции, АБЦ Техника, 1982.
5. DEF Stan 00-25 Human factors for designers of equipment, 1989
6. IEC 60964 Design for control rooms to nuclear power plants, 1989
7. IEEE 1023 IEEE guide for the application of human factors engineering to systems, equipment and facilities of nuclear power generation stations, 1988

Доц. Д-р инж. Андрей Крумов, Технически Университет – София, тел. 02/9652119, [ankrumov@tu-sofia.bg](mailto:ankrumov@tu-sofia.bg)

Доц. Д-р инж. Александър Овчаров, Технически Университет – София, тел. 02/9652093, [aovcharov@tu-sofia.bg](mailto:aovcharov@tu-sofia.bg)

Доц. Д-р инж. Красимир Боев, Технически Университет – София, тел. 02/9652117, [boevkr@tu-sofia.bg](mailto:boevkr@tu-sofia.bg)

Ст. ас. Маг. инж. Десислав Тодоров, Технически Университет – София, тел. 02/9652119, [desislav.todorov@tu-sofia.bg](mailto:desislav.todorov@tu-sofia.bg)

Георги Бакалски, Атанас Апостолов, Добри Добрев, Стефан Драгостинов, Маргарита Гъркова, Албена Костова, Емил Вълчев – Дипломанти към катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет – София.



## МОДЕЛИРАНЕ НА ПРИХОДИТЕ ПРИ АНАЛИЗ НА ПРОЕКТИТЕ С ВЪЗОБНОВЯЕМИ ИЗТОЧНИЦИ НА ЕНЕРГИЯ

Кондю Андонов, Красимир Мартев, Константин Коев, Огнян Диолов, Атанаска Новакова

*Обследвани са фотоволтаичен енергиен парк (117 kW) и ветрен генератор (225 kW). Предложена е методика за оценка и прогнозиране на приходите от продажба и търговия с вредни емисии от произвежданата електрическа енергия, с отчитане на лихвите, инфлацията и промените в цената на тази енергия. Целта на методиката е даване на възможност за оценка на технико-икономическата ефективност на проектите и управление на енергийните паркове. Установени са промените в стойностите на приходите от обследвания фотоволтаичен парк.*

### Въведение

У нас вече се изграждат и се експлоатират редица ветрени и фотоволтаични енергийни паркове. Мощността им непрекъснато нараства. Сета те са неразделна част от електроенергийната ни система. Един от основните въпроси при тяхното внедряване е технико-икономическата оценка на проектите. При това вложените инвестиции следва да се възвръщат за сметка на произвежданата от тях електрическа енергия. Особеност тук е, че постъпленията от произведената енергия се реализират във времето и имат сезонен и променлив характер. Друга особеност е, че приходите се реализират както от продажбата на електрическата енергия, така и от търговията с вредни емисии. При оценката на приходите от продажбите е съществена сегашната стойност на произвежданата електрическа енергия, а при определянето на приходите от търговията с вредните емисии – стойността им във времето. Следователно, в съответствие със спецификата на енергопроизводството и за да се осъществи прецизна оценка на приходите и на реалната ефективност на проектите за енергийните паркове, е необходимо да се отчитат лихвите, инфлацията и промените в цената на енергията. Постигането на тази цел изисква създаване на методика, чрез която да се отчита сегашната стойност на приходите от продажбите и стойността на приходите във времето от търговията с вредните емисии.

Целта на доклада е разработване на модели за определяне на приходите от продажбите на произведената електрическа енергия и търговията с вредните емисии, които да се използват при анализ на проектите с възобновяеми енергийни източници.

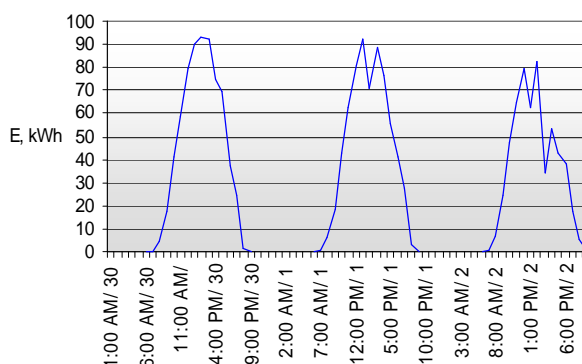
Обследвани са фотоволтаична електроцентрала и ветрен електрогенератор, с мощности съответно 117 kW и 225 kW, в периода август, 2008 г. – юли, 2009 г. Представени са подробни данни за електропроизводството за три характерни денонощия.

### Методика за оценка на приходите

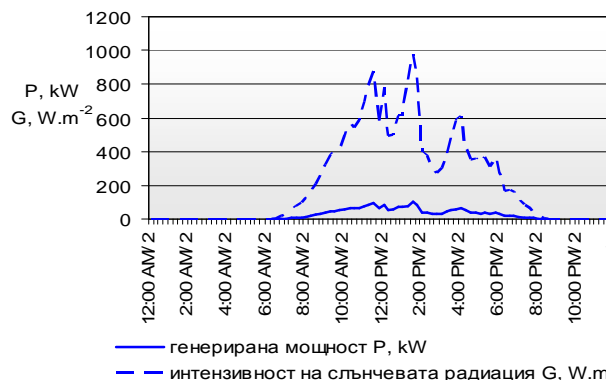
#### 1. Сегашна стойност на приходите

Очакваните приходи от електрическата енергия, произведена от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ), имат различно ниво както по денонощия, така и по месеци и години. Различията се дължат на променливия характер на основните фактори, определящи производството на електрическата енергия. Пример за това са представените графици на произвежданата електрическа енергия, в продължение на три последователни денонощия, от фотоволтаичен (фиг.1, фиг.2) и ветрен (фиг. 3, фиг.4) енергийни паркове.

Денонощните изменения на електрическата енергия, получена чрез преобразуване на слънчевата радиация, се характеризират с ясно изразен максимум в часовете на най-голяма слънчева активност – (13:00...14:00) h (фиг.1). Генерираната електрическа мощност е многократно по-малка от интензивността на слънчевата радиация, а съотношението между тези величини показва изключително ниската стойност на к. п. д. на фотоволтаичните преобразуватели - (10...12) % (фиг.2).

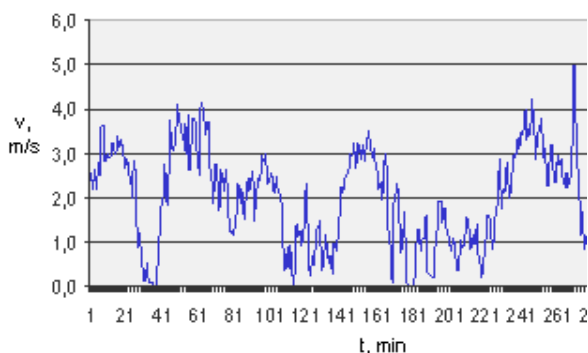


Фиг.1. Произведена електрическа енергия за три последователни денонощия (30.04.2009-02.05.2009 г.)

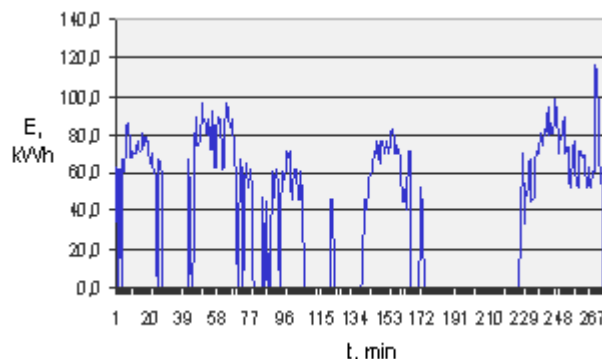


Фиг.2. Изменения на интензивността на слънчевата радиация и мощността на произведената електрическа енергия (02.05.2009 г.)

Скоростта на вятъра, която е определящ фактор при производството на електрическа енергия от ветрените генератори, се изменя много динамично през денонощието (фиг.3). Аналогични са измененията на произвежданите количества електрическа енергия. Много малките скорости на вятъра не могат да задвижат турбините на генераторите и затова в графиката от фиг.4 са налице периоди, в които не се произвежда електрическа енергия.



Фиг.3. Изменение на скоростта на вятъра, през 15 min, в продължение на три последователни денонощия (30.04.2009-02.05.2009 г.).



Фиг.4. Произведена електрическа енергия в продължение на три последователни денонощия (30.04.2009-02.05.2009 г.).

Променливият характер на производството на електрическа енергия изисква приходите да се определят чрез сконтирането им, като се отчита тяхното разпределение по месеци и години. Изчисляването на приходите по месеци е удобно, защото най-малкият период, за който се определят лихвата и инфлацията, обикновено е един месец. Сконтирането на нетните приходи, за период от 5 години, се определя чрез моделите, представени в табл.1, като се използват резултати от [2,3].

Очакваните месечни приходи от произведената електрическа енергия са означени с  $V$ , в лв., с индекс римска цифра, който съответства на номера на месеца в годината. Например  $V_X$  представляват приходите за десетия месец от годината - октомври.

Таблица 1

Сегашна стойност на приходите по месеци и години

Приходи	Приходи по години
---------	-------------------



по месеци	1 година	2 година	3 година	4 година	5 година
$B_X$	-	$B_{IX} / (1+r)^{12}$	$B_{IX} / (1+r)^{24}$	$B_{IX} / (1+r)^{36}$	$B_{IX} / (1+r)^{48}$
$B_{XI}$	$B_X / (1+r)$	$B_X / (1+r)^{13}$	$B_X / (1+r)^{25}$	$B_X / (1+r)^{37}$	$B_X / (1+r)^{49}$
$B_{XII}$	$B_{XI} / (1+r)^2$	$B_{XI} / (1+r)^{14}$	$B_{XI} / (1+r)^{26}$	$B_{XI} / (1+r)^{38}$	$B_{XI} / (1+r)^{50}$
$B_I$	$B_{XII} / (1+r)^3$	$B_{XII} / (1+r)^{15}$	$B_{XII} / (1+r)^{27}$	$B_{XII} / (1+r)^{39}$	$B_{XII} / (1+r)^{51}$
$B_{II}$	$B_I / (1+r)^4$	$B_I / (1+r)^{16}$	$B_I / (1+r)^{28}$	$B_I / (1+r)^{40}$	$B_I / (1+r)^{52}$
$B_{III}$	$B_{II} / (1+r)^5$	$B_{II} / (1+r)^{17}$	$B_{II} / (1+r)^{29}$	$B_{II} / (1+r)^{41}$	$B_{II} / (1+r)^{53}$
$B_{IV}$	$B_{III} / (1+r)^6$	$B_{III} / (1+r)^{18}$	$B_{III} / (1+r)^{30}$	$B_{III} / (1+r)^{42}$	$B_{III} / (1+r)^{54}$
$B_V$	$B_{IV} / (1+r)^7$	$B_{IV} / (1+r)^{19}$	$B_{IV} / (1+r)^{31}$	$B_{IV} / (1+r)^{43}$	$B_{IV} / (1+r)^{55}$
$B_{VI}$	$B_V / (1+r)^8$	$B_V / (1+r)^{20}$	$B_V / (1+r)^{32}$	$B_V / (1+r)^{44}$	$B_V / (1+r)^{56}$
$B_{VII}$	$B_{VI} / (1+r)^9$	$B_{VI} / (1+r)^{21}$	$B_{VI} / (1+r)^{33}$	$B_{VI} / (1+r)^{45}$	$B_{VI} / (1+r)^{57}$
$B_{VIII}$	$B_{VII} / (1+r)^{10}$	$B_{VII} / (1+r)^{22}$	$B_{VII} / (1+r)^{34}$	$B_{VII} / (1+r)^{46}$	$B_{VII} / (1+r)^{58}$
$B_{IX}$	$B_{VIII} / (1+r)^{11}$	$B_{VIII} / (1+r)^{23}$	$B_{VIII} / (1+r)^{35}$	$B_{VIII} / (1+r)^{47}$	$B_{VIII} / (1+r)^{59}$

където  $r$  е реалната лихва, в относителни единици (о.е.), и се определя чрез зависимостта [1]:

$$r = \frac{n_r - b}{1 + b}, \quad (1)$$

където  $n_r$  е действителната лихва, о.е.;

$b$  - инфлацията, о.е.

Степенните показатели в зависимостите, представени в табл.1, представляват броя на месеците от стартирането на проекта.

## 2. Приходи от търговията с вредните емисии

Приходите от търговията с вредните емисии, както сегашната стойност на приходите, се разпределят също по месеци и години. За целта за тях е необходимо да се определя стойността им във времето, съобразно нивото на инфлацията към всеки един от моментите – месеци, години. В съответствие с тази специфика и резултатите от изследването, показани в [4], са предложени модели за определяне стойността на приходите от търговията с вредните емисии (табл. 2). Коефициентите  $b_1, b_2, b_3, b_4, \dots$  в тези зависимости, отчитат месечната инфлация, в о.е., по години.

Очакваните месечни приходи от търговията с вредните емисии представляват произведение от параметъра  $B$  и количеството произведена електрическа енергия  $B_w$ , с допълнителен индекс римска цифра, който съответства на номера на месеца в годината. Например  $B \cdot B_{wX}$  представляват приходите за десетия месец от годината - октомври.

Таблица 2

Зависимости за определяне стойността на приходите от търговията с вредните емисии

Приходи по	Приходи по години				
	1 година	2 година	3 година	4 година	.....



месеци					
V.B <sub>Wx</sub>	$V.B_{Wx} \cdot (1+b_1)^{11}$	$V.B_{WIX} \cdot (1+b_2)^{23}$	$V.B_{WIX} \cdot (1+b_3)^{35}$	$V.B_{WIX} \cdot (1+b_4)^{47}$	.....
V.B <sub>Wxi</sub>	$V.B_{Wxi} \cdot (1+b_1)^{10}$	$V.B_{Wx} \cdot (1+b_2)^{22}$	$V.B_{Wx} \cdot (1+b_3)^{34}$	$V.B_{Wx} \cdot (1+b_4)^{46}$	.....
V.B <sub>Wxii</sub>	$V.B_{Wxii} \cdot (1+b_1)^9$	$V.B_{Wxi} \cdot (1+b_2)^{21}$	$V.B_{Wxi} \cdot (1+b_3)^{33}$	$V.B_{Wxi} \cdot (1+b_4)^{45}$	....
V.B <sub>Wwi</sub>	$V.B_{Wwi} \cdot (1+b_1)^8$	$V.B_{Wxii} \cdot (1+b_2)^{20}$	$V.B_{Wxii} \cdot (1+b_3)^{32}$	$V.B_{Wxii} \cdot (1+b_4)^{44}$	.....
V.B <sub>Wwii</sub>	$V.B_{Wwii} \cdot (1+b_1)^7$	$V.B_{Wwi} \cdot (1+b_2)^{19}$	$V.B_{Wwi} \cdot (1+b_3)^{31}$	$V.B_{Wwi} \cdot (1+b_4)^{43}$	....
V.B <sub>Wwiii</sub>	$V.B_{Wwiii} \cdot (1+b_1)^6$	$V.B_{Wwii} \cdot (1+b_2)^{18}$	$V.B_{Wwii} \cdot (1+b_3)^{30}$	$V.B_{Wwii} \cdot (1+b_4)^{42}$	.....
V.B <sub>Wwiv</sub>	$V.B_{Wwiv} \cdot (1+b_1)^5$	$V.B_{Wwiii} \cdot (1+b_2)^{17}$	$V.B_{Wwiii} \cdot (1+b_3)^{29}$	$V.B_{Wwiii} \cdot (1+b_4)^{41}$	.....
V.B <sub>Wwv</sub>	$V.B_{Wwv} \cdot (1+b_1)^4$	$V.B_{Wwiv} \cdot (1+b_2)^{16}$	$V.B_{Wwiv} \cdot (1+b_3)^{28}$	$V.B_{Wwiv} \cdot (1+b_4)^{40}$	....
V.B <sub>Wwvi</sub>	$V.B_{Wwvi} \cdot (1+b_1)^3$	$V.B_{Wwv} \cdot (1+b_2)^{15}$	$V.B_{Wwv} \cdot (1+b_3)^{27}$	$V.B_{Wwv} \cdot (1+b_4)^{39}$	...
V.B <sub>Wwvii</sub>	$V.B_{Wwvii} \cdot (1+b_1)^2$	$V.B_{Wwvi} \cdot (1+b_2)^{14}$	$V.B_{Wwvi} \cdot (1+b_3)^{26}$	$V.B_{Wwvi} \cdot (1+b_4)^{38}$	....
V.B <sub>Wwviii</sub>	$V.B_{Wwviii} \cdot (1+b_1)$	$V.B_{Wwvii} \cdot (1+b_2)^{13}$	$V.B_{Wwvii} \cdot (1+b_3)^{25}$	$V.B_{Wwvii} \cdot (1+b_4)^{37}$	...
V.B <sub>Wwix</sub>	$V.B_{Wwix}$	$V.B_{Wwviii} \cdot (1+b_2)^{12}$	$V.B_{Wwviii} \cdot (1+b_3)^{24}$	$V.B_{Wwviii} \cdot (1+b_4)^{36}$	....

Параметърът  $V$ , в EUR/kWh, от посочените в табл.2 зависимости, е определен в [1] като

$$V = f_i \cdot 10^{-6} \cdot C_{ECP}, \quad (2)$$

където  $C_{ECP}$  е средната цена на квотата за търговия с вредните емисии, EUR/t CO<sub>2</sub>;

$f_i$  - коефициентът на екологичен еквивалент на  $i$ -я вид енергиен ресурс, g CO<sub>2</sub>/kWh.

### 3. Резултати от проверката на моделите

#### 3.1. Резултати от проверка на модела за определяне на сегашна стойност.

Произведената помесечно електрическа енергия от фотоволтаичната електроцентрала (ФЕЦ), за периода м. Август, 2008 г. – м. Юли, 2009 г., е представена в табл.3. Приходите от продажбите са определени при изкупна цена от 718 лв./MWh без ДДС. След сконтиране и съгласно зависимостите от табл.1 и уравнение (1), сегашната стойност е оценена при ниво на инфлацията от 6% и лихва 12%. Резултатите от пресмятанията са показани в табл.3.

Таблица 3

Сегашна стойност на приходите от продажбата на произведената електроенергия

месеци	Електрическа енергия, kWh	Приходи за 1 месец, лв.	Приходи по години, лв.				
			1 г.	2 г.	3 г.	4 г.	5 г.
1	2	3	4	5	6	7	8
VIII	3707	2662	2520	2373	2246	2116	2003
IX	6008	4314	4104	3865	3659	3447	3263
X	5837	4191	4007	3774	3573	3365	3186
XI	2463	1768	1699	1601	1515	1427	1351
XII	3758	2698	2606	2454	2312	2188	2071

продължение на табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8
I	4853	3484	3382	3185	3000	2840	2688
II	7570	5435	5301	4993	4703	4452	4215



III	12489	8967	8790	8279	7798	7382	6988
IV	17500	12565	12378	11659	10982	10396	9841
V	19119	13727	13591	12802	12058	11414	10805
VI	18726	13445	13378	12601	11869	11235	10636
VII	18275	13121	13121	12359	11641	11020	10431
общо	121811	87460	84878	79947	75357	71282	67477

### 3.2. Резултати от проверка на модела за определяне приходите от търговията с вредни емисии

Вредните емисии се определят съгласно [1]. Стойността на екологичния еквивалент, с който са извършени оценките, е  $f_i = 700 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$  [5].

Спестените количества вредни емисии ( $\text{t CO}_2$ ) са представени в табл.4. Те се определят като произведение от количеството произведена електрическа енергия, kWh, (колона 2, табл.3) и екологичния еквивалент  $f_i = 700 \cdot 10^{-6} \text{ t CO}_2/\text{kWh}$ . Стойността на приходите в реално време, след скотиране чрез зависимостите от табл.2, е оценена при ниво на инфлацията от 0,47 % за всеки месец. Резултатите за 5 годишен период са представени в табл.4.

Таблица 4

Скотирани приходи от търговията с вредните емисии

месеци	Спестени вредни емисии, $\text{t CO}_2$	Приходи за 1 месец, лв.	Приходи по години, лв.				
			1 г.	2 г.	3 г.	4 г.	5 г.
VIII	2,6	172	181	192	203	216	228
IX	4,2	278	292	310	328	348	367
X	4,1	270	282	300	317	336	355
XI	1,7	114	118	125	133	141	149
XII	2,6	174	180	191	203	214	226
I	3,4	224	231	245	261	275	291
II	5,3	350	359	381	404	427	451
III	8,7	577	588	625	663	701	740
IV	12,2	809	821	871	925	977	1032
V	13,4	883	892	947	1005	1062	1122
VI	13,1	865	870	923	980	1035	1094
VII	12,8	844	844	896	951	1005	1062
общо	85,3	5628	5658	6007	6373	6737	7117

Приходите от продажбите на спестените вредни емисии, при цена от 40 EUR/t  $\text{CO}_2$  без ДДС, за 2009г. са 5628 лв. и към петата година те ще достигнат 7117 лв., като нарастването е от 1489 лв.

### Заклучение

1. Обследването на действащи фотоволтаичен парк и ветрен генератор показва променливия характер на електропроизводството. Това изисква разработването на съответни модели, с адекватни на поведението на обектите методики за проектиране и оценка икономическата ефективност на възобновяемите енергийни паркове.

2. Синтезираните модели за оценка и анализ на продажбите на произведената електрическа енергия и търговията с вредните емисии позволяват определянето на сегашната и реалната във времето стойности на приходите по месеци и години, с отчитане на лихвите и инфлацията. Така се получава достоверна оценка на икономическата ефективност на проектите за изграждане на ветрените и фотоволтаични енергийни паркове.





3. Резултатите от изследването и синтезираните модели са едно начало по пътя на изграждане на действаща автоматизирана система за прогнозиране на енергийната и икономическа ефективност на проектите и управление на електропроизводството на фотоволтаичните и ветрените енергийни паркове. Те са необходимост и са неразделна част от електроенергийната система.

### Литература

1. Дуков Д. Техничко-икономическа ефективност на оценка на енергоспестяващите мерки и на проектите. Център за енергийна ефективност, София, 2003.
2. Новакова А., Кр. Ениманев, К. Андонов. Икономическа ефективност на комбинирани системи за енергоосигуряване с агент влажен въздух. Известия на съюза на учените – Русе, ISSN 1311-1094, т.4, серия 2, 2003.
3. А. Новакова, Кр. Ениманев, К. Андонов, Т. Ерменков. Изследване на нетните икономии на енергия от атмосферния въздух при съхранение на продукцията. Екология и бъдеще, ISSN 1312-0751, №3, 2007.
4. А. Новакова, Кр. Ениманев, К. Андонов, Б. Евстатиев, Т. Ерменков. Нетни икономии от бенчмарка на вредните емисии при сушене на продукцията), Научни известия на НТС по машиностроене: VI международна научна конференция „Мениджмънт и инженеринг'08”, София, ISSN 1310-3946, бр. 1, 2008.
5. SMA Solar Technology AG, [www.SMA.de](http://www.SMA.de).

Кондю Йорданов Андонов, проф. дтн, РУ „Ангел Кънчев”, 082/888 302, [kandonov@ru.acad.bg](mailto:kandonov@ru.acad.bg)

Красимир Великов Мартев, доц. д-р, РУ „Ангел Кънчев”, 082/888 281, [kmartev@ru.acad.bg](mailto:kmartev@ru.acad.bg)

Константин Георгиев Коев, гл. ас. д-р, РУ „Ангел Кънчев”, 082/888 661, [kkoev@ru.acad.bg](mailto:kkoev@ru.acad.bg)

Огнян Динолов, д-р, РУ „Ангел Кънчев”, 082/888 302, [odinolov@ru.acad.bg](mailto:odinolov@ru.acad.bg)

Атанаска Новакова, маг. ик.



## РАЗРАБОТВАНЕ НА УНИФИЦИРАНА МЕТОДИКА ЗА ОБУЧЕНИЕ ПО ОБСЛЕДВАНЕ ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА АСИНХРОННИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ

Огнян Динолов, Кондю Андонов, Анка Кръстева, Константин Коев

*На базата на създадената автоматизирана система е разработена унифицирана методика за обучение в областта на енергийната ефективност на асинхронните електрозадвижвания. Методиката, респективно процесът на обучение чрез нея, е организирана в шест основни етапа. С оглед внедряването на методиката в учебния процес и обучението на специалисти, е проектирана компютърна лабораторна уредба.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Обследването и оценката на енергийната ефективност (ЕЕ) на електрическите консуматори в страната са регламентирани от Закона за енергийната ефективност и се осигуряват от съществуващи или разработвани към момента методики, модели и автоматизирани системи (АС). Известно е, че нашата промишленост е една от най-енергоемките в Европейския съюз, поради което в резултат на провежданите изследвания в общия случай се установяват значително ниски нива на ефективно усвояване на енергията от най-разпространените в практиката асинхронни електрозадвижвания (АЕЗ) [1, 2, 4, 5]. Това налага обслужващите специалисти своевременно да предприемат адекватни мерки за подобряване на ЕЕ на тези консуматори. Най-актуални мероприятия към момента са регулирането на скоростта на въртене и подмяната на съществуващите двигатели с енергийноефективни или с такива с по-малка мощност [7]. В тази връзка възниква необходимостта от осигуряване на съответно обучение за настоящите и подготвяните за практиката бъдещи специалисти.

**Целта на статията** е да се обоснове унифицирана методика и да се постави на единна методологична основа обучението по обследване на енергийната ефективност на различни по тип асинхронни електрически задвижвания, с помощта на комплексни модели и автоматизирани техники за обследване.

### МЕТОДИКА НА ОБУЧЕНИЕТО

Предложените в [1, 2, 3, 4, 6] научнообосновани модели и средства са с доказана работоспособност и приложимост в практиката. От друга страна, ясно изразената структура и последователност на работа с тях, както и наличието на разработени удобни и функционални софтуерни продукти и АС са предпоставки да се създаде цялостна методика за организиране на обучение, което да подготвя студенти и специалисти за провеждане на анализ и мотивиран избор на АЕЗ с двигатели с повишен к.п.д., както и на задвижвания с честотно управление. Обучението следва да се обособи в шест взаимно свързани етапа: определяне на основните показатели на ЕЕ; усвояване на цялостната методика за оценка на ЕЕ; снемане на електрическите товари на АЕЗ; подготвяне на необходима входна информация; автоматизирано определяне на показателите на ЕЕ чрез разработената АС; анализиране и обобщаване на крайните резултати (фиг.1).

### Основни показатели

В началото на обучението се усвояват основните показатели за оценка на ЕЕ на АЕЗ, а именно: относителен разход на електроенергия при действителен и оптимален работен режим, коефициенти на преразход на неполезна и общо консумирана електрическа енергия. Въз основа на синтезирана графика на електропотреблението се синтезират моделите за пресмятане на показателите, а самите те се определят числено с помощта на експеримен-



тално снети товари графици на АЕЗ. Товаровите графици са два типа – за оптимален и неоптимален работен режим.



**Фиг.1.** Блокова схема на етапите на методика за обучение в областта на енергийната ефективност на асинхронни електрозадвижвания

### Входна информация

Подготвя се необходимата входна информация за стартиране на разработената АС. Задачите на този етап са усвояване на модел за оценка на оптималното натоварване и на загубите на АЕЗ, и създаване на моделен файл с информация за кривите на к.п.д.

### Определяне на показателите

Този етап е основен. Тук студентите усвояват работата с продукта “Енергийна ефективност”. Той дава възможност за автоматизирана обработка на входната информация, подготвена в предходния етап, в резултат на което се получават стойностите на всички 28 показателя на ЕЕ (фиг.2). С помощта на командата “Експорт” (*Export*) студентите последователно получават изходните файлове с данни за показателите за всички изследвани АЕЗ при всички зададени режими на работа.

### Анализ на енергийната ефективност

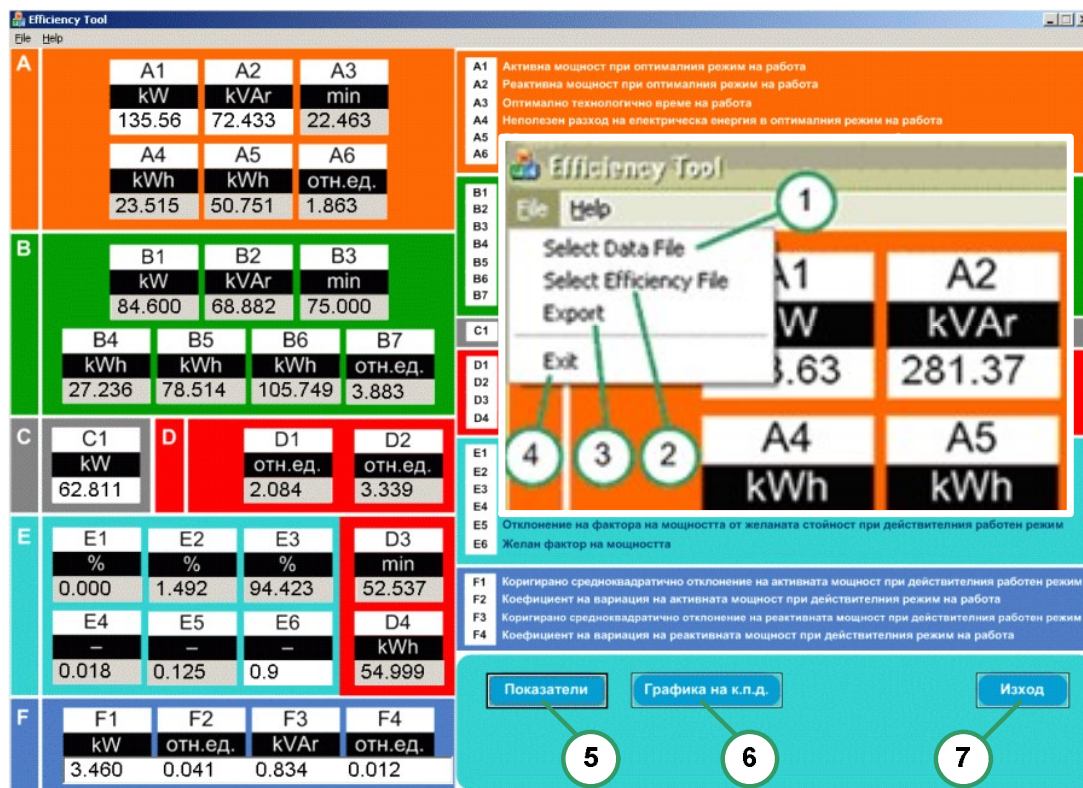
Този етап е финален и обобщаващ. С помощта на подходящо компютърно приложение се създават съпоставителни графики на относителните разходи и коефициентите на преразход. Извършва се обстоен анализ и се формулират обобщени изводи за влиянието на типа на АЕЗ и режима на работа върху ЕЕ и нивата на вариране на показателите.

### Методика за оценка

Обучаваните студенти и специалисти се запознават с пълния набор от показатели за оценка на ЕЕ и с необходимите за тяхното определяне практическа методика и АС. Като се ползват данните от предходния етап се пресмятат стойностите на всички показатели. За целта на обучаваните се предоставят и енергетичните характеристики на двигателя на изследваното задвижване.

### Електрически товари

С помощта на статични електромери от типа EMPS се измерват електрическите товари за поредица от установени режими на АЕЗ с различни характеристики (напр. с честотно управление на скоростта и/или електрозадвижване с енергийноефективен двигател). Получените данни се експортират от регистрите на електромерите към персонален компютър, след което с помощта на специализираните софтуерни продукти “Ю ем пи ес” (*UMPS*) и “Енергийна ефективност” се създават съответни бази от данни за товарите. Файловете се запамятват. Етапът завършва с построяване на стълбовите диаграми и извършване на статистически анализ на характеристиките на положението и разсейването на електрическите товари, разглеждани като случайни процеси.



Фиг.2. Общ вид на графичната среда за взаимодействие с потребителите на софтуерния продукт “Енергийна ефективност”:

- 1 - избор на файл с данни за електрическите товари на изследваното задвижване; 2 - избор на файл с дискретно представяне на кривата на к.п.д. на задвижващия двигател на АЕЗ; 3 - извеждане и запазване на търсената информация в изходящ файл; 5 – пресмятане на показателите на ЕЕ; 6 – изчертаване на кривата на к.п.д.; 4 и 7 - изходи от програмата

**ТЕХНИЧЕСКО ОСИГУРЯВАНЕ**

Проектирана е лабораторна уредба за осигуряване на учебния процес във връзка с обучението по обследване на енергийната ефективност. Техническите характеристики на необходимите електрически машини и основната апаратура са представени в табл.1.

Таблица 1

Данни за типа на електрически машини и апаратура

Двигател (EFF2)	Двигател (EFF2)	Генератори	Съединители	Честотни управления	Електромери
1LA7083-2AA60	1LA9083 - KA60	EH 1,1/22/25-01	40 SKF Flex	MICROMASTER 420	EMPS D 412R T32 L812

За моделни АЕЗ се предлагат две мотор-генераторни групи. Всяка от групите се състои от асинхронен двигател и постояннотоков генератор с независимо възбуждане, куплирани чрез гъвкав съединител. Двата двигателя имат различни криви на к.п.д. и попадат в два съседни енергийни класа – клас EFF1 и клас EFF2. Двигателите следва да се управляват от регулатори на честотата на захранващото напрежение, а техните товари се измерват и



запаметяват от статични електромери, които са част от разработената АС. Софтуерният продукт "Енергийна ефективност" се стартира от преносим компютър.

### ИЗВОДИ

1. На базата на създадената автоматизирана система е разработена унифицирана методика, която поставя на единна методологична основа обучението в областта на обследванията за енергийна ефективност на асинхронните електрозадвигвания. Методиката осигурява придобиването на специализирани знания и умения за провеждане на комплексни обследвания и анализи. Това позволява на бъдещите и настоящи специалисти да вземат адекватни решения и предприемат комплексни мерки за повишаване на енергийната ефективност в производствените и непроизводствени предприятия.

2. Методиката на обучение е база за разработване на ръководства и други учебни помагала за упражнения във висшите учебни заведения в страната, като съществуват предпоставки всеки от етапите на методиката да се обособи в отделно практическо, лабораторно или семинарно упражнение.

3. С оглед внедряването на методиката в учебния процес е разработен проект на компютърна лабораторна уредба за провеждане на съответни занятия и оценка на енергетичния ефект от използването на асинхронни двигатели с висок енергиен клас и честотни преобразуватели за регулиране производителността на задвигванията.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Андонов К., О. Динолов, В. Кирчев, Г. Недев. Изследване на енергийната ефективност на комплексна система за въгледготовка. - Енергетика, № 5, 2008 с. 14 – 24.
- [2]. Андонов К., О. Динолов, В. Кирчев, Г. Недев. Обследване енергийната ефективност на система за въгледодаване. - Енергетика, № 8, 2007, с. 26 - 33.
- [3]. Динолов О. Моделиране на енергийноефективните режими на асинхронните електрически двигатели. – Е & Е, 2009 (под печат).
- [4]. Динолов О. Обобщен модел за оценка на енергийната ефективност на асинхронни електрозадвигвания. - Енергетика, № 5, 2007, с. 37 – 43.
- [5]. Динолов О., Г. Недев, В. Кирчев, К. Андонов. Изследване на енергийната ефективност на прахоприготвяща система с междинен бункер. - Н. тр. на РУ „А. Кънчев“, т. 46, серия 3.1, 2007, с. 16 – 22.
- [6]. Динолов О., К. Андонов. Синтезиране на структурата на автоматизирана система за оценка на енергийната ефективност на електрически задвигвания. – Е & Е, 2009 (под печат).
- [7]. Malinowski J. Finding Efficiency and Reliability in Motor Selection. - Pollution Engineering, №7, 2004, pp. 12 - 16.

**Д-р инж. Огнян Николаев Динолов**, РУ "Ангел Кънчев", катедра "Електроснабдяване и електрообзавеждане", тел.: (082) 888 330 e-mail: [dinolov@gmail.com](mailto:dinolov@gmail.com).

**Проф. д.т.н. инж. Кондю Йорданов Андонов**, РУ "Ангел Кънчев", ръководител катедра "Електроснабдяване и електрообзавеждане", тел.: (082) 888 302, e-mail: [kandonov@ru.acad.bg](mailto:kandonov@ru.acad.bg).

**Д-р инж. Анка Христова Кръстева**, РУ "Ангел Кънчев", Филиал – Силистра, тел.: (086) 821 521., e-mail: [pkj@abv.bg](mailto:pkj@abv.bg).

**Д-р инж. Константин Георгиев Коев**, РУ "Ангел Кънчев", катедра "Електроснабдяване и електрообзавеждане", тел.: (082) 888 329, e-mail: [kkoev@ru.acad.bg](mailto:kkoev@ru.acad.bg).

## СИСТЕМА ЗА АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА УЛИЧНИ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ

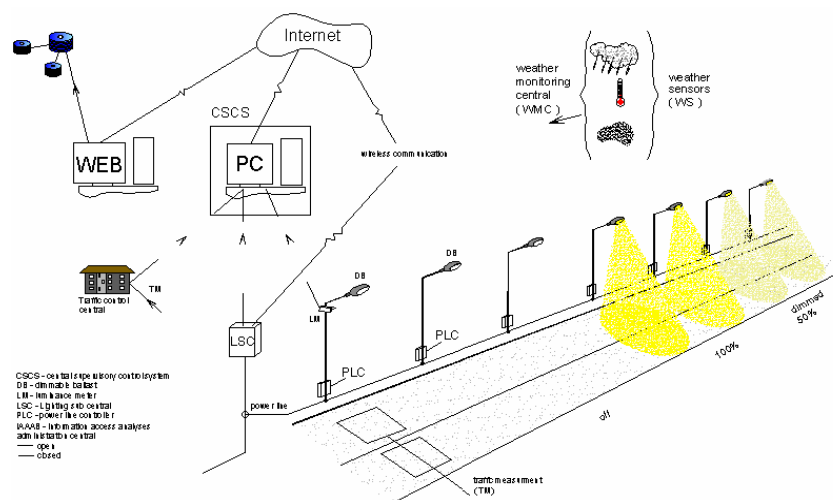
Ангел Пачаманов, Николай Матанов, Константин Христов

**Резюме:** В доклада са описани възможностите на разработена в катедра «Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт» на ТУ-София система за адаптивно управление на външно осветление. Иерархията на системата включва лампови контролери в основите на стълбовете и сегментни контролери в уличните касети. Управлението на осветителите и обратната информация за състоянието им се извършва чрез използване на захранващата мрежа като среда за комуникация. Натрупаната информация в сегментните контролери периодично се изтегля чрез GSM-модем към компютър в службата за поддържане на външното осветление. Съхраняването на информацията в централен компютър прави възможно наблюдение на уредбите от всеки компютър, имащ връзка с Интернет.

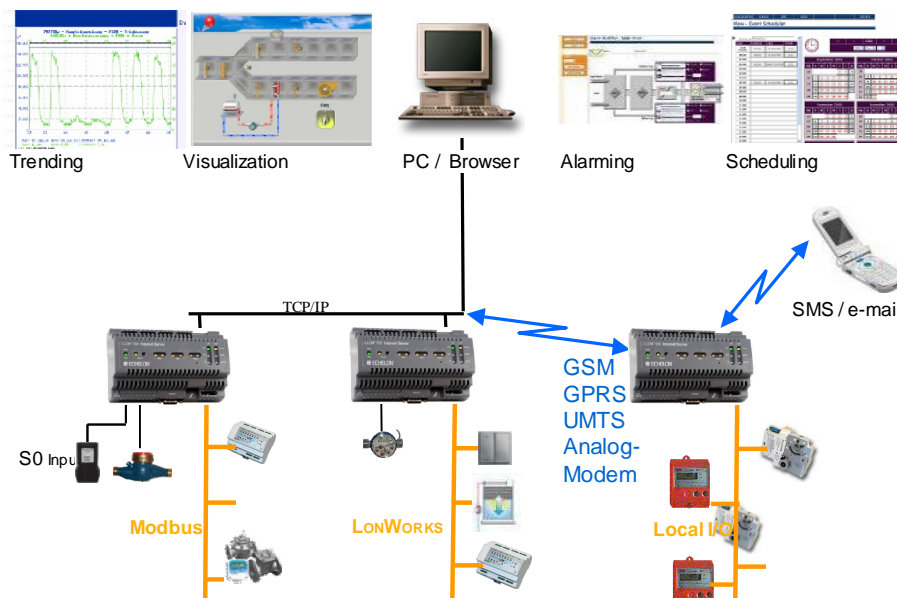
### ВЪВЕДЕНИЕ

Използваните доскоро системи за централизирано управление на уличното осветление отстъпват по възможности на новите системи за адаптивно осветление, съставени от локални станции по улични касети. Като елемент на една по-универсална система за контрол и наблюдение те стават все по-актуални поради специфичните функции, които изпълняват: 1) следене на часовете на работа на всеки осветител, което е предпоставка за намаляване на експлоатационните разходи чрез групова подмяна на светлинните източници; 2) възможност за реализиране на енергоефективен режим и удължаване на живота на светлинните източници при намален трафик на движение чрез намаляване интензивността на светене; 3) недопускане на загуба на енергия в пусково-регулиращата апаратура на осветителите чрез стабилизиране на режима на захранващото напрежение по улични касети; 4) своевременно регистриране на вандалски прояви и възможност за получаване на обратна връзка от гражданите за неизправности в уличното осветление.

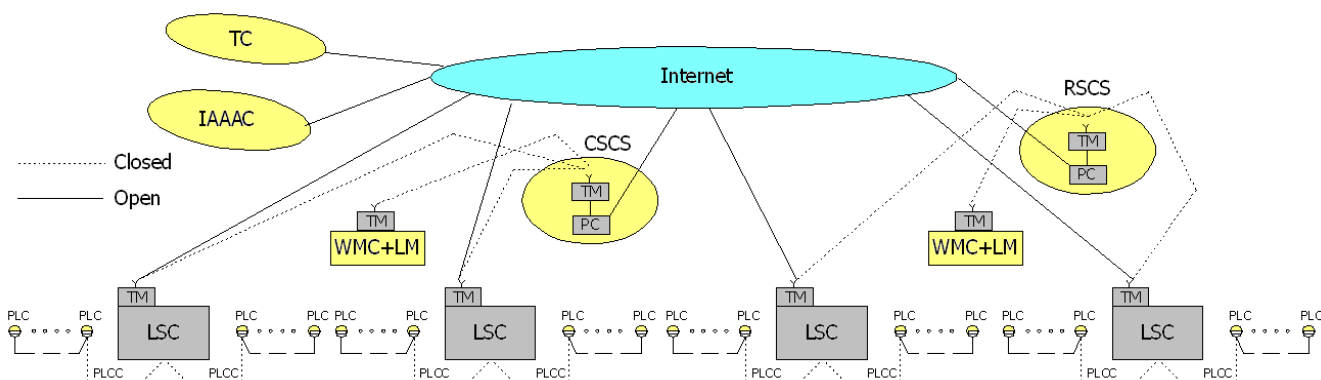
Известни са системи за мониторинг на адаптивно улично осветление с повече функции [1], разработени на базата на технологията LonWorks (фиг.2). Те използват операционна система от типа клиент-сървър (LNS), даваща възможност за изграждане на софтуерни приложения съвместно с други информационни системи [2,3].



Фиг.1. Обща архитектура на система за мониторинг на адаптивно улично осветление [1]



Фиг.2. Информационна система по технологията LonWorks с няколко iLON100 устройства и диспечерска станция за наблюдение, използваща операционна система LNS [2]



Фиг.3. Обмен на информация в система за динамично улично осветление

### СЪЩИНСКА ЧАСТ

Разработената система е резултат от участието на авторите в програма на Европейския съюз „Intelligent Energy of Europe” по проект “Intelligent Road and Street Lighting in Europe E-Street” [4]. В изпълнението на проекта участваха 13 фирми и организации от 12 страни, като България се представляваше от “Черноморски регионален енергиен център”-София с подизпълнител Отрасловата лаборатория по осветителна техника при ТУ–София. Конкретните задължения на българската страна се отнасяха до подготовка на основните изисквания, по които се обявяват търгове за изпълнение на адаптивно улично осветление - чрез телеуправление на уличното осветление неговите параметри се променят в зависимост от интензивността на трафика, метеорологичните условия, налични ремонти, транспортни инциденти и др. Това е гаранция за повишаване на безопасността на движение, подобряване на качеството на осветлението, намаляване на консумацията на електроенергия и разходите за обслужване [5].

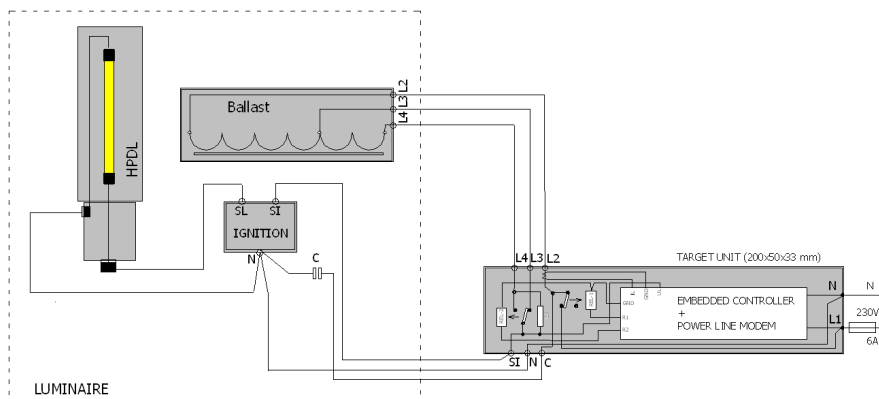
На фиг.3 е показан обменът на информация в такава система, а използваните съкращения са както следва:

<b>CSCS, RSCS</b>	Central Supervisory Control System, Region Supervisory Control System	Централен диспечерски център, регионален диспечерски център
<b>DB (ECG)</b>	Dimmable Ballast (Electronic Control Gear)	Димируем електронен баласт
<b>GUI</b>	Graphical User Interface	Графичен потребителски интерфейс
<b>IAAAC</b>	Information Access and Analysis Administration Center	Център за съхранение и анализ на информацията
<b>LM</b>	Luminance Meter	Измерване на яркостта
<b>LSC (BN)</b>	Lighting Sub Central (Bridge node)	Сегментен контролер за управление на осветлението
<b>MB</b>	Magnetic Ballast	Конвенционен (електромагнитен) баласт
<b>PC</b>	Personal Computer	Персонален компютър
<b>PLC (TU)</b>	Power Line Controller (Target Unit)	Лампов контролер
<b>SCS</b>	Slipperiness Control System	Система за контрол на обледяване на пътя
<b>TC</b>	Traffic Management Center	Център за управление на движението
<b>TMC</b>	Traffic Measurement Central	Център за измерване на трафика
<b>WMC</b>	Weather Monitoring Central.	Метеорологична станция

Подобна система с използване на електронни баласты и интернет-свързаност на локалните станции с централния пункт за управление на трафика е реализирана в Осло-Норвегия [3]. Постиганата икономия на електроенергия позволява изплащането на допълнително вложените средства да се осъществи за период от време, съизмерим с живота на уредбата. Като се имат предвид сериозните екологични проблеми на планетата се приема, че този вид системи ще стават все по-конкурентноспособни, особено при масовото им прилагане.

За условията на България авторите на доклада сметнаха за по-целесъобразно системата да се разработи във вариант индуктивни баласты в осветителите и групови димиращи устройства в захранващата касета, при което се избягва използването на скъпи осветители с електронни димируеми баласты. Така срокът на откупуване на уредбите се намалява значително. Подобно решение (без лампови контролери, обменящи информация по захранващата мрежа) бе реализирано на градски пътен тунел в София през 2006 г. [6,7].

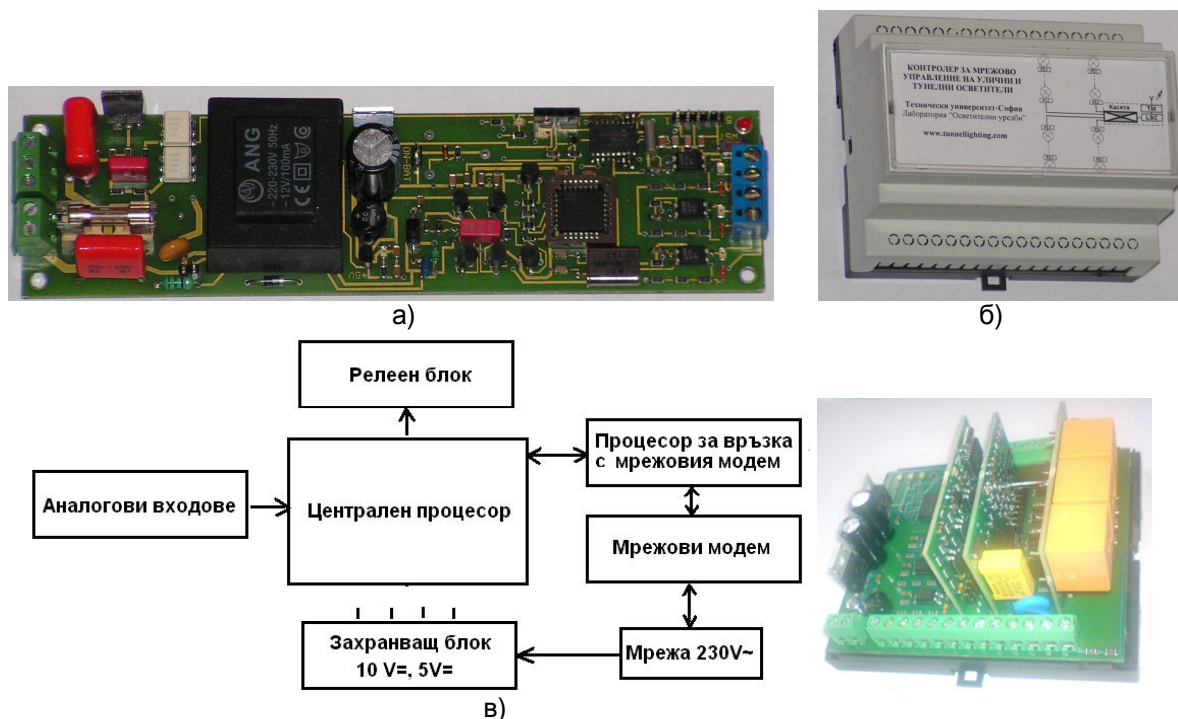
Типично свързване на локален контролер **PLC** към осветител с конвенционална **ПРА**, е показано на фиг.4. Индуктивният баласт е сдвоен като в часовете с малък трафик се осигурява 50% светлинен поток спрямо номиналния. Характерно за контролера е това, че чрез програмно-организиран броячи се отчитат часовете работа на лампата на всяка степен, както и броя на включенията. При отпадане на комуникацията, лампата работи със 100% от мощността си (през нормално-затворен контракт на реле).



Фиг.4. **PLC** контролер, свързан към осветител с конвенционална пусково-регулираща апаратура



На фиг.5 е показано конкретно изпълнение на лампов контролер за монтаж в осветителя (размери 180 x 50 x 35 мм). Разработен е и вариант в кутия (размери 105 x 85 x 60 мм) за закрепване към DIN шина в отвора при основата на стълба, при който към дънна процесорна платка с изходи и входове за/от осветителя са монтирани процесорна платка за връзка/управление с/на мрежов модем и релеен блок. Контролерът осигурява включване на осветителя винаги на 100%, превключване към режим 50% в часовете с намален трафик и връщане към 100% - при интензивен трафик или липса на комуникация.



Фиг.5. Лампов контролер PLC: а) конкретно изпълнение за монтаж в осветител; б) общ изглед на контролера при монтаж на DIN-шина; в) блокова схема за връзките между модулите

Чрез стандартен интерфейс и мрежови модем локалният контролер PLC свързва осветителя със сегментния контролер LSC, като осъществява връзка за:

- работа като комуникационен контролер;
- тестване на двата режима на работа на баласта;
- включване и изключване на лампата;
- мониторинг и събиране на данни, включващи:
  - състояние (статус) на лампата (вкл./ изкл./ димиране 50%);
  - продължителност на работа на лампата (по нива на потока 50%/100%);
  - брой включвания на лампата;
  - приблизителна оценка на нивото на излъчвания светлинен поток чрез сензор;
  - повреди на лампата или баласта (подадено напрежение, но лампата не свети).

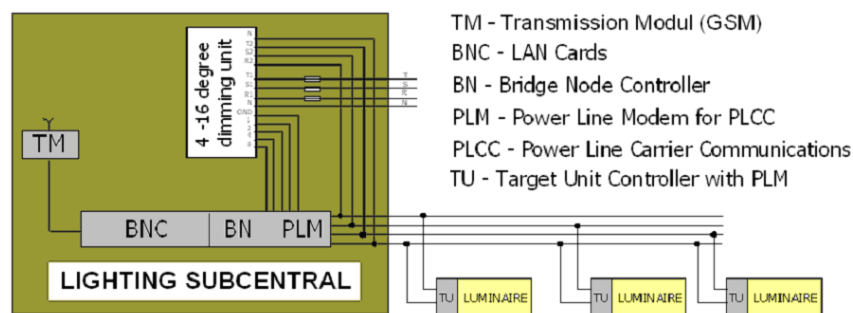
**Локалният лампов контролер PLC осигурява:**

- възможност да се препрограмира от страна на сегментния контролер за промяна на оперативни данни за лампата и добавяне на съобщения за ненормален режим на работа (намален светлинен поток, подадено напрежение към лампата, но не свети);
- автоматично преминаване на режим 100%  $\Phi_n$  при разпадане на комуникацията;
- възможност за програмиране на действия след включване на аларма или регистриран край на живота на лампата.

**Сегментният контролер LSC** в уличната касета е главен управляващ компонент на осветителната уредба и има следните функции:

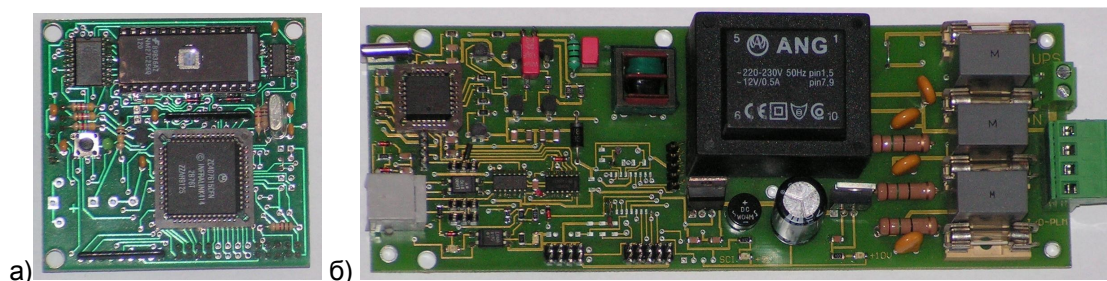
- изпълнява ролята на маршрутизатор (router), изграждащ локална мрежа (**LAN**) с/между ламповите контролери;
- съхранява информация за работата на ламповите контролери за зададен брой команди;
- осигурява свързаност с външни за локалната система устройства за мониторинг и контрол (компютър в диспечерския пункт, оборудван безжичен комуникационен модул). Достъпът се осъществява посредством **GSM/GPRS** в зависимост от наличните възможности;
- защитава обмена на информация с по-горните нива срещу неоторизиран достъп.

На фиг.6 са показани устройствата, монтирани в уличната касета. Връзките на сегментния контролер LSC (BN) с двете йерархични нива за комуникация позволяват получаване и предаване на необходимата информация: към осветителите по захранващата мрежа и към централния компютър по GSM-канал. Димиращо устройство, реализиращо модифицирана пространствено-векторна широчинно-импулсна модулация [8, с.119], осигурява енергоикономичен режим на работа на светлинните източници при захранващо напрежение над номиналното, както и димиране над 50%, когато трафикът е слаб.

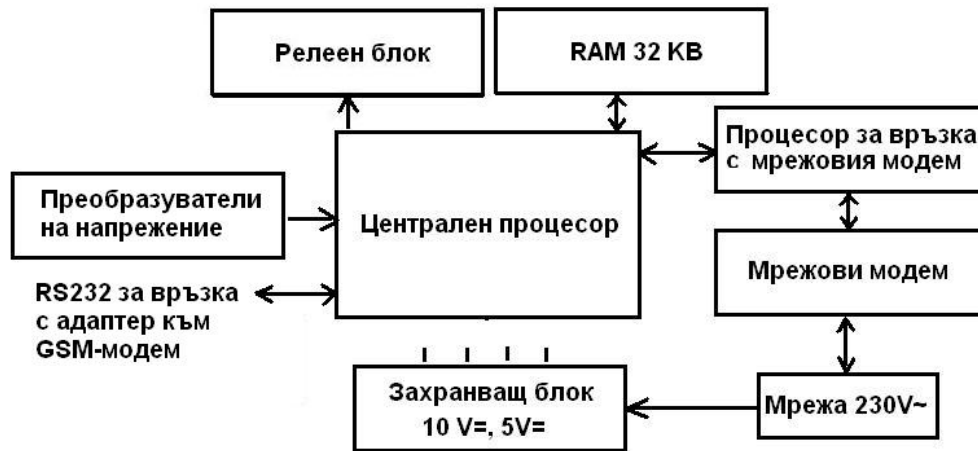


Фиг.6. LSC (BN) контролер, димиращо устройство и осветители с TU, обменящи информация по захранващата линия

Конкретно изпълнение на сегментен контролер с мрежови модем ST7537 е показано на фиг.7 - процесорната платка (а) с 32 KB оперативна памет за съхраняване на получаваната информация е разположена на втори етаж към основната платка (б). При новия вариант на контролера (с мрежови модем ST7540) се използва кутия за DIN-монтаж в уличната касета (фиг.8). На дънна процесорна платка с 32 KB оперативна памет са монтирани процесорна платка за връзка/управление с/на мрежов модем, релейна платка за управление степента на работа на димиращото устройство и сериен интерфейс към адаптер (BNC) на GSM-модем - за връзка с централния компютър в диспечерския пункт. Връзките между модулите са показани на приложената блокова схема (б).

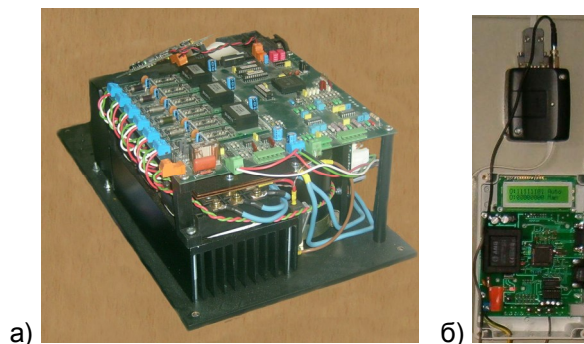


Фиг.7. Вариант на сегментен контролер LSC с мрежови модем ST7537: а) процесорна платка с 32 KB оперативна памет; б) извод към адаптер на GSM-модем, мрежови модем, захранване и интерфейс за връзка със силовата мрежа (отляво-надясно)



б)

Фиг.8. Сегментен контролер **LSC** с мрежови модем ST7540 за DIN-монтаж в улична касета: а) вид на използваната кутия; б) блокова схема за връзките между модулите



Фиг.9. Групово димиращо устройство (а) и адаптер към GSM-модем (б)

При наличие на информация от централния компютър, сегментният контролер **LSC** осигурява регулиране на интензивността на осветлението на пътя в зависимост от:

- интензивност на трафика;



- метеорологични условия: при силен дъжд-100%, независимо от трафика;
- наличие на мъгла: 100% улично осветление, независимо от трафика;
- наличие на заледяване на платното: 100% улично осветление, независимо от трафика;
- пътно-транспортни произшествия или ремонти по пътя: 100%, независимо от трафика.

Освен това, сегментният контролер **LSC** е в състояние да осигури:

- управление по часовник и годишни календари за разсъмване и свечеряване, или по фотосензор като се съобразява категорията на улицата;
- съхраняване на информация за времето на работа на осветителите;
- съхраняване на информация за събития, отразяващи отклонението на параметрите на осветителите от зададените граници;
- обезпечаване с резервно захранване (акумулатор или UPS) за 3-часова работа при отпадане на захранването;
- управление на димиращо устройство за съобразяване на експлоатационната стойност на светлинния поток на лампите с нивото на захранващото напрежение.

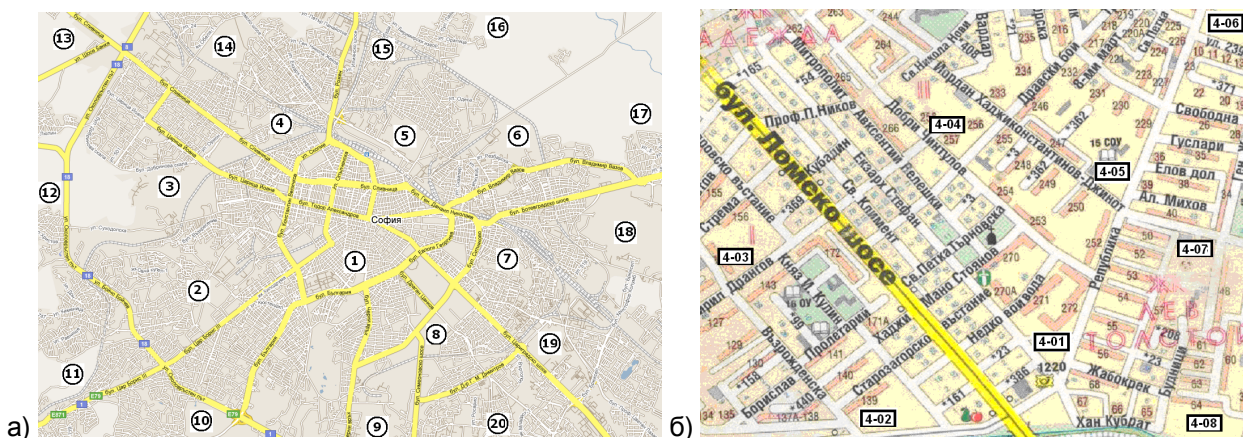
### Програмно осигуряване и визуализация на осветителните уредби

Програмното осигуряване на компютъра в централния диспечерски пункт включва база данни, която периодично се обновява от информацията, постъпваща от сегментните контролери. Работата на сегментните контролери е независима от работата на компютъра и информация в тях се съхранява и при изключен компютър.

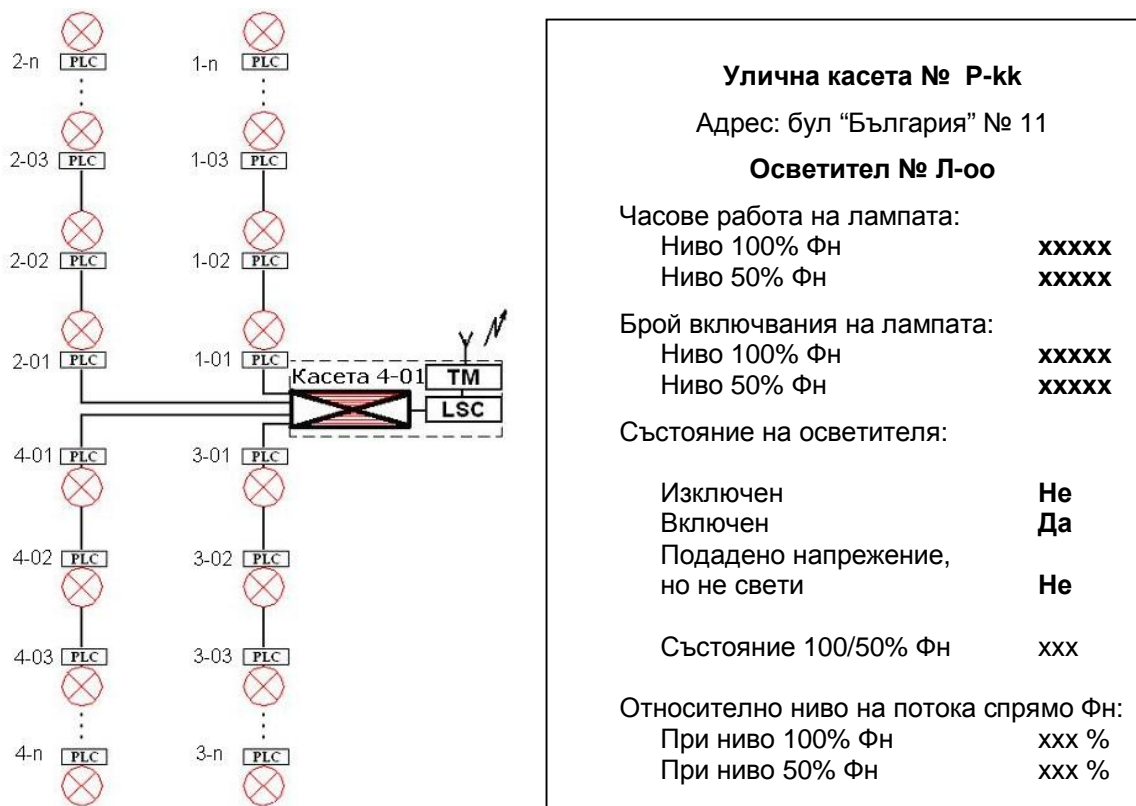
Изобразяването на районите на населеното място е организирано на един екран. При избор на конкретен район, на втори екран се визуализират уличната мрежа и наличните касети (фиг.10). След избор на конкретна касета, на трети екран се изобразяват осветителите, захранвани от касетата (фиг.11). При избор на конкретен осветител от наличните захранващи линии (2 или 4 в зависимост от разположението на стълбовете) в полето вдясно се изписват всичките му параметри. Използваните означения са както следва:

**P**- номер на жилищния район, **kk** - номер на касетата от P-тия жилищен район;

**Л-oo**: **Л**- номер на захранващата линия от касета **kk** на **P**-тия жилищен район, **oo** – номер на осветителя от избраната линия към касета **P-kk**.



Фиг.10. Примерен тополичен план с райони (а) и номера на уличните касети по райони (б)



Фиг.11. Изобразяване и достъп до всеки осветител на касета с конкретен номер от екрана на РС

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработената система осигурява възможност за енергоикономично адаптивно улично осветление без да се използват скъпи димируеми баласта в осветителите. Специално разработеният сегментен контролер **LSC** в уличната касета поддържа постоянен поток на светлинните източници, независимо от приетия при проектирането експлоатационен фактор. По този начин се гарантира удължаване на живота на лампите и икономия на енергия, вследствие работа с намалена мощност. Чрез груповото димиращо устройство в касетата е възможно по-дълбоко димиране от 50 % в часове с много нисък трафик. Този тип изпълнение е предпоставка за намаляване на консумацията на електроенергия, съизмеримо със значително по-скъпите системи с димируеми баласта във всеки осветител.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Разработката е финансирана със средства от Министерството на образованието, младежта и науката, Фонд "Научни изследвания", договор № МУ-ФС-07 "Оптимизиране по разход на енергия на осветителни уредби за улици и пътни тунели".

### ЛИТЕРАТУРА

[7] Василев Н., Б. Тошев, Н. Янева. Интелигентно пътно и улично осветление в Европа E-Street. XII Международна конференция по осветление, Варна 2007

[8] Велинов Кр., О. Кишкилов, Приложение на технологията LonWorks за управление и контрол на осветителни уредби. XII международна конференция по осветление, Варна 2007

[9] Administration system for street lighting and Client service application for street lighting, Hafslund, Norway, 2006

[10] [http://www.e-streetlight.com/work\\_packages.htm](http://www.e-streetlight.com/work_packages.htm) - Работна среща по проект "Intelligent Road and Street Lighting in Europe E-Street", Осло – Норвегия, 10-11 май 2007



- [11] Василев Н., А. Пачаманов, Р. Пачаманов. Система за динамично телеуправление на улично осветление. XII Международна конференция по осветление, Варна 2007
- [12] Пачаманов А., Н. Матанов, Р. Пачаманов, Н. Рац. Фотометрична система за управление на тунелно осветление с димиране на лампите във входните и преходните зони. Сп. "Електротехника и електроника" №3-4/2007
- [13] Пачаманов А. Энергоспестяване и осветителна техника (енергоефективно осветление). Издателство "Авангард-Прима", София 2007 (271 стр., ISBN 978-954-323-251-2)
- [14] Минчев М., Й. Шопов, Е. Рац. Преобразователна техника. Авангард Прима, София-2006

АВТОРИ:



1. Д-р инж. Ангел Саракинов Пачаманов, професор в катедра "Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт", Технически университет – София, Каб.12325, Тел. 965-21-81, E-mail: [pach@tu-sofia.bg](mailto:pach@tu-sofia.bg)



2. Маг. инж. Николай Стефанов Матанов, главен асистент в катедра "Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт", Технически университет – София, Каб.12323, Тел. 965-21-79, E-mail: [nsm@tu-sofia.bg](mailto:nsm@tu-sofia.bg)



3. Маг. инж. Константин Христов Христов, потенциален докторант към договор № МУ-ФС-07 "Оптимизиране по разход на енергия на осветителни уредби за улици и пътни тунели" на МОМН, Фонд "Научни изследвания", E-mail: [ko.hristov@mail.bg](mailto:ko.hristov@mail.bg)



## УПРАВЛЕНИЕ НА ИНВЕРТОРНО АСИНХРОННО ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ С ПРОГРАМИРУЕМ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕР ОТ ФАМИЛИЯТА SIMATIC S7-200 НА SIEMENS

Георги Павлов, Васил Димитров

**Резюме:** в доклада са разгледани техническите параметри и характеристики на съвременен микропроцесорно управление с програмируем логически контролер тип SIMATIC S7-200 на инверторно асинхронно електрозадвижване. Предлага се вариант за изграждане на стенд, отговарящ на съвременните изисквания за осъществяване на учебна работа и научноизследователска дейност във ВТУ „Тодор Каблешков”.

### УВОД

Развитието на енергийната и транспортна техника през последните години навлезе в качествено нов етап. Бързият технологичен напредък в електрообзавеждането, на базата на нови технологии и продукти, постави по-високи изисквания по отношение на нивото и качеството на подготовка на кадри. Електроенергетиката и транспортът са атрактивни области за български и чуждестранни инвестиции за развитие, модернизация и обучение на кадри. В същото време се промениха и завишиха изискванията от страна на потребителите на кадри към специалистите в тези области. Всичко това определя необходимостта от създаване на квалифицирани специалисти, обучени съобразно специфичните изисквания на фирмите, потребители на наши кадри.

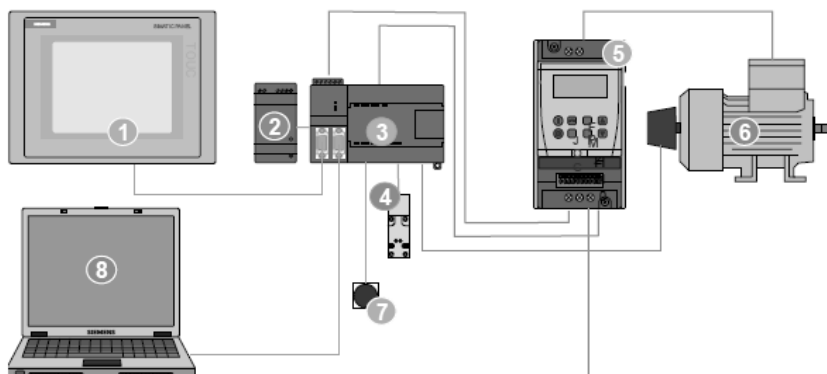
Във ВТУ “Т. Каблешков” в областта на електроенергетиката и електротранспорта се готвят кадри в специалност “Електроенергетика и електрообзавеждане” в ОКС – “Бакалавър” и “Магистър”. Спецификата на професионалното обучение в тези области изисква не само добро и осъвременено теоретично обучение, но и засилено практическо обучение с конкретна специфична насоченост, съобразена със съвременната техническа обезпеченост в тази сфера. През последните години от специалност, подготвяща кадри приоритетно за ЖП транспорт, тя се превърна в специалност с по-широк профил на обучение, осигуряваща инженерно-технически кадри за проектиране, изграждане и управление на електроенергийни системи, електроснабдяване и електрообзавеждане на промишлеността, бита и транспорта. За нуждите на електрическия транспорт се подготвят инженери по електроснабдяване, проектиране на тягови подстанции и контактни мрежи, електрообзавеждане, електрозадвижване, управление и автоматизация на електрически транспортни средства (ЕТС) – локомотиви, моториси, трамваи, тролейбуси и т.н. В този аспект качествено се промени вида на тяговите задвижвания и управлението на ЕТС, както и изискванията към тях. Съвременните транспортни средства се изграждат на базата на променливотокови или постояннотокови тягови задвижвания, управлявани от високоефективни пускорегулиращи устройства (IGBT технологии) и микропроцесорни системи за управление и защита.

### КОНФИГУРАЦИЯ НА ИНВЕРТОРНО АСИНХРОННО ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ С ПРОГРАМИРУЕМ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕР

Голям процент от електрозадвижванията в света са реализирани с асинхронни двигатели, но специално в транспорта те дълго време не са намерили приложение поради специфичните изисквания към тяговите електрозадвижвания. Необходимостта от плавно регулиране на скоростта в много широк диапазон при динамично променящи се натоварвания, изискванията за голям пусков момент и високи енергетични показатели са били пречка за внедряване на асинхронните двигатели в електрическия транспорт. Едва в последните години, благодарение развитието на силовата електроника и микропроцесорна техника, асинхронните електрозадвижвания станаха приоритетно-използваните в транспортните средства.



Съобразявайки се с изискванията за оптимизация на управлението на инверторни електрозадвижвания е проектиран стенд за осъществяване на учебна и научноизследователска работа в широк диапазон (фиг. 1). Той представлява задвижване на асинхронен двигател с амплитудно-честотен регулатор и с микропроцесорно управление и защита, реализирано от програмируем контролер с информационен панел, възможност за софтуерно управление и обработка на резултатите. В замисления вариант стендът е с алтернатива за модулно допълване с цел разширяване на възможностите му за изследователски и изпитателни дейности.



Фиг. 1 - Конфигурация на стенд за инверторно асинхронно електрозадвижване с програмируем логически контролер

Основните елементи, включени в предложената конфигурация, са

1 – информационен входно-изходен индикатор TP177micro Touch Panel;

2 – стабилизирания преобразувател LOGO!POWER 220 VAC/24 VDC;

3 – програмируем логически контролер (PLC) S7-200 224XP;

4 – датчици от микропроцесорната защита;

5 – амплитудно-честотен регулатор Sinamics G120;

6 – асинхронен двигател от серия 1LA7 с вграден енкодер;

7 – аварийен стоп-бутон;

8 – компютърна конфигурация, заредена със софтуерни пакети STEP 7-Micro/WIN (за управление на PLC), WinCC-flexible (за програмиране на информационния панел), Starter (за връзка с амплитудно-честотния регулатор) и S7-200 PC ACCESS.

Програмируемият логически контролер (programmable logic controller – PLC) Simatic S7-200, разработен от фирмата Siemens, може да управлява и контролира широк клас механизми и агрегати в съответствие с нуждите на автоматизацията. Намира все по-голямо приложение в различни области, тъй като комбинира производителност, ниска цена, лесен начин на управление, изключително прост монтаж, програмиране и експлоатация, вгражда се в широка гама от устройства, като спестява място. В последно време се внедрява и в управлението на тяговите стационарни съоръжения за електрическия транспорт. Контролерът представлява съвкупност от микропроцесор, интегриран захранващ модул, вградена памет за програми и потребителски данни, входен и изходен блок. В работен режим PLC изпълнява циклично въведената в паметта му програма, като по този начин решава конкретни изисквания при автоматизация и оптимизация на сложни процеси. В предлаганата конфигурация е използван моделът с постояннотоково захранване CPU 224XP DC/DC/DC, изискващ напрежение 24 VDC. То се осигурява от стабилизирания преобразувател LOGO!POWER, който може да бъде използван за захранване и на други устройства, включени в системата (дисплей, датчици и т.н.).

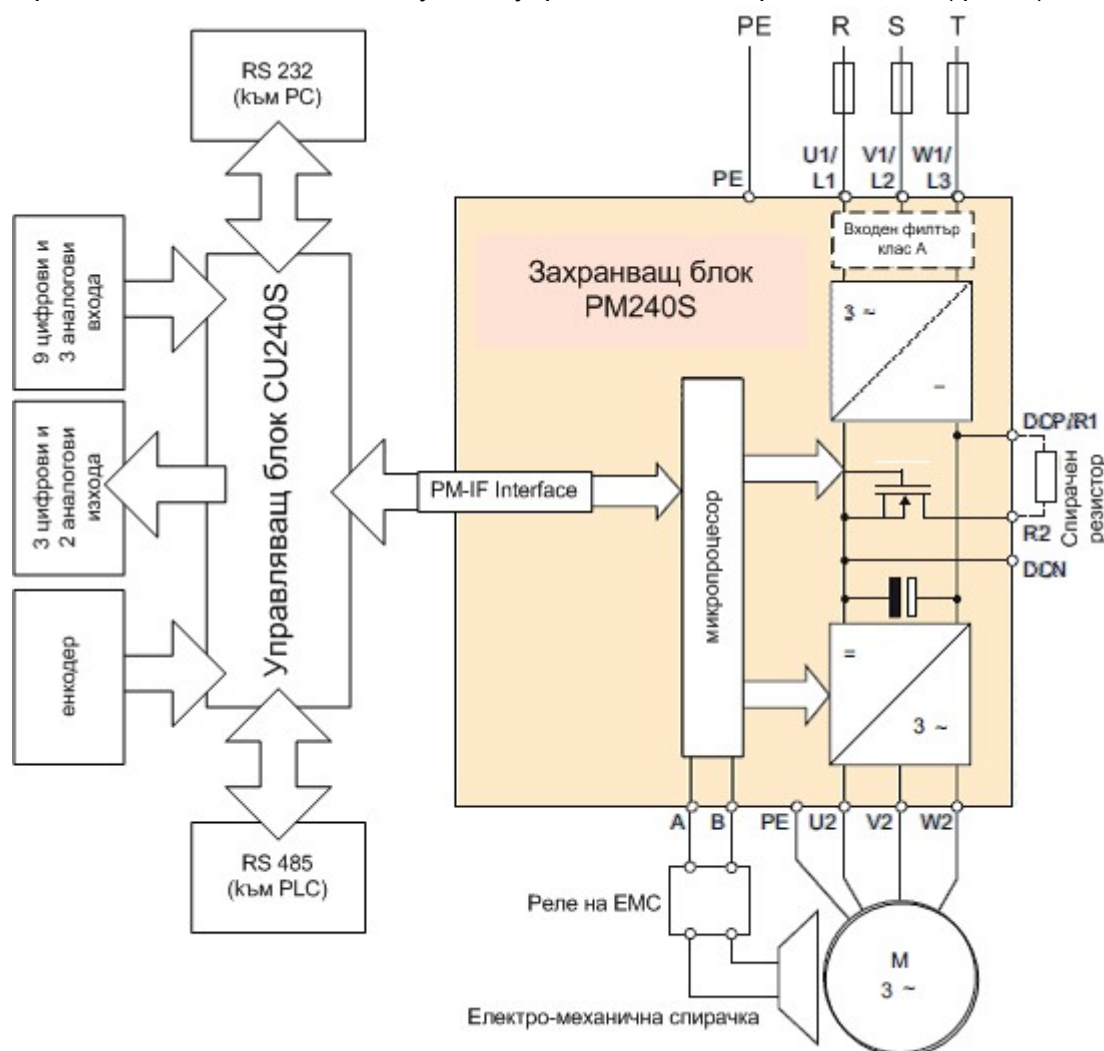
С помощта на TP177micro Touch Panel могат да бъдат въвеждани всички първоначални данни и да бъдат съхранени в паметта на PLC S7-200. На дисплея се наблюдават в реално време стойностите на необходимите предварително програмирани променливи (ток,



напрежение, скорост, изминат път и др.). Информация за тях може да постъпва както от съответните датчици, така и от амплитудно-честотния регулатор Sinamics G120.

Съвременното инверторното задвижване на Siemens тип „Sinamics” е проектирано за инженерни приложения в енергетиката, транспорта и промишлеността, като предлага решения за всички специфични технически изисквания при работа и защита. В зависимост от приложението, гамата SINAMICS осигурява идеалния вариант за всяка задача на задвижванията.

Амплитудно-честотният регулатор Sinamics G120 е проектиран за регулиране на асинхронни електродвигатели в широк диапазон от мощности 0.37-250kW. Изграден е на модулен принцип, като основните модули са управляващ и захранващ блок (фиг. 2).



Фиг. 2 – принципна схема на амплитудно-честотен регулатор Sinamics G120-PM240

Управляващият блок CU240S извършва мониторинг и управление на захранващия блок и свързания електродвигател в няколко различни режима. Позволява комуникация с локален и централен контролер от по-високо ниво, както и с компютър.

Захранващият блок PM240S формира трифазно напрежение за електродвигателя с помощта на ШИМ. Изграден е на базата на съвременна IGBT технология и се управлява микропроцесорно от CU240S. Съдържа и защитни функции както за самия блок, така и за задвижвания електродвигател.

Асинхронните двигатели от серията 1LA7 отговарят на съвременните международни изисквания за енергийна ефективност, като покриват Eff 2 клас – освен с намалени енергийни разходи се характеризират с удължен експлоатационен живот поради по-ниската



работна температура. Конструкцията и високото качество на производство позволяват използването на електродвигателите с амплитудно-честотни регулатори - изолацията на статорната намотка е съобразена с преходните процеси при този тип приложение, създадена е възможност за лесно добавяне на опции като енкодер, спирачка или вентилатор за принудително охлаждане, без механично преработване на частите на електродвигателя.

### ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ, ПАРАМЕТРИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НА S7-200

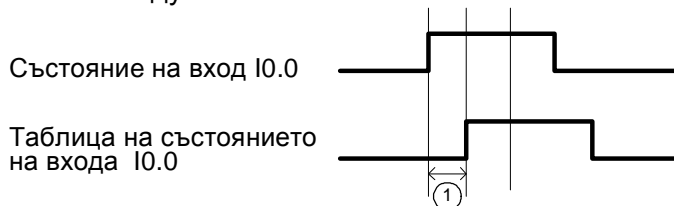
При включването на контролера в работен режим (RUN mode), PLC S7-200 следи в реално време информацията, подавана на входовете му, и променя състоянието на изходите си в зависимост от предварително заложената потребителска програма, включваща булева логика, математически операции (целочислени и с плаваща запетая), закони за регулиране и комуникация с други устройства. Скоростта на изпълнение на булевите операции е най-много  $0,22 \mu\text{s}$  за инструкция. PLC S7-200 изпълнява циклично задачи в следната последователност от стъпки:

1. Прочитане на входовете: S7-200 копира състоянието на физическите входове във входен регистър на образа на процеса.
2. Изпълнение на управляващата логика в програмата: S7-200 изпълнява командите, заложи в програмата и съхранява стойности в различни области от паметта.
3. Обработка на запитванията за обмен на данни: S7-200 изпълнява всички задачи, необходими за обмена на данни с други устройства.
4. Самодиагностика на CPU: S7-200 проверява дали програмното осигуряване, програмната памет и всички разширителни модули работят нормално.
5. Запис на изходите: стойностите, запаметени в изходния регистър на образа на процеса, се записват във физическите изходи.

Обикновено цикълът е с продължителност между 3 и 10 ms в зависимост от броя и типа на използваните инструкции. Той се състои от две основни компоненти: оперативно системно време (около 1 ms) за изпълнение на стъпки 1, 4 и 5 и време за изпълнение на командите (стъпки 2 и 3).

В паметта на CPU е предвидена област за фиксиран набор от входно-изходни адреси. Освен локалните входове и изходи на PLC, могат да се добавят допълнителни входно-изходни точки като се свържат до седем разширителни модула.

Промяната на входен сигнал (напр. на входа I0.0) по време на даден цикъл се предава към входния регистър в следващия цикъл (фиг. 3). Информацията се запомня (не се променя в рамките на този цикъл) в таблицата на състоянието на входовете и се използва при изпълнение на управляващата програма.



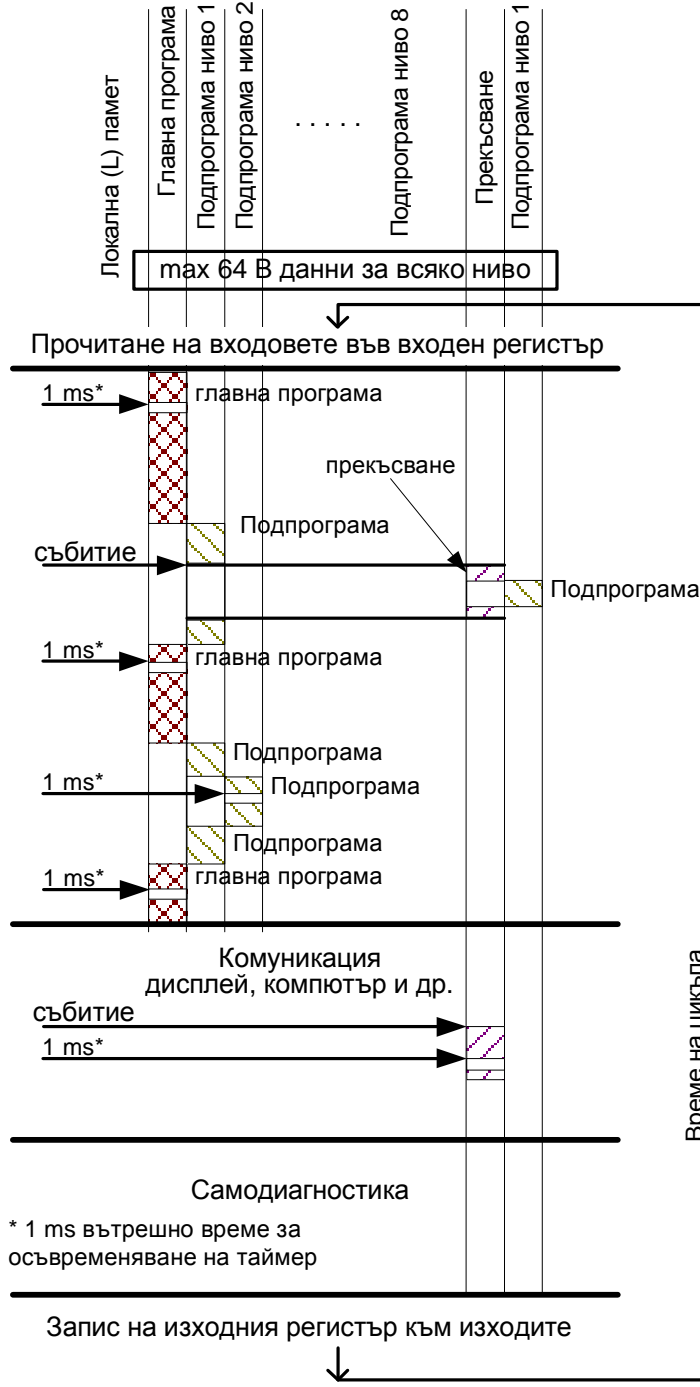
фиг. 3 – времедиаграма на прочитане на състоянието на входа I0.0

Закъснението  $j$  при отчитане на промяната на входния сигнал зависи от продължителността на цикъла.

Локалните аналогови входове се обновяват във всеки цикъл с последните резултати от аналого-цифровия преобразовател. Той работи със средни стойности ( $\sigma$ - $\delta$ ), които обикновено не се нуждаят от програмна филтрация. Аналоговите входове от разширителните модули не се обновяват автоматично като част от цикъла, освен ако не е включен аналоговият филтър. Той може да се активизира за всеки вход поотделно и тогава S7-200 обновява този аналогов вход един път в цикъла, изпълнява филтриращата функция и записва филтрираната стойност в паметта на PLC. Тази филтрирана стойност е на разположение всеки път, когато програмата се обръща към съответния аналогов вход. Ако филтърът е изключен, то S7-200 прочита стойността на аналоговите входове от разширителните модули само когато програмата се обръща към даден аналогов вход.



По време на изпълнителната фаза от цикъла (стъпка 2) S7-200 изпълнява програмата, започвайки от първата инструкция и завършвайки с последната. Незабавните входно-изходни инструкции дават възможност за незабавен достъп до входовете и изходите – както по време на изпълнение на главната програма, така и при изпълнение на прекъсвания. Ако в програмата са включени и подпрограми, те се изпълняват, когато са повикани от главната програма, от друга подпрограма или при изпълнение на прекъсвания.



фиг. 4 - цикъл на работа на S7-200

На фиг. 4 е изобразено протичането на един типичен цикъл - показва използването на локалната памет и две събития, предизвикващи прекъсване: едното – по време на изпълнение на програмата (стъпка 2) и второто – по време на комуникационната фаза (стъпка 3). Подпрограмите са извиквани от предишното по-високо ниво и се изпълняват при извикването. Програмите за изпълнение при прекъсване не се извикват – те са резултат от появата на събитието, към което са асоциирани.

По време на комуникационната фаза (стъпка 3 от цикъла) S7-200 обработва всички съобщения, получени от комуникационните портове или интелигентните входно-изходни модули.

При самодиагностиката на CPU (стъпка 4 от цикъла) S7-200 проверява за правилното протичане на операциите в самия процесор и за състоянието на разширителните модули.

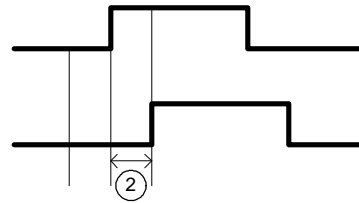
В края на цикъла (стъпка 5) се обновява състоянието на изходите в съответствие с резултатите от изпълнение на заложената програма. При изпълнение на инструкциите по време на фаза 2 последователно се променят стойностите за всеки изход и се записват в таблицата на състоянията на изходите в изходния регистър. В последната стъпка на цикъла информацията от изходния регистър се прехвърля едновременно към всички физически изходи Q0.0-Q1.1 (фиг. 5).

Аналоговите изходи се обновяват незабавно, независимо от цикъла.



Таблица на състоянията на изходите (напр. Q0.0)

Състояние на изход Q0.0



Закъснението **k** при обновяване на състоянието на изхода зависи от продължителността на стъпки 2, 3, 4 и 5 от цикъла.

фиг. 5 - времедиаграма на обновяване на състоянието на изхода Q0.0

Софтуерният продукт S7-200 PC Access дава възможност за зареждане на желаната регулировъчна характеристика (механична, скоростна, тягова и др.) в паметта на PLC. Управляващата програма трябва да е така разработена, че контролерът да извършва регулиране на електрозадвижването по тази характеристика, като следи в реално време стойностите на всички необходими за изчисленията величини. Чрез подходящо настройване на програмния П-, ПИ- или ПИД-регулатор (в STEP 7-Micro/WIN) може да се постигне ограничение на хистерезиса и максималната стойност на отклонението на регулируемата величина от желаната характеристика, както и намаляване влиянието на смущаващите въздействия и максимално бързодействие при преходните процеси, което е особено важно при тяговите задвижвания.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изграждането на стенд за научни и инженерни изследвания, моделиране и изпитания на инверторно асинхронно електрозадвижване, управлявано с програмируем логически контролер от фамилията SIMATIC S7-200, в една от нашите лаборатории ще актуализира и разшири перспективите за обучение и осъществяване на други дейности в следните аспекти:

- ще повиши качеството на подготовка на обучаемите по редица основополагащи дисциплини, които изискват провеждане на практически упражнения в осъвременена лабораторна база с конкретни технически средства и възможности;
- ще създаде условия за разширяване на научноизследователската дейност в областта на тяговите задвижвания и управлението им от преподаватели, докторанти и студенти;
- възможностите на стенда за програмируемо управление на условията и режима на работа на задвижването позволява той да бъде използван и за контролни изпитвания и изследвания на различни пускорегулиращи устройства и двигатели;
- наличието на програмируем контролер и дисплей позволява оптимизирането в реално време на режима на работа на изпитваните агрегати: снемане характеристиките им на преносим компютър и актуализиране на управляващите програми.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Closed-Loop Positioning Control with standard Drives, Siemens, 2008
2. SIMATIC S7-200 - Programmable Controller, System Manual, Siemens, 2008
3. SINAMICS G120 - Function Manual, Siemens, 2007
4. SINAMICS G120 - Power Modules PM240, Hardware Installation Manual, Siemens, 2006
5. IEC Squirrel-Cage Motors, Catalog, Siemens, 2008

### Автори:

Георги Митков Павлов, доц. д-р, ВТУ „Тодор Каблешков” – катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, тел. 9709348, E-mail: [g\\_pavlov61@abv.bg](mailto:g_pavlov61@abv.bg)

Васил Димитров Димитров, ст. ас., ВТУ „Тодор Каблешков” – катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, тел. 9709373, E-mail: [vdimitroff@abv.bg](mailto:vdimitroff@abv.bg)



## ИЗСЛЕДВАНЕ СЕЗОННИТЕ КОЛЕБАНИЯ НА СЛЪНЧЕВАТА ЕНЕРГИЯ

Ивайло Стоянов

*Резюме: В статията са представени обобщени резултати от проведени непрекъснати наблюдения на месечния ход на слънчевата енергия, на територията на Русенски университет „Ангел Кънчев“ през периода януари 2005 – август 2009 г. Анализирани са измененията в нивата на слънчевата енергия през отделните сезони и месеци на годината и влиянието, което оказват върху работата на фотоволтаична инсталация с малка мощност.*

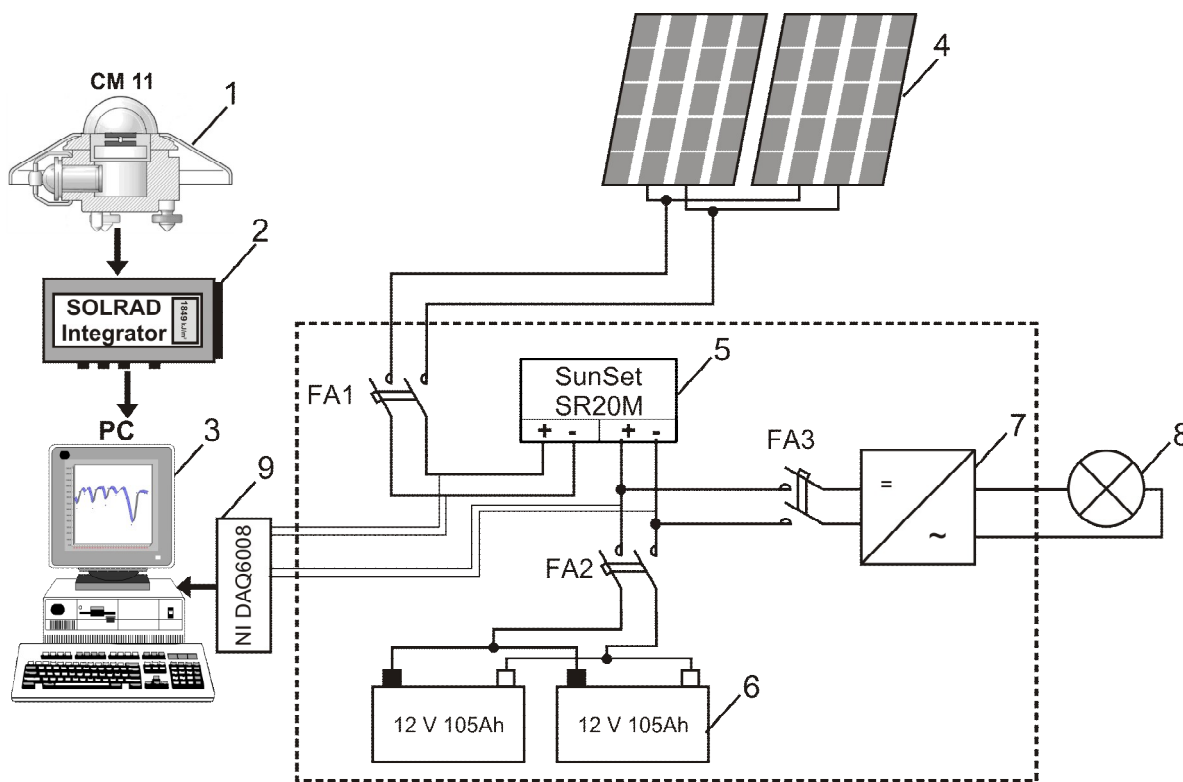
### Увод

През последните години все по-актуален става въпросът за получаване на електрическа енергия от възобновяеми енергийни източници. Слънцето е най-големият източник на енергия на нашата планета. Натрупани са статистически данни за нивото на слънчевата радиация върху земната повърхност, като се наблюдават съществени различия в получените стойности за слънчевата радиация през отделните дни, месеци и сезони на годината [8]. Това се дължи на факта, че поради влиянието на географската ширина, климатичните условия и локалната топография на местността, различните райони от земната повърхност получават различни количества слънчева енергия. Разликата в интензивността на слънчевата радиация за нашата страна обаче, отнесена за равнина перпендикулярна на слънчевите лъчи, не е голяма за различните географски ширини [5]. Това означава, че при подходящ избор на наклона на фотоволтаичните модули те могат да се използват за получаване на електрическа енергия на цялата територия на страната. Влияние върху процеса на преобразуване на слънчевата енергия оказват и други климатични фактори, като температура и скорост на въздуха. По-голямата част от тях са случайни и трудно се поддават на прогнозиране и математическо описание. От направените проучвания е установено, че количеството произвеждана електроенергия от фотоволтаични инсталации е подложена на влиянието на сезонните колебания на съответния период от годината – периодично повтарящи се вътрешногодишни колебания с еднаква амплитуда, които са предизвикани от климатичните особености на различните годишни времена за даден географски регион [6, 10].

Целта на настоящата работа е да се изследва влиянието на сезонните колебания върху нивата на електрическата енергия, получавана от автономна фотоволтаична инсталация с малка мощност, за района на гр. Русе през отделните месеци и сезони на годината.

### Изходни данни

От месец септември 2004 г. в Русенски университет „Ангел Кънчев“, разположен на 43°49'22" северна ширина и 26°1'19" източна дължина, се провеждат непрекъснати измервания на нивата на слънчевата радиация с помощта на специализирана измервателна система, състояща се от пиранометър – 1 тип CM 11 с интегриращ блок – 2 (SOLRAD Integrator) и персонален компютър – 3 [9]. Регистрирани са моментните стойности на директната слънчева радиация (през интервал 1 min) върху плоска повърхност, във  $W/m^2$ , и интегрираните стойности на слънчевата радиация (през интервал 1 ден), в  $kJ/m^2$ . Едновременно с това са извършвани паралелни измервания на основни параметри на автономна фотоволтаична инсталация с малка мощност тип SunSet [3]. Тя е изградена от два монокристални фотоволтаични модули тип AS110 – 4, монтирани на покрива на корпус №10, контролер тип SR20M – 5, 2 акумулаторни батерии 12 V 105 Ah – 6, инвертор 12/230 V 400 W – 7 и осветителни тела – 8 (фиг. 1).

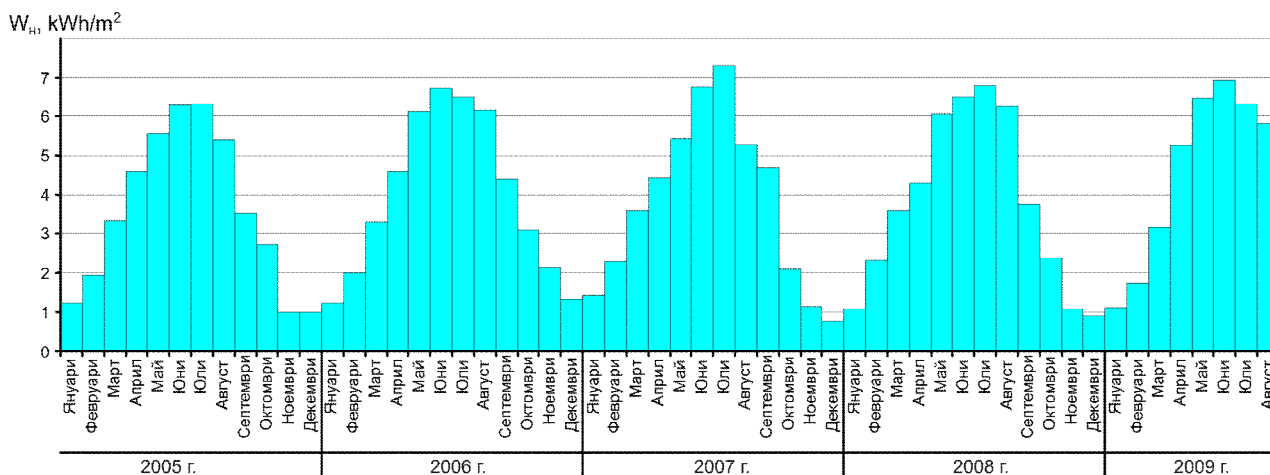


Фиг. 1. Схема на опитната уредба

Регистрирани са токът и напрежението, подавани към и от контролера с помощта на измервателен модул тип DAQ6008 – 9 [7].

### Методика на изследването

Стойността на слънчевата радиация за даден географски район зависи от редица фактори, част от които са случайни [2, 4]. Затова слънчевата енергия е случайна величина, а нейното изменение във времето, е случаен процес (фиг. 2). Очевидно е, че изследваният процес се характеризира с периодични изменения на слънчевата енергия през отделните месеци на годината, т.е. притежават сезонен и случаен компонент.



Фиг. 2. Динамика на среднодневните месечни стойности на слънчевата енергия  $W_n$  през наблюдавания период

В статистическата литература [1, 2] има разработени много методи за изучаване на сезонните колебания. Един от тях е метода на Валд. Той е приложим за изследване на



сезонността в такива временни редове, в които сезонните колебания проявяват някаква закономерност на намаление или увеличение във времето. Методът се основава на допускането, че изследваният временен ред се формира от три компонента на развитието – тренд  $\hat{W}$ , сезонни колебания  $S$  и случайни колебания  $e$ , т.е. редът се представя по следния начин:

$$W_{jk} = \hat{W}_{jk} + S_{jk} + e_{jk}, \quad (1)$$

където  $W_{jk}$  е нивото на слънчевата енергия за единица площ през  $j$ -та година на  $k$ -тия месец;

$j = 1, 2, \dots, n$  – поредният номер на годината от изследвания временен ред;

$k = 1, 2, \dots, 12$  – поредният номер на месеца.

Последователността на работа при приложение на метода на Валд за изучаване на сезонните колебания е следната [1]:

Редът се изглажда (елиминира се случайният и сезонният компонент) чрез приложение на 12-месечните центрирани верижни средни  $\hat{W}_{jk}$ .

Изчислява се разликата между фактическите  $W_{jk}$  и изгладените стойности  $\hat{W}_{jk}$ :

$$y_{jk} = W_{jk} - \hat{W}_{jk}. \quad (2)$$

Получените разлики се осредняват по едноименни месеци ( $a_k$ ) и се изчислява коригираната ѝ стойност  $\hat{a}_k$ :

$$\hat{a}_k = a_k - \sqrt{\frac{a_k^2}{\frac{\sum a_k}{\sum |a_k|}}}. \quad (3)$$

Сезонните колебания  $S_{jk}$  се определят от изразите:

$$1) b_k = \frac{a'_k}{\sum_{k=1}^{12} \hat{a}_k^2}, \quad k = 1, 2, \dots, 12; \quad (4)$$

$$2) F_{jk} = b_k \cdot y_{jk}; \quad (5)$$

$$3) m_{jk} = \sum_{j=k-6}^{k+5} F_{jk}; \quad (6)$$

$$4) S_{jk} = \hat{a}_k \cdot m_{jk}. \quad (7)$$

Случайните колебания  $e_{jk}$  се определят от уравнение:

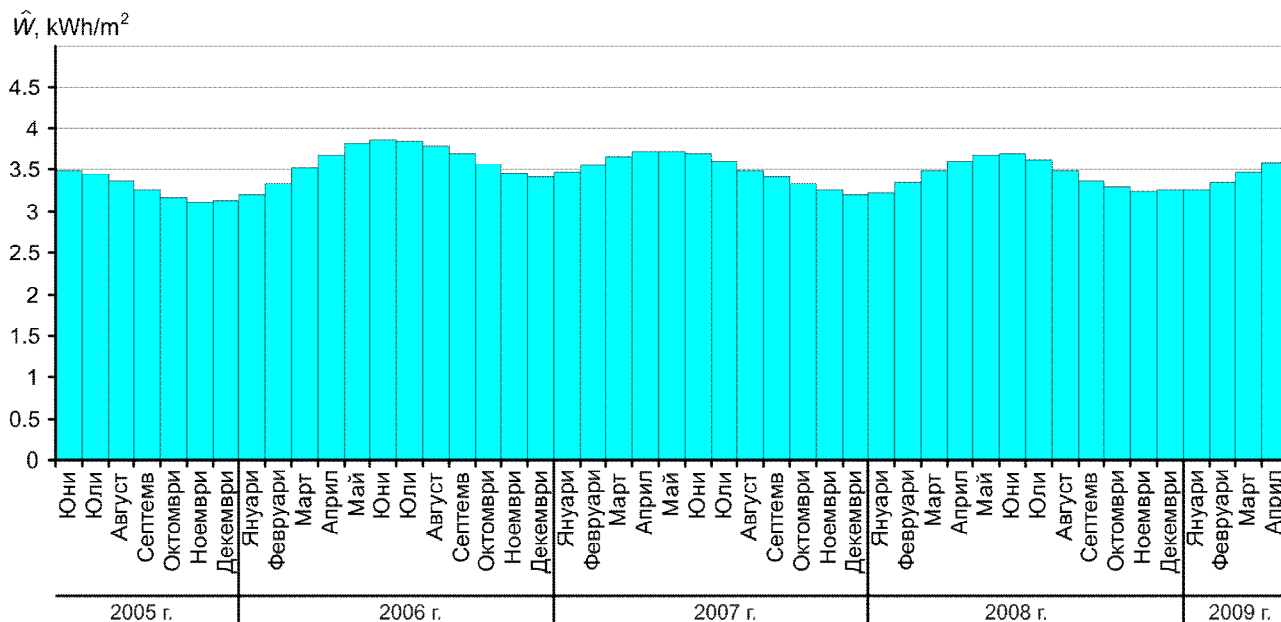
$$e_{jk} = y_{jk} - S_{jk}. \quad (8)$$

За първите и последните 6 месеца от наблюдавания период сезонните и случайните колебания са определени, като е направено допускането, че коефициентът  $m_{jk}$  е постоянен и е равен на числената стойност на първия и последния месец.

**Резултати**

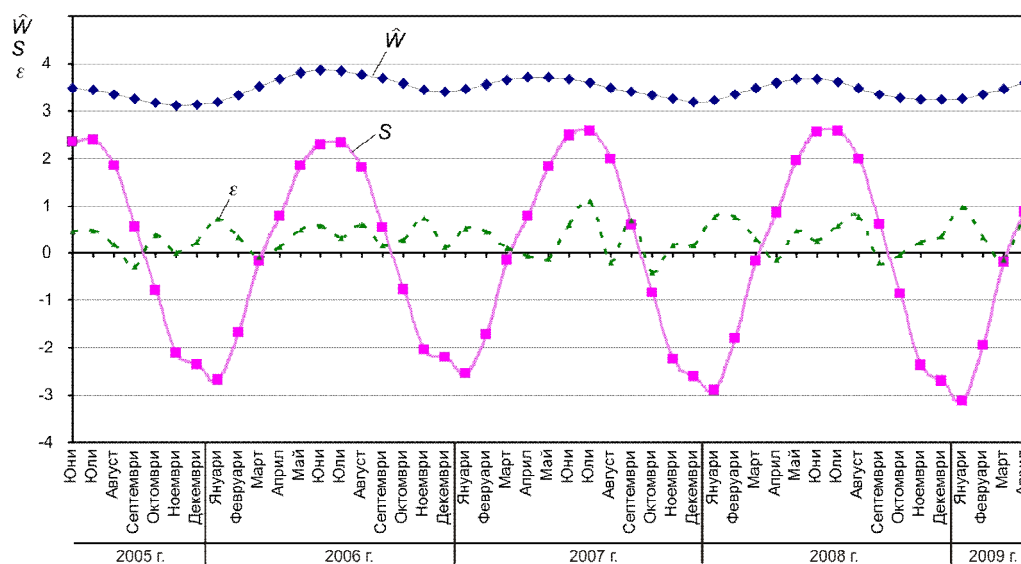
На фиг. 3 и фиг. 4 са показани резултатите от извършените изчисления по описаната по-горе методика.

Анализът на получените резултати показва, че при отсъствие на случаен и сезонен компонент, среднодневните нива на изменение на слънчевата енергия не съдържат тенденция на развитие и се колебаят между 3 и 3,6 kWh/m<sup>2</sup> (фиг. 3).



Фиг. 3. Изгладени среднодневни месечни стойности на слънчевата енергия

На базата на (7) и (8) са пресметнати нивата на изменение на сезонните и случайните колебания върху среднодневните месечни стойности на слънчевата енергия през отделните месеци (фиг. 4).



Фиг. 4. Нива на изменение на  $\hat{W}$ , сезонните  $S$  и случайните колебания  $\epsilon$  на среднодневните месечни стойности на слънчевата енергия

Анализът на получените зависимости показва, че сезонният компонент в нивата на слънчевата енергия притежава определена закономерност и оказва съществено влияние върху общото ниво. Наблюдава се тенденция на бързо повишаване в стойностите от месец януари до месец юли, а размахът достига до 5,7 kWh/m<sup>2</sup>. Максимумът се наблюдава през





месеците юни и юли. Това се обяснява с факта, че те са типично летни месеци, характеризиращи се с голяма продължителност на деня, много слънчеви дни и високи температури. След това, от месец август до месец януари, се наблюдава тенденция на намаляване, като минималните стойности са през месец януари. Следователно сезонните колебания на слънчевата енергия оказват най-голямо влияние върху работата на фотоволтаични инсталации през лятото и зимата, а през пролетта и есента влиянието им е по-малко.

За гр. Русе сезонните колебания оказват най-малко влияние върху добива на електрическа енергия, получавана от фотоволтаици през месец март.

Случайният компонент не проявява характерна тенденция на изменение. Той е сравнително малък, като най-често за наблюдавания период се колебае в интервала от  $-0,2$  до  $+0,6 \text{ kWh/m}^2$ , със средна стойност  $\bar{e} = 0,31 \text{ kWh/m}^2$ .

### Заклучение

Установено е влиянието на сезонните колебания върху нивата слънчевата енергия. Предложен е метод и е извършена оценка на тяхното влияние. Доказано е, че най-голямо влияние сезонните колебания оказват върху работата на фотоволтаичните инсталации през летните и зимните месеци, като размахът е  $5,7 \text{ kWh/m}^2$ . Сезонните и случайните колебания оказват най-малко влияние върху работата на фотоволтаични инсталации през месец март. Предлага се този месец да се приеме за база при организация на производството на електрическа енергия от съществуващи или новоизграждащи се мощности.

### Литература

1. Величкова Н., Статистически методи за изучаване и прогнозиране развитието на социално-икономически явления, Наука и изкуство, София, 1981.
2. Вентцель Е., Л. Овчаров, Теория вероятностей и ее инженерные приложения, Высшая школа, Москва, 2000, 480 с.
3. Каталогни материали на SunSet Solar. <http://www.sunset-solar.de>.
4. Лингова, Ст. Слънчева радиация. Българо-английско дружество "Пъблиш-Сай-Сет-Агри" ООД, София, 1995, 213 с.
5. Практическо използване на слънчевата радиация в България. [http://www.meteo.bg/projects/projects/solarrad\\_bg/solarradiation](http://www.meteo.bg/projects/projects/solarrad_bg/solarradiation).
6. Mihailov, N., I. Stoyanov. Statistical parameters of the process global solar radiation. CIGR World Congress "Agricultural Engineering for a Better World", 03-07 September, Bonn, VDI – Berichte Nr. 1958, 2006, EN 378 A, pp. 749 – 750.
7. NI USB-6008. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14604>.
8. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.
9. SOLRAD solar radiation integrator. Manual Kipp & Zonen. [www.kippzonen.com](http://www.kippzonen.com).
10. Stoyanov, I., N. Mihailov. Analysis of the Daily and Monthly Solar Radiation for the Region of Ruse. Twelfth International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2008, 16 – 18 October 2008, Sofia, Bulgaria, 2008, pp. 332-335.

Ивайло Стефанов Стоянов – гл. ас. д-р инж., Факултет по Електротехника, електроника и автоматика, Русенски университет "Ангел Кънчев", ул. "Студентска" № 8, 7017 Русе, България. Тел.: (082) 888 843, e-mail: [stoyanov@ru.acad.bg](mailto:stoyanov@ru.acad.bg).



## ИЗСЛЕДВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНА СИСТЕМА НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ ЗАХРАНВАЩА ПОМПЕНА СТАНЦИЯ

Светлана Цветкова, Ангел Петлешков, Цанчо Цанев

*Помпите са едни от най-разпространените агрегати. Основно звено в системите за автоматизация и управление на помпените агрегати са регулируемите честотни електрозадвижвания. Масовото използване на регулируеми честотни електрозадвижвания води до влошаване на качествените показатели на електрическа енергия и увеличаване на загубите на активна мощност и електрическа енергия в основните елементи на електроснабдителната система. В доклада са дадени резултати от измерване и анализ на показателите за качество на електрическата енергия в електроснабдителната система ниско напрежение захранваща помпена станция по отношение на дадените норми в БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР "Показатели за качество на електроснабдяване".*

### Въведение

През последните години се наблюдава тенденция към нарастване на броя и мощностите на консуматорите, които влошават качеството на електрическата енергия, а също и на тези, които предявяват повишени изисквания към нея.

Качествените показатели на електрическата енергия се определят, както от управлението на режима на работа на електроенергийната система, така и от режима на работа на потребителите на електрическа енергия.

Помпите са едни от най-разпространените агрегати. При по-голяма част от тях консумацията на течност е променлива. Много често помпените агрегати имат големи инсталирани мощности и въпросът за загубите на електрическа енергия при регулиране на производителността им има съществено значение.

Основно звено в системите за автоматизация и управление на помпените агрегати са регулируемите честотни електрозадвижвания. Съвременните системи за управление постигат високи статични и динамични параметри на регулируемите електрозадвижвания, благодарение на оптималното използване на параметрите и възможностите на асинхронните двигатели. Масовото използване на регулируеми честотни електрозадвижвания води до влошаване на качествените показатели на електрическа енергия (генериране на висши хармоници и др.) и увеличаване на загубите на активна мощност и електрическа енергия в основните елементи на електроснабдителната система.

В доклада са дадени резултати от измерване на показателите за качество на електрическата енергия в електроснабдителната система ниско напрежение захранваща помпена станция. Направен е анализ на показателите за качество на електрическата енергия по отношение на дадените норми в БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР "Показатели за качество на електроснабдяване" [1, 2].

### Определяне на показателите за качество на електрическата енергия в електроснабдителна система ниско напрежение захранваща помпена станция

Измерванията са проведени с трифазен мрежови анализатор на качеството на електрическата енергия QUALISTAR С.А. 8352, който дава възможност за измерване, изчисляване и анализ на всички електрически величини и показателите за качество на електрическата енергия съгласно БДС EN 50160. Получената информация от измерванията е обработена със софтуер Data Viewer Professional.

Консуматорите монтирани в помпената станция са два помпени агрегата, задвижвани с трифазни асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор със следните номинални



Созопол, 1 – 4 октомври 2009 г.

параметри:  $P_H=30\text{kW}$ ,  $f=50\text{Hz}$ , свързване  $Y/\Delta$ ,  $U_H=690/400\text{V}$ ,  $I_H=31/54\text{A}$ ,  $I_{\max}=56\text{A}$ ,  $n_H=2950\text{min}^{-1}$ ,  $\cos\phi=0,87$ , S1, IP55, 132 kg. На всеки от двигателите е монтирано честотно управление (ЧУ) с данни дадени в Таблица 1. Допълнително са монтирани и филтри изпълнени като дросели (Др).

Таблица 1

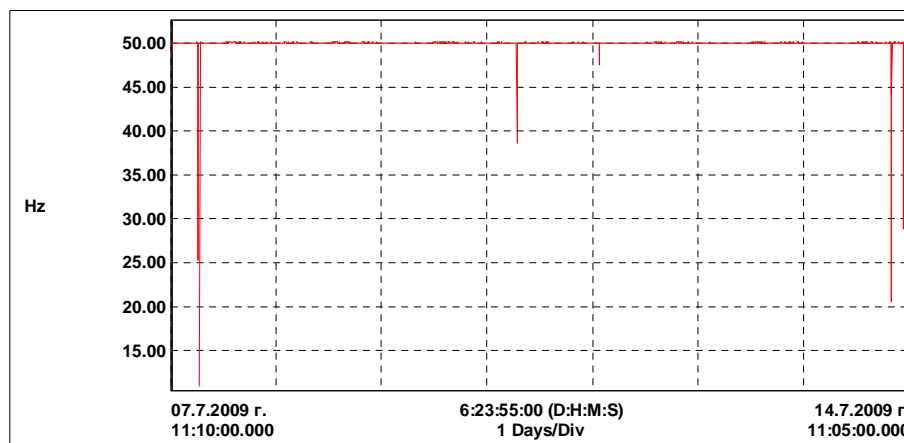
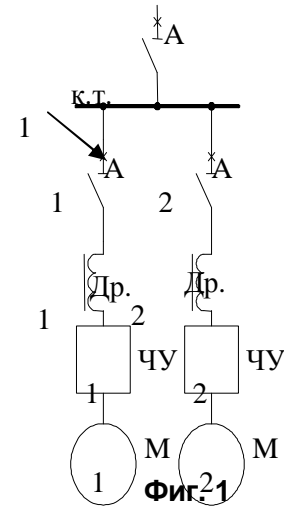
	$U_H, \text{V}$	$f, \text{Hz}$	$I_H, \text{A}$
Входни параметри	ЗАС 400-480	50/60	63
Изходни параметри	ЗАС $0 \div U_H$	$0,1 \div 400$	57
Мощност на двигателя 30kW(400V)			

За поддържане на необходимото налягане от 11 bar, работи единия помпен агрегат. При отказ във всеки момент от време, единия помпен агрегат резервира другия. Товарът захранван в помпената станция има индуктивен характер.

Захранващата мрежа е трифазна, трипроводна с изолирана неутрала. На фиг. 1 е показана еднолинейната силова схема. Измерванията са проведени в контролна точка 1 (к.т. 1), намираща се в захранващото табло [3].

Периодът на измерване на показателите за качество на електрическата енергия е 1 седмица – от 7.07.2009 г. 11:10 часа до 14.07.2009 г. 11:05 часа.

На фиг. 2 е показана честотата на захранващото напрежение. Съгласно БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР номиналната честота на захранващото напрежение трябва да бъде 50 Hz. При нормални условия на работа средната стойност на основната честота, трябва да бъде в обхвата на  $50\text{Hz} \pm 1\%$  (49,5 Hz до 50,5 Hz) по време на 99,5% от годишен период.



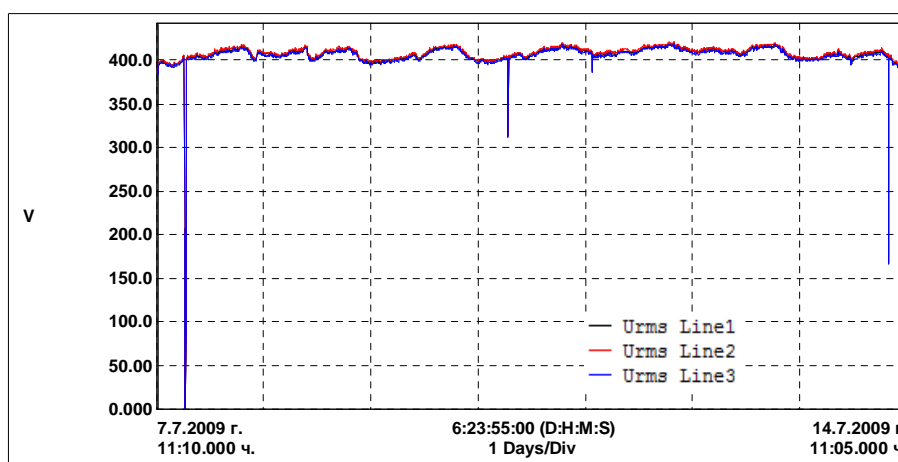
Фиг. 2 Честота на захранващото напрежение

В 16 случая измерената средна стойност на честотата е извън допустимите норми. Измерената минималната стойност на честотата е 11 Hz на 07.07.2009 г в 17:30 часа, а максималната ѝ стойност е 50,07 Hz на 13.07.2009 г. в 7:55 часа. Следователно само в 99,21% средната стойност на основната честота за периода на измерване е в допустимия диапазон.

На фиг. 3 са показани ефективните стойности на линейните напрежения. За номинално напрежение, служещо за опорно напрежение се използва напрежение 400 V. Съгласно БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР при нормални условия на работа, с изключение на



състояния вследствие повреди или прекъсвания на напрежението, 95% от средните ефективни стойности на захранващото напрежение за 10 минути трябва да бъдат в обхвата на  $\pm 10\% U_H$  за всеки период от една седмица, т.е. в диапазона от 360 до 440 V и всички средни ефективни стойности на захранващото напрежение за 10 минути, трябва да бъдат в обхвата на  $-15\% U_H$  до  $+10\% U_H$ , т.е. в диапазона от 340 до 440 V.



Фиг. 3 Ефективни стойности на линейните напрежения

От фиг. 3 се вижда, че само в 10 случая измерената средна стойност на захранващото напрежение е извън допустимите норми, като в 4 от тях има прекъсване на напрежението. Следователно в 99,5% средната стойност на линейните напрежения е в допустимия диапазон.

Максималното отклонение на линейното напрежение е съответно +5,1% за Line 1, +5,43% за Line 2 и +4,73% за Line 3, което е по-малко от допустимата граница от +10% регламентирана в БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР.

Наблюдават се 5 спадания на захранващото напрежение (Таблица 2). Максималната дълбочина на спадане на напрежението е 22,28% за Line 1, 22,3% за Line 2 и 22,13% за Line 3. Краткотрайните спадания на захранващото напрежение са главно резултат на повреди в уредби на потребителите или в обществената разпределителна система.

Таблица 2

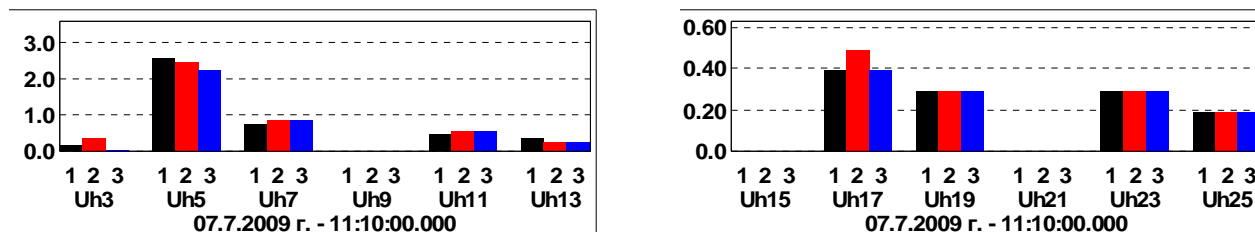
Дата	Час	Напрежение Line 1, V	Напрежение Line 2, V	Напрежение Line 3, V
07.07.2009	17:15	206,8	207,2	205,8
07.07.2009	17:30	89,1	89,2	88,5
10.07.2009	17:50	313,6	314	312,1
14.07.2009	07:20	167,1	167,6	166,3
14.07.2009	10:05	227,9	229	226,6

Временни пренапрежения не се наблюдават.

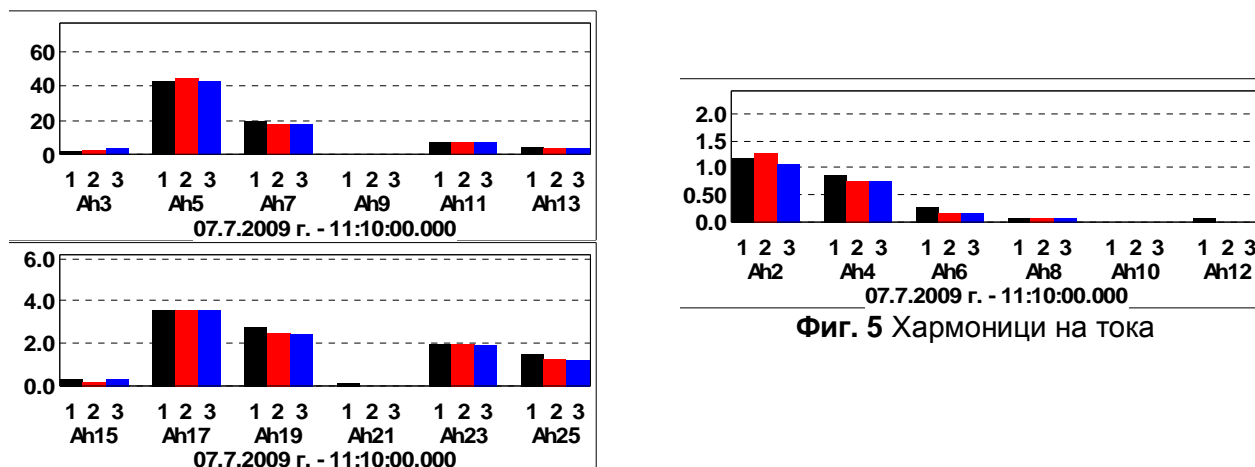
За времето, през което уредът е бил включен в таблото (к.т.1), са регистрирани 4 случайни прекъсвания на захранващото напрежение. Всяко от прекъсванията е било с продължителност от 5 минути, поради което могат да се класифицират като продължителни прекъсвания. Тези непланирани прекъсвания обикновено се причиняват от външни събития или действия, които не могат да бъдат предотвратени от доставчика на електрическа енергия. По стандарт при нормални условия на работа честотата на настъпване за една година на прекъсванията на напрежението с продължителност, по-голяма от 3 минути, може да бъде по-малка от 10 или до 50 в зависимост от района.



На фиг. 4 са показани хармониците на напрежението в %. Вижда се, че преобладават нечетните хармоници на напрежението. Най-силно изразен е пети хармоник на напрежението, който има максимални стойности – 3,4% за Line1, 3,2% за Line 2 и 3,1% за Line 3. Тези стойности са много по-ниски от допустимата стойност от 6% за пети хармоник на напрежението дадена в БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР. От четните хармоници на напрежението се наблюдава само втори хармоник в Line 3, с максимална стойност 0,3%, която е много по-ниска от допустимата 2%.

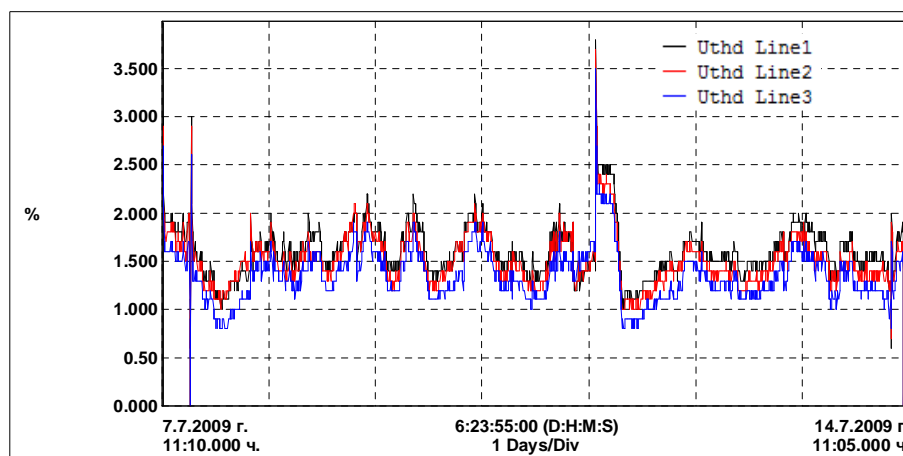


Фиг. 4 Хармоници на напрежението



Фиг. 5 Хармоници на тока

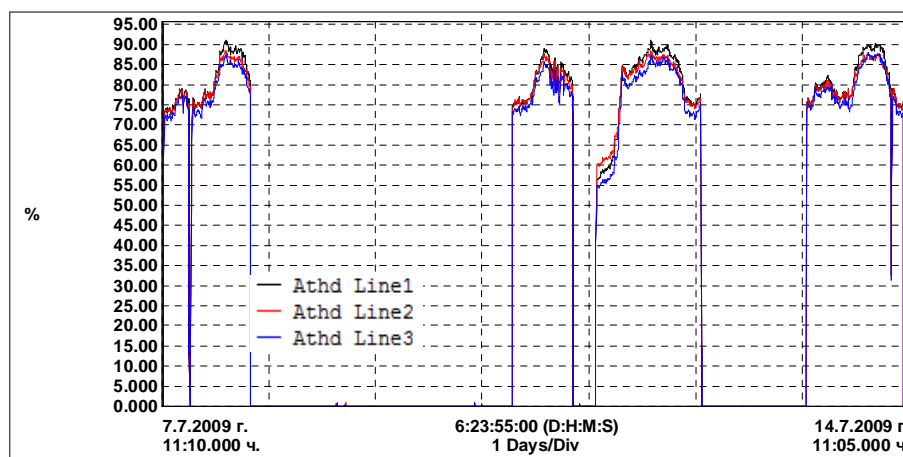
На фиг. 5 са показани хармониците на тока в %. Най-силно изразени са 3, 5, 7, 11 и 13 хармоник на тока, които имат максимални стойности за периода на измерване съответно: за Line 1 – 13,1%, 73,6%, 51,3%, 19,5% и 13,5%, за Line 2 – 11%, 73,1%, 45,7%, 19,7% и 11,7%, и за Line 3 – 20,2%, 69,4%, 50,8%, 19,3% и 12,7%. Големината на 3, 5, 7, 11 и 13 хармоник на тока съгласно IEC 61000-3-4 [4] е съответно 21,6%, 20,7%, 7,2%, 3,1% и 2%. Следователно, големините на измерените 5, 7, 11 и 13 хармоници на тока са много по-големи от допустимите стойности. Наблюдават се и четни хармоници на тока, големината на които е в допустимите от стандарта норма от 8/h, където h е номера на хармоника.



Фиг. 6 Общо хармонично изкривяване на линейните напрежения

На фиг. 6 е показано общото хармонично изкривяване на линейните напрежения. Максималната стойност на общото хармонично изкривяване на напрежението е 3,8% за Line 1, 3,7% за Line 2 и 3,5% за Line 3. Тези стойности на общото хармонично изкривяване на напрежението са далеч под допустимата стойност от 8% за мрежи ниско напрежение дадена в БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР.

На фиг. 7 е показано общото хармонично изкривяване на линейните токове. Максималната стойност на общото хармонично изкривяване на тока е 91,2% за Line 1, 88,5% за Line 2, и 88,1% за Line 3. Тези стойности на общото хармонично изкривяване на тока са значително по-високи от допустимата стойност от 25% регламентирана в IEC 61000-3-4.

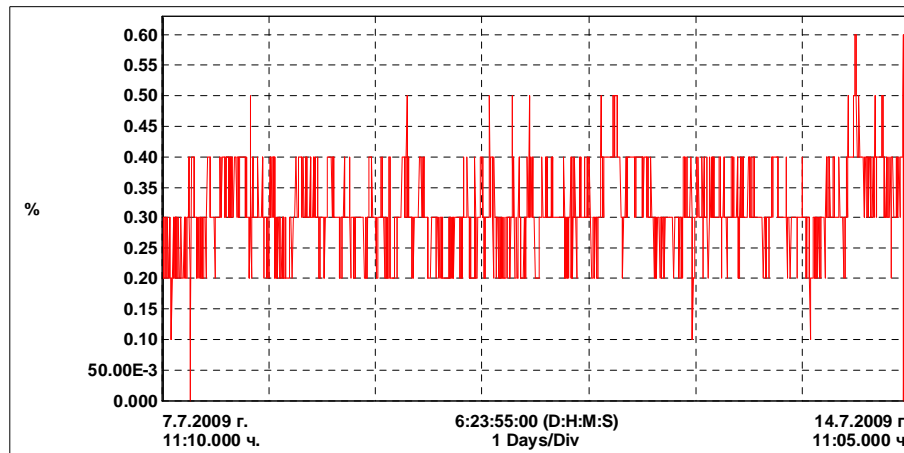


Фиг. 7 Общо хармонично изкривяване на линейните токове

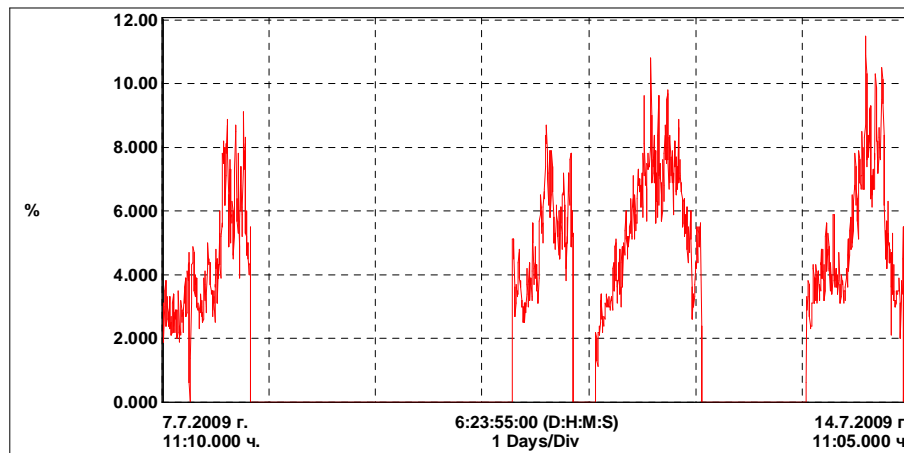
На фиг. 8 и фиг. 9 са показани несиметрията на напрежението и токовете.

Максималната стойност на несиметрията на напрежението е 0,6%. Следователно несиметрията на напрежението е в допустимата граница под 2% в 100% от времето на провеждане на измерването. Максималната и средната стойност на несиметрията на токовете е съответно 11,5% и 2,41%.

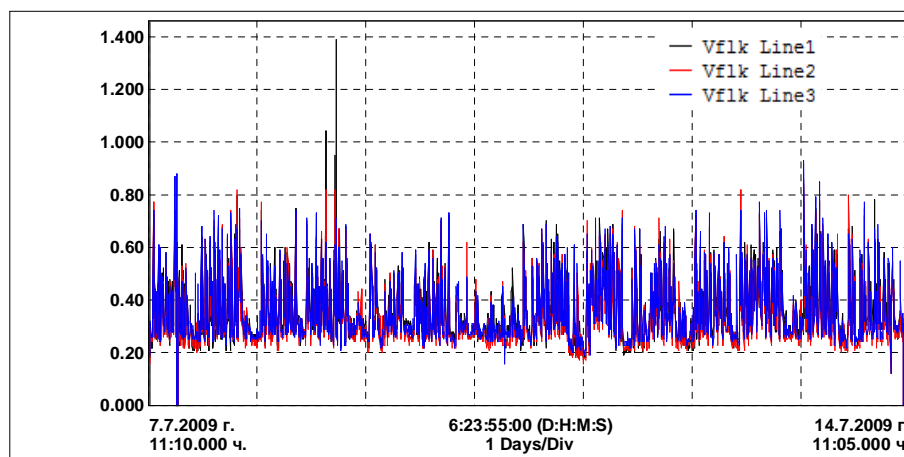
Краткотрайните изменения на напрежението се оценяват по стойността на фликера и неговата строгост. На фиг. 10 са дадени измерените стойности на фликера. Броя на преминаванията на допустимата стойност от 1 на фликера са само 2 на 09.07.2009 г. в 2:10 часа и на 09.07. 2009 г. в 4:25 часа. Нормата е спазена тъй като в 95% от случаите фликера е под 1. Това се дължи на факта, че изследваните помпени агрегати не са мощни консуматори с бързопроменлив режим на работа.



Фиг. 8 Несиметрия на напрежението



Фиг. 9 Несиметрия на токовете



Фиг. 10 Фликер

Средната стойност на фактора на мощността, за времето на работа на двигателя, при синусодален режим е 0,611, а при несинусодален режим е 0,609.

#### Заклучение

От направените измервания и анализ, може да се каже, че електрическата енергия с така измерените параметри не може да окаже негативно влияние върху нормалната работа



на помпените агрегати, както и за повишаване на загубите на електрическа енергия в електроснабдителната система дължащи се на лошо качество на електрическата енергия.

#### Литература

[1] БДС EN 50160:2006 “Характеристики на напрежението на електрическата енергия, доставяна от обществените разпределителни електрически системи”.

[2] ДКЕВР, “Показатели за качество на електроснабдяване на ДКЕВР”, юли, 2004.

[3] Цанев Ц., С. Цветкова, В. Цветкова, “Определяне на контролните точки за монтаж на апаратура за измерване на качеството на електрическата енергия”, Енергиен форум 2008, Варна, Юни 11-14 юни 2008, Варна, стр. 321-329.

[4] IEC 61000-3-4:1998 “Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-4: Limits - Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A”.

Светлана Георгиева Цветкова, доц., д-р, инж., ТУ-София, e-mail: [stzvet@tu-sofia.bg](mailto:stzvet@tu-sofia.bg)

Ангел Стоянов Петлешков, гл. ас., инж., ТУ-София, e-mail: [apetl@tu-sofia.bg](mailto:apetl@tu-sofia.bg)

Цанчо Борисов Цанев, проф., д-р, инж., ТУ-София, e-mail: [tzanev@tu-sofia.bg](mailto:tzanev@tu-sofia.bg)





## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГЕТИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ ИНСТАЛАЦИИ ЗА ГЕОГРАФСКОТО МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ НА ГР. ВАРНА

Владимир Чиков, Валентин Гюров, Румен Киров

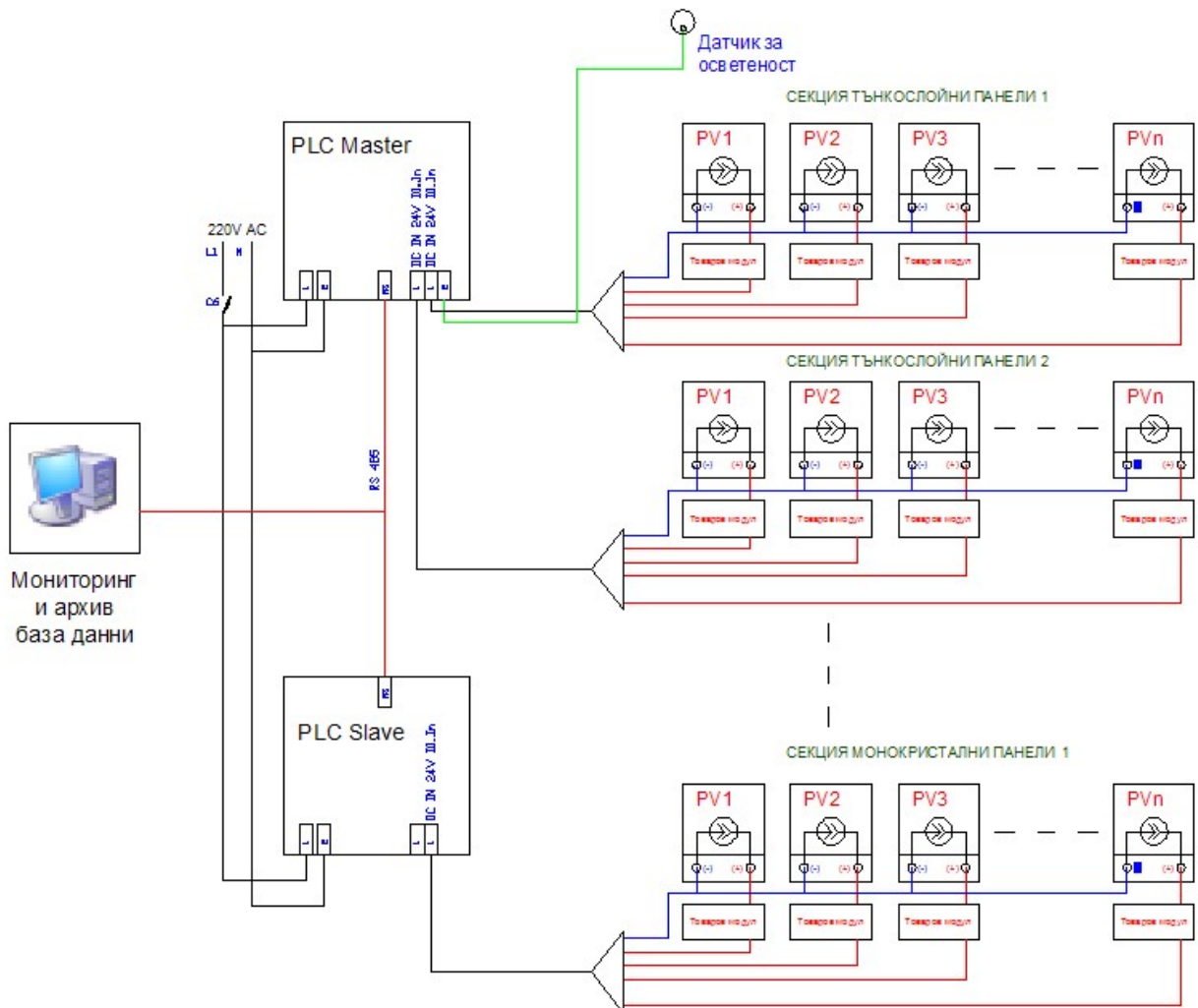
*Настоящият материал анализира енергетичните характеристики на някои типове фотоволтачни панели – монокристални и тънкослойни (наноолтаици) в географските условия на гр. Варна. Показана е структурата и конструктивните особености на специално създадената за целта изпитвателна станция. Получени са експериментални резултати, зависимости и характеристики, като на тяхна база са синтезирани изводи и препоръки приложими при изграждането на фотоволтачни инсталации.*

В последните години интересите на изследователи, производители, търговски фирми и инвеститори са съсредоточени в анализиране на възможностите за изграждане на фотоволтачни инсталации в Република България. Паралелно с това се развива законната и нормативна база, позволяваща реалното изграждане на такива съоръжения. Вече са реализирани и няколко проекта, които поставят началото на този енергиен отрасъл в страната. Настоящото изследване има няколко цели, най-съществените от които са:

- Създаване на станция за едновременното изпитване на индивидуалните енергетичните характеристики на десетки панели в реални условия преди тяхното внедряване във фотоволтаичен парк;
- Сравнителен анализ на енергетичните характеристики на монокристални и тънкослойни панели;
- Анализ на относителният добив на монокристални и тънкослойни панели при различни метеорологични условия и различни периоди на годината;
- Предварителен подбор на панели.

За постигане целите на изследването, през 2008 г. бе създадена изпитвателна станция за съвместно изследване на монокристални и тънкослойни фотоволтачни панели. Изградената станция позволява изпитването на десетки панели, независимо от техният тип, производител и номинални параметри. За целта се използва микропроцесорна система, включваща един или няколко програмируеми логически контролери, датчици за осветеност, индивидуални товарни модули за всеки фотоволтаичен панел. Системата позволява натрупването на резултатите в база данни и създаването на съответните справки, таблични и графични форми. Принципната схема на системата е показана на фиг. 1. Характерна особеност на инсталацията е отпадане на необходимостта от реализиране на паралелни и последователни контури, каквито са налице в изградените и пуснати в експлоатация фотоволтаични инсталации. По този начин, всеки от панелите работи на ниско напрежение (17 или 44V), вместо опасните напрежения в работните фотоволтаични инсталации – по-големи от 400V DC. Това прави възможно подмяната на един или няколко панели по време на работа на изпитвателната станция, без да е необходимо нейното спиране и повторно пускане, като същевременно се гарантират безопасни условия на работа за обслужващият персонал. Така също се съкращава времето за изпитване на даден панел, което позволява изследването на голям брой фотоволтаични панели. Такив тип предварителни изпитания все още не са придобили широка популярност, но в предвид тенденциите за бурно развитие на отрасъла, се очаква да бъдат изключително резултатни и полезни. Основна причина за това е фактът, че в големите фотоволтаични инсталации съществуват множество паралелни и последователни контури и отклоненията на параметрите на един единствен панел дава отражение върху параметрите и ефективността на цели сегменти от инсталацията.

Фиг.1 Принципна схема на изпитвателна станция за тънкослойни и монокристални панели



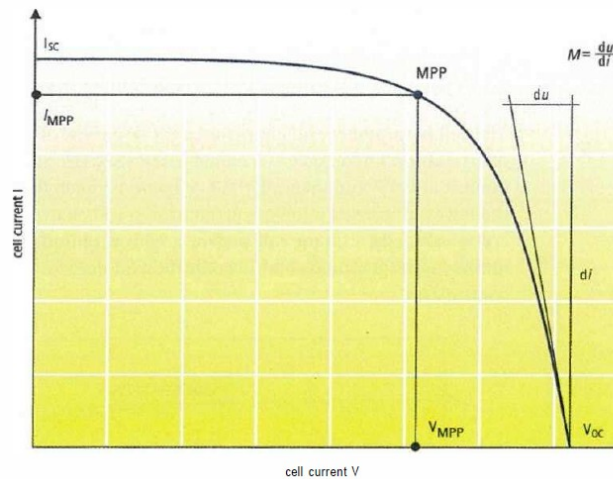
В зависимост от броя на изпитваните панели и възможностите на съответните PLC могат да бъдат използвани няколко PLC, следвайки йерархията “master-slave”. Специално разработените товарни устройства поддържат номинално изходно напрежение чрез промяна на консумирания ток, постигайки максимална генерирана мощност. На фиг.2 е показана точката MPP – точка на максимална мощност (Maximum Power Point) [1]. Товарните устройства осигуряват работа на всеки панел в тази точка, независимо от слънцегреенето. Физическо обяснение се дава с градиента на характеристиката M

$$M = du / di \quad (1)$$

където:  $u$  – генерираното напрежение [V];  
 $i$  – генерираният ток [A].

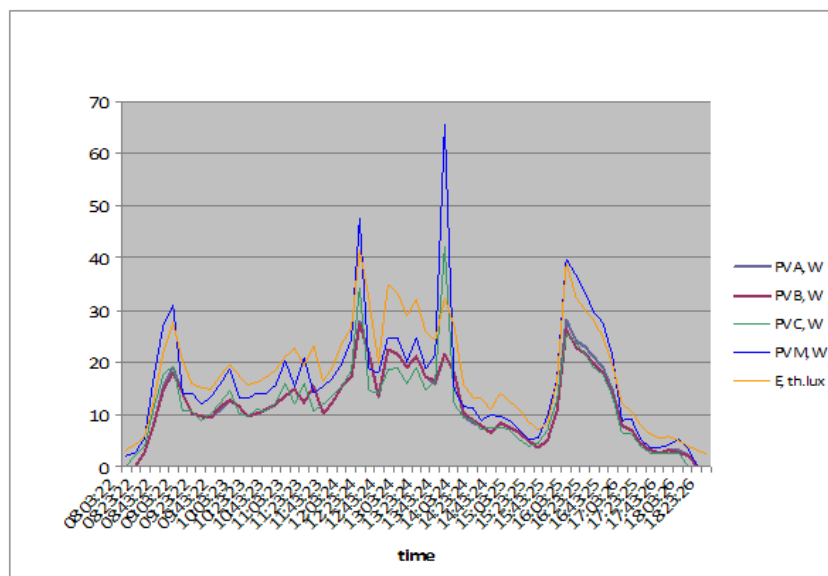
Видно е, че MPP съответства на ъгъл на допирателната  $45^\circ$ , т.е.  $M=1$ . В тази точка генерната мощност  $P = u \cdot i = \max$ .

Фиг. 2 Примерна външна характеристика на фотоволтаичен панел.

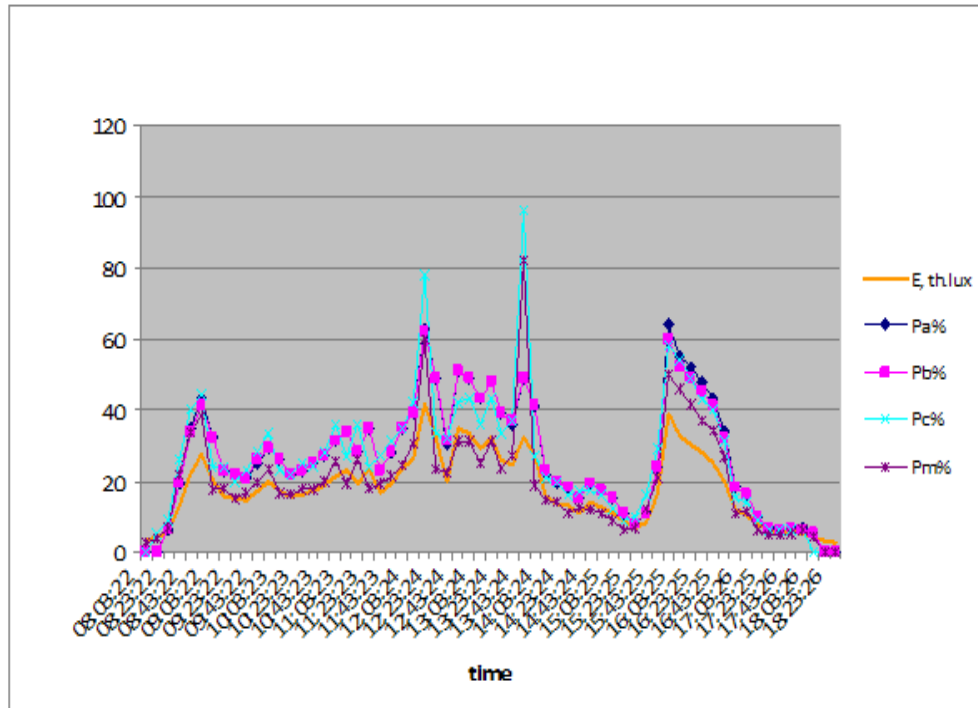


В следствие на проведените изследвания на тънкослойни и монокристални панели, в рамките на една календарна година е натрупан значителен обем информация. За разположението на Република България и гр. Варна в частност, е характерен четирисезонен климат, което предопределя някои особености при работата и ефективността на различните типове фотоволтаични инсталации. За летният сезон, в изцяло слънчевите дни, както инсталациите с тънкослойни панели, така и тези с монокристални развиват пълната си номинална мощност и к.п.д. близък до 1 (или 100%) за обедните часове. [2,3]. През зимният сезон и двата типа работят с много нисък добив и докато за монокристалните той е не по-голям от 5% от инсталираната мощност, то тънкослойните имат добив между 5 и 7%. Съществени разлики се забелязват в пролетният и есенният сезон. На фигурите по-долу са дадени експерименталните данни за три еднакви тънкослойни панела с номинална мощност 44W, именувани като PV A, PV B, PV C и един монокристален панел именуван като PV M

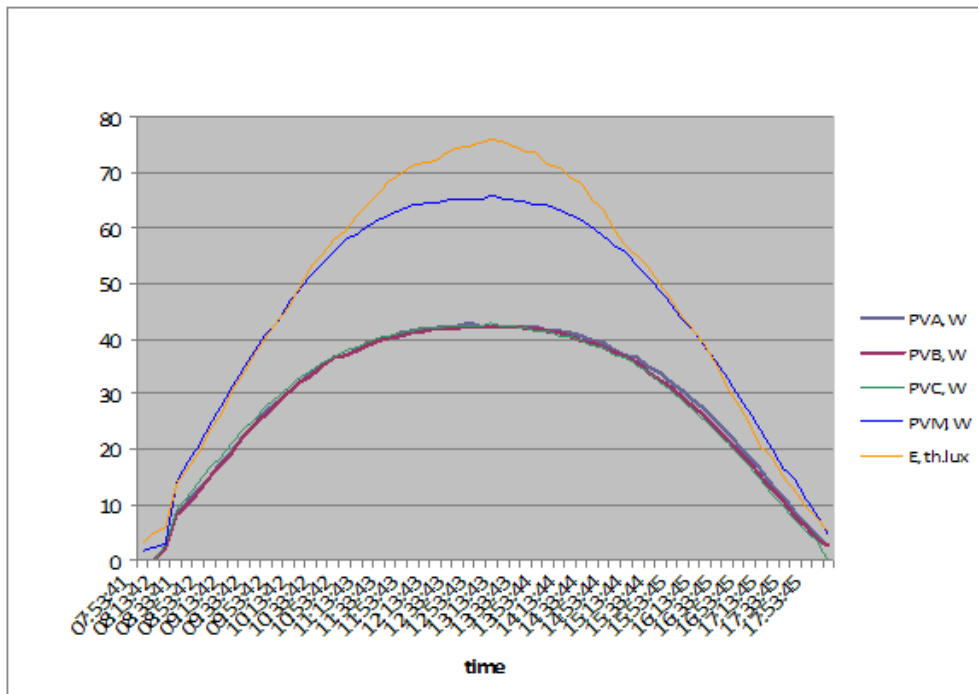
Фиг. 3. Изменение на добива (W) на тънкослойни и монокристални фотоволтаици за характерен ден с променлива облачност



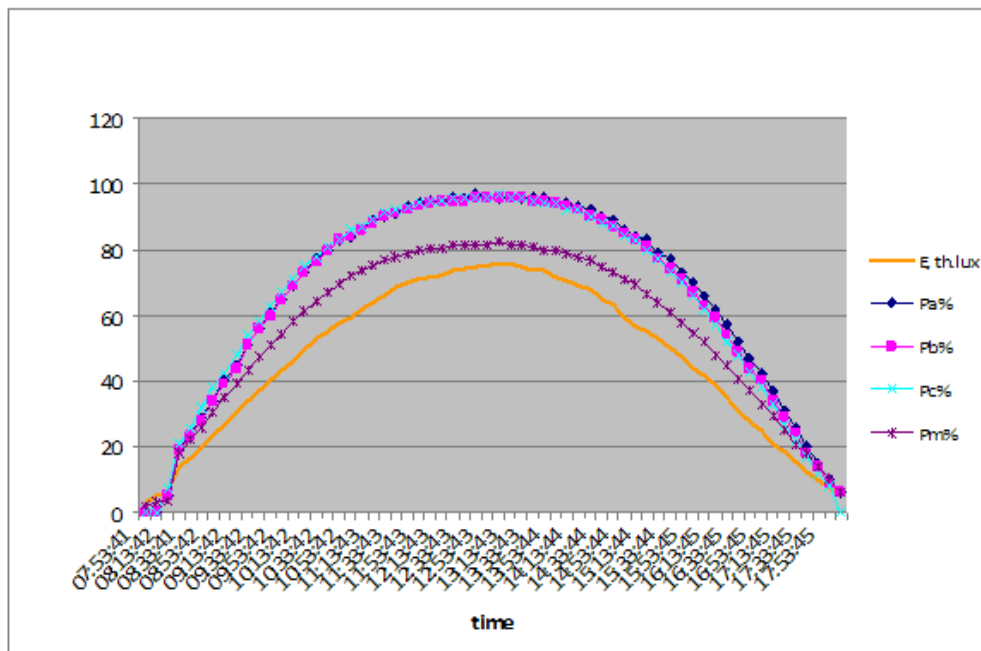
Фиг.4 Изменение на относителният добив (к.п.д.) на тънкослойни и монокристални фотоволтаици за характерен ден с променлива облачност



Фиг 5 Изменение на добива (W) на тънкослойни и монокристални фотоволтаици за характерен слънчев ден от есенният сезон



Фиг 6 Изменение на относителният добив (к.п.д.) на тънкослойни и монокристални фотоволтаици за характерен слънчев ден от есенният сезон



Като показател отчитащ ефективността на панелите се използва относителният добив – генерираната мощност към номиналната мощност в %. От фиг. 3 и фиг. 4 се вижда, че за целият период на изпитване в дни с променлива облачност, относителният добив на тънкослойните панели е винаги с минимум 10% по-висок от този на монокристалните, като в някои случаи разликата достига и повече от 20%. От фиг. 5 и фиг. 6 се вижда още по-голямото предимство на тънкослойните панели в ясни слънчеви дни през есенния и аналогично пролетния сезон. Това най-ясно е отразено на фиг. 6. За целият разглеждан период, монокристалният панел достига относителен добив максимум 80%, като нарастването на добива следва почти правопрпорционално нарастването на слънцегреенето. Тънкослойните панели достигат относителен добив над 95% почти час преди максимума на слънцегреенето и го задържат почти час след това. Вижда се също така, че нарастването на добива е много по-голямо спрямо нарастването на слънцегреенето. За обобщаване на тези резултати в табл.1 е отразен енергийният добив като електроенергия в kWh за една характерна седмица от есенния сезон, включваща един мрачен и дъвовен ден (6.10), един ясен и слънчев ден (10.10) и пет дни с променлива облачност без превалявания. Енергийният добив на Thin-Film фотоволтаиците ( $E_{PV1}..E_{PV3}$ ) с  $P_H = 44W$ , и монокристален фотоволтаик ( $E_{PV4}$ ) с  $P_H = 80W$  е показан в табл.1 Във всеки един от тези дни, тънкослойните панели превъзхождат монокристалните, отчитайки факта, че те имат два пъти по-малка номинална мощност. Особено силно това се вижда както за 6.10, така и за 10.10., като за 6.10 генерираната енергия на монокристалният панел е само с 20% повече. Осреднено за седмицата, монокристалният панел има с около 35% по-висок добив при два пъти (100%) по-голяма номинална мощност.

Табл.1

дата	$E_{PV1}$ [kWh]	$E_{PV2}$ [kWh]	$E_{PV3}$ [kWh]	$E_{PV4}$ [kWh]
04.10.2008 г.	0.13	0.13	0.13	0.18
05.10.2008 г.	0.11	0.11	0.12	0.17
06.10.2008 г.	0.10	0.10	0.09	0.12



07.10.2008 г.	0.19	0.19	0.20	0.28
08.10.2008 г.	0.12	0.12	0.12	0.17
09.10.2008 г.	0.16	0.16	0.18	0.26
10.10.2008 г.	0.30	0.29	0.30	0.45
<b>Общо:</b>	<b>1.11</b>	<b>1.10</b>	<b>1.14</b>	<b>1.63</b>

На база на проведените изследвания могат да се направят следните изводи:

- Станции за изпитване на фотоволтаични панели преди тяхното внедряване в експлоатация са приложими и високо ефективни;
- За географското местоположение на Република България и в частност гр. Варна, тънкослойните панели превъзхождат монокристалните по показател относителен добив с повече от 65% за пролетния и есенния сезон;
- Единствен, но съществен недостатък на тънкослойните панели е почти два пъти по-малката инсталирана мощност на квадратен метър. В градски райони, където площите за разполагане на фотоволтаични инсталации са ограничени и с висока цена, изборът на техническо решение е проектантска задача, която трябва да отчита горепосочените фактори.

Литература:

1. Photovoltaic Systems – Planning & Installing, Earthscan, United Kingdom, 2008
2. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, An. Luque, St. Hegedus, USA, 2003
3. Practical Handbook of Photovoltaics, Tom Makvart, Luis Castafier, Elsevier, USA, 2003

гл. ас. д-р. инж. Владимир Чиков Чиков, ТУ-Варна, 052 383 570, [vladimir\\_128@abv.bg](mailto:vladimir_128@abv.bg)

ст. ас. инж. Валентин Николов Гюров, ТУ-Варна, 052 383 515, [valentin.giurov@tu-varna.bg](mailto:valentin.giurov@tu-varna.bg)

доц. д-р. инж. Румен Михайлов Киров, ТУ-Варна, 052 383 515, [kvc\\_electroinvest@yahoo.com](mailto:kvc_electroinvest@yahoo.com)



## СТЕНД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕАКТИВНИ ТОВАРИ С ПРОМЕНЛИВ ХАРАКТЕР И ТЯХНОТО КОМПЕНСИРАНЕ

В Георгиев, Б. Бойчев, Н. Матанов, В. Господинов

**Резюме:** В доклада е представен проблема на промяна на характера на реактивния товар в точката на присъединяване към обществената мрежа и проблемите възникващи с компенсирането му чрез традиционните устройства (кондензаторните батерии). Разработен е проект за стенд за изследване и обучение относно възможните начини, за икономически ефективно решение, за компенсиране на реактивния товар, когато той има и индуктивен и капацитивен характер.

### Реактивни товари

В индустриалните приложения, класическите товари са обикновено активно-индуктивни. Консумираният от тях ток изостава спрямо захранващото напрежение,  $\cos\phi$  е по-малък от единица и положителен. Това определя индуктивния характер на реактивната мощност или както често се казва – консумира се индуктивна енергия. Тъй като това е най-често срещания в практиката случай, стандартните компенсиращи устройства са създадени да работят именно при такива условия.

Кабелните линии, когато са под напрежение, но ненатоварени, представляват капацитивен товар и генерират реактивна енергия. Реактивната мощност на захранващите линии (кабелни или въздушни) се определя с израза:

$$(1) \quad Q = 3(wCU^2 - wLI^2),$$

Където  $Q$  е реактивната мощност в  $\text{VAr}$ ,  $w=2pf$  е кръговата честота на захранващото напрежение,  $U$  и  $I$  са ефективните стойности на напрежението и тока през линията, а  $C$  и  $L$  са нейните капацитет и индуктивност. Последните два параметъра се дават за единица дължина. За кабелните линии са характерни относително голяма та стойност на капацитета и сравнително малката индуктивност за единица дължина. По тази причина, второто събираемо в (1) обикновено се пренебрегва.

В Таблица 1 са дадени капацитета и реактивната мощност за 1 km трифазна кабелна линия, работеща на напрежение 20 kV.

S, mm <sup>2</sup>	C, $\mu\text{F}/\text{km}$	Q (3ph), kVAr/km
50	0.18	68
70	0.2	75
95	0.22	83
120	0.23	87
150	0.25	94

Таблица 1. Реактивна мощност за километър дължина, за някои сечения кабели за напрежение 20 kV

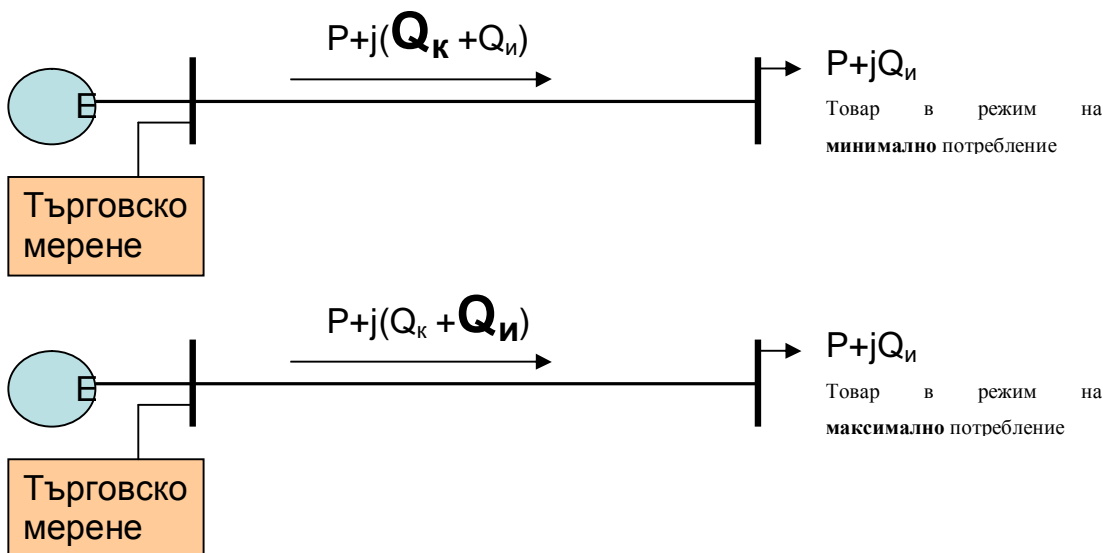
При голяма дължина на кабелната линия, може да се генерира относително голяма реактивна мощност, която в определени режими да измени реактивния характер на товара.

### Реактивни товари с променлив характер

Ако търговското измерване на електрическата енергия се извършва в началото на дълга захранваща линия, то са възможни два различни режима по отношение на характера на реактивната енергия (Фиг. 1):

- Когато основният товар, прикачен към края на захранващата кабелна линия е в номинален режим, то консумираната от него реактивна енергия е достатъчно голяма, за да определи характера на товара в точката на измерване. Инсталираната индуктивна мощност  $Q_{и}$  ще бъде намалена с капацитивната мощност на кабелната линия  $Q_{к}$ , но ще остане индуктивна.

- В режим на минимална консумация, индуктивната мощност  $Q_{и}$ , консумирана в края на линията е малка и не може да компенсира капацитивната мощност на кабелната линия  $Q_{к}$ , което определя капацитивния характер на реактивната енергия в точката на измерване или е налице т.нар. връщане на реактивна енергия.



Фиг. 1. Характер на товара в точката на измерване при минимален и при номинален режим на работа

### Заплащане на реактивната енергия

В България, цената и начина на заплащане на активната и индуктивна енергия се регулира с „Наредба за регулиране на цените на електрическата енергия” [2], издадена от ДКЕВР. Според тази наредба, всички консуматори с декларирана мощност по-голяма от 100 kW, заплащат консумираната реактивна енергия, ако техният  $\cos\phi$  е по-малък от 0,9. На практика, консумираната реактивна енергия се заплаща на месечната база и то по цена равна на 10% от средната цена на активната енергия за предходната година.

Върнатата реактивна енергия, (т.е. капацитивната такава), се измерва отделно и се заплаща по цена равна на 100% от средната цена на активната енергия за предходната година.

Именно начина на заплащане на върнатата реактивна енергия прави особено неприятен за потребителите случая, в който дългите кабелни линии могат да изменят характера на товара в зависимост от неговия режим.

Всички субекти, при които търговското измерване на електрическата енергия е подобно на това от Фиг. 1, заплащат големи суми за върната реактивна енергия, през интервалите от време, когато се налага техните товари да преминат в режим на минимална консумация. Трябва да се подчертае, че върнатата реактивна енергия не се заплаща на средномесечна база, както консумираната такава, т.е. всеки час, през който се връща реактивна енергия се заплаща, независимо от стойността на  $\cos\phi$  през останалото време.

С такъв проблем се сблъскаха голямо количество промишлени предприятия, които притежаваха кабелни линии с относително голяма дължина, изградени по времето на социализма. Най-често срещаното решение на проблема е изместване на точката на





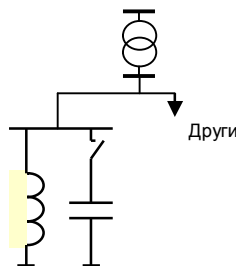
измерване, чрез преотстъпване на захранващите кабели на електроразпределителното дружество. Така източникът на върната реактивна енергия остава пред мястото, където е инсталиран електромера и не се отчита от него.

През последните 3 години обаче, зачестиха случаите, в които това решение не може да бъде приложено. По съображения за сигурност или поради спецификата на електроснабдителната система, стопанските субекти не могат или не желаят да изместват точката на измерване. Такива случаи се срещат при:

- сгради на банки, фирмени централи, държавни учреждения, където са инсталирани сървъри, чието захранване се резервира чрез прикачване към различни точки на енергийната система, като за тази цел се полагат кабелни линии за средно напрежение със значителна дължина. От съображения за надеждност, кабелните линии се държат постоянно под напрежение, дори когато не са с хартиена изолация.
- Зимни курорти и помпени станции. В тези случаи съоръженията се намират на голямо разстояние едно от друго. Тяхната специфика предполага инсталирането на значителни мощности, които обаче се използват само през определени сезони на годината.
- Електрически транспорт – дългите захранващи линии и спецификата на товара създават същия проблем при железопътния транспорт и при градския електротранспорт.

#### Начини за компенсирание:

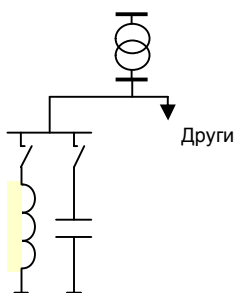
1. Прекомпенсиране с голям реактор. Инсталира се голяма индуктивност (без регулиране), която преобразува товара в индуктивен, дори при режим на минимално натоварване. След това се инсталира стандартен  $\cos\phi$  регулатор с превключваеми реактори. Решението е евтино, но енергийно неефективно, тъй като реакторът е постоянно включен и генерира загуби на активна мощност. Освен това изисква силно преоразмеряване на кондензаторните батерии на компенсатора.



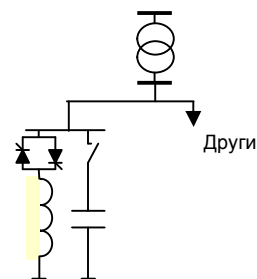
Фиг. 2. Прекомпенсиране с постоянно включен реактор

2. Превключваеми реактори и кондензатори.
3. Тиристорно управляем реактор и превключваеми кондензатори.

Решенията с превключваем или тиристорно управляем реактор са прости, евтини и енергийно ефективни. Недостатък се явява отсъствието на стандартен контролер за управление. Стандартните  $\cos\phi$  регулатори работят само за капацитивен характер на товара.



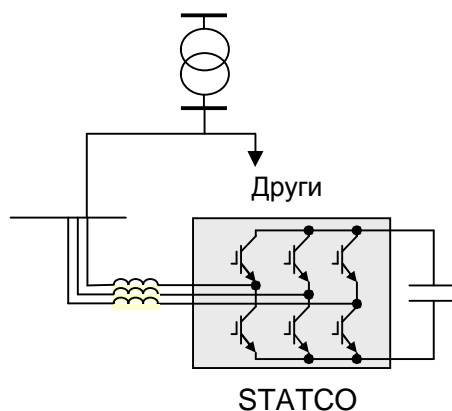
Фиг. 3. Превключваем реактор и кондензатор.



Фиг. 4. Тиристорно управляем реактор и превключваем кондензатор

#### 4. Статичен компенсатор.

Статичните компенсатори са сложни и скъпи устройства. Тяхното използване е оправдано, там където освен реактивната енергия трябва да се компенсират и висшите хармоници генерирани от товара. Обикновено те се използват при много големи мощности и високо напрежение.

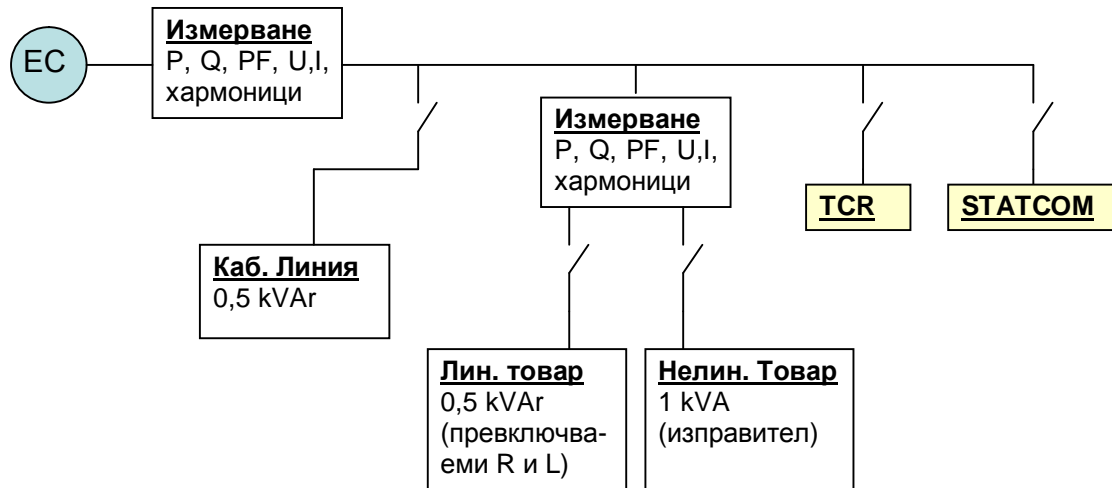


Фиг. 5. Статичен компенсатор

#### Стенд за изследване на процесите при компенсиране на реактивни товари с променлив характер.

За изследване на процесите при компенсиране на реактивни товари с променлив характер е разработен стенд, блоковата схема на който е показана на Фиг. 6.

Кабелната линия е моделирана с кондензаторни батерии, като нейното активно и индуктивно съпротивление са пренебрегнати. Стендът позволява включване на модели на линеен активно-индуктивен и на нелинеен товар, реализиран като управляем трифазен изправител с променлив по характер и по абсолютна стойност товар. Това позволява моделиране и превключване на различни режими на работа. Предвидени са две точки на измерване – в началото и в края на виртуалната кабелна линия.



Фиг. 6. Стенд за изследване на процесите при компенсирание на реактивни товари с променлив характер

Към товара могат да се включват компенсатори от различен тип – превключваем реактор, тиристорон управляем реактор, статичен компенсатор. Стендът позволява изследване, както на статичните режими на компенсаторите, така и на преходните процеси, настъпващи при тяхното превключване.

### Заклучение

Разгледан е специфичен проблем, характеризиращ се с променлив характер на реактивния товар, в зависимост от режима на работа на съоръженията, възникващ при наличие на относително дълги кабелни линии под напрежение. Анализирани са основните средства за компенсирание на подобни реактивни товари и е представен стенд за тяхното изследване.

[1] С. Стефанов, В. Русева, *Избор на индуктивни компенсиращи устройства*, Научни трудове на русенския университет - 2008, том 47, серия 3.1, стр. 44.

[2] Наредба за регулиране на цените на електрическата енергия, ДВ, 2004, бр. 17, (изм. и доп., бр. 62 от 31.07.2007).

[3] Наредба № 6 от 9.06.2004 г. за присъединяване на производители и потребители на електрическа енергия към преносната и разпределителните електрически мрежи, ДВ, 2004, бр. 74 (изм. и доп., бр. 25 от 5.03.2008).

[4] Правила за търговия с електрическа енергия, ДВ, 2008, бр. 46.

[5] R. S. Vedam, M. S. Sarma *Power Quality Var Compensation in Power Systems*, CRC Press 2009.

[6] C. Hsu, MO-S. Chen, *Reactive Power Planning and Operating in the Deregulated Power Utilities*, International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies 2000, City University, London, 4-7 April 2000

[7] Gueorgiev V., N. Matanov, B. Bojchev, V. Gospodinov, *Energy Efficiency of Different Approaches for Compensation of Capacitive Loads*, in proceedings of XVI-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA 2009, June – 2009, Burgas, Bulgaria, vol.II. pp.123-129.

[8] Rodrigues Limongi L, R. Bojoi, G. Griva, A. Tenconi, *Digital Current Control Schemes*, IEEE Industrial Electronics Magazine, vol 3, num 1, March 2009, pp.21-31.



## СКАЛАРЕН МОДАЛЕН АДАПТИВЕН СТАБИЛИЗАТОР ЗА СТАТИЧЕН УПРАВЛЯЕМ КОМПЕНСТОР

Николай Джагаров, Живко Гроздев, Милен Бонев

### Резюме

*В статията е предложено оригинално адаптивно управление за статични управляеми компенсатори на базата на скаларен модален адаптивен стабилизатор. Управляемата система се идентифицира в реално време и на базата на оценените параметри и променливи на идентификационния модел се формира управляващ сигнал, чрез който се управлява компенсатора. Благодарение на ефикасността на адаптивното управление се повишава демпфирането на системата като цяло, като се подобряват всички характеристики на преходните процеси и се увеличава предавателната способност на линията.*

### Въведение

Статичните управляеми компенсатори (СУК) са важни FACTS устройства за управление на напрежението в електроенергийните системи (ЕЕС). Обаче при използването на СУК само за управление на напрежението не може да се подобри демпфирането на колебанията в енергосистемата, даже в отделни случаи тези колебания могат да се усилят. Затова трябва да бъде въведено допълнително управление така, че да може да се изменя напрежението на клемите на компенсатора. Измененията на напрежението трябва да бъдат такива, че да се осигури демпфиращ момент или ускоряваща мощност на генераторите, усилващи демпфирането на ЕЕС.

Обикновено управлението на СУК се проектира да има контур за управление на напрежението с допълнителен контур на непрекъснато стабилизиращо въздействие. За управление на компенсаторите се използват пропорционално-интегрални регулатори [1], адаптивно ПИ-управление [2] – регулиращо коефициентите на усилване на каналите за управление, дискретно превключващо управление [3], управление с помощта на невронни мрежи [4] и размита логика [5]. Установено е [6], че докато при малки амплитуди на колебанията проектираните системи за управление на напрежението и демпфирането имат добри характеристики, то при случаите на големи смущения и колебания те не могат да осигурят демпфиране на енергосистемата.

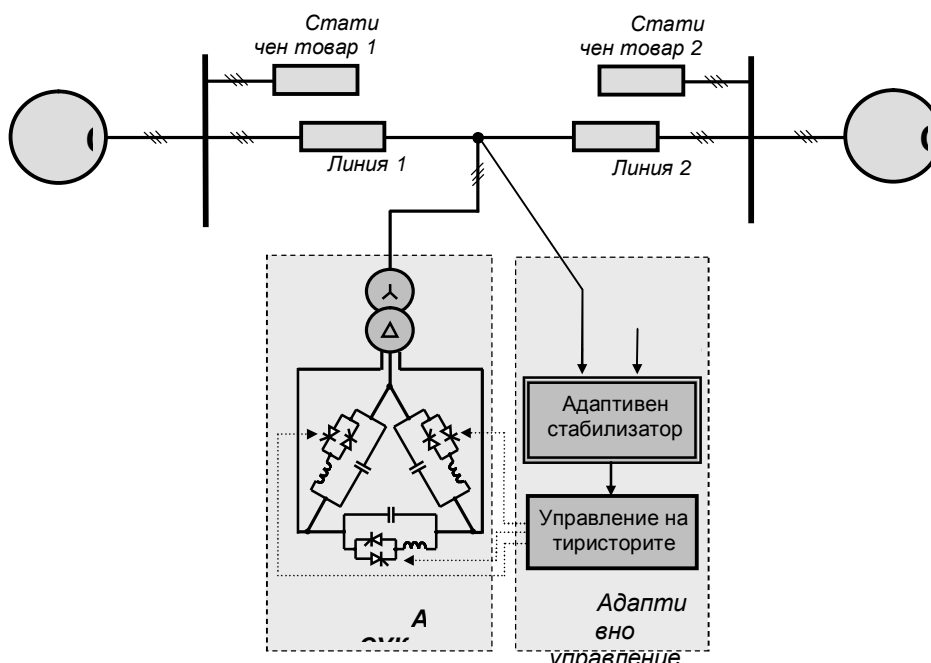
Анализът на опита на проектиране и внедряване на статични управляеми компенсатори показва, че най-добри резултати могат да се получат при адаптивно управление, отчитащо изменението на състоянието на ЕЕС. Основните трудности при използваните адаптивни методи са свързани със сложността на това управление и с необходимото изчислително време за обучение, или за изчисление на променящите се параметри на системата и регулиращото въздействие.

В статията е предложен нов адаптивен стабилизатор, който идентифицира управляемия обект в реално време, който на базата на измерените променливи на управляемата система идентифицира параметрите и променливите на идентификационния модел и изчислява стабилизиращ сигнал [7].

### Изследвана система

В статията се разглежда адаптивен статичен управляван компенсатор включващ фиксиран кондензатор  $C$  заедно с тиристорно-регулиран реактор  $L$  (фиг.1). Тиристорно регулирания реактор непрекъснато регулира реактивната енергия чрез регулиране на амплитудата на тока през реактора, което се извършва с помощта на управление на отпушващия ъгъл на тиристорите. Така се регулира индуктивността на дросела, присъединен паралелно на фиксирания кондензатор. Отпушващият ъгъл може да се изменя

от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ , по отношение на напрежението на компенсатора, като има възможност напълно да се промени в рамките на един период от основната честота. По този начин се създава бързо и плавно регулиране на отдаваната или абсорбираната реактивната енергия към и от системата, където е включен компенсаторът.

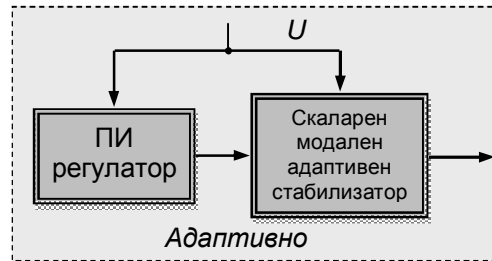


Фиг.1. Схема на изследваната три-възлова система с адаптивен статичен управляем компенсатор.

Изследва се три-възлова система съставена от синхронни генератори заедно с автоматичните си регулатори на напрежение и скорост, статични активно-индуктивни товари и предавателни линии. Адаптивният статичен управляем компенсатор е включен в средния възел на системата като неговата цел е да демпфира електроенергийните колебания. Демпфирането на системните колебания играе важна роля не само в подобряването на предавателната способност, но също и при стабилизиране състоянието на системата при критични аварии, в частност и в слабо свързани системи.

### Алгоритъм за адаптивно управление

Основната функция на адаптивното управление е непрекъснато идентифициране на управляемия обект в реално време чрез линеен модел от нисък ред и формиране на управляващ сигнал. В изследваната схема се използва стандартен ПИ-регулатор и скаларен модален адаптивен стабилизатор. На входовете на стабилизатора се подават дискретни извадки от изхода на ПИ-регулатора и вектора на измереното напрежение в точката на присъединяване на компенсатора. Скаларният модален адаптивен стабилизатор идентифицира в реално време управляемия обект и на базата на оценените параметри и променливи на модела формира управляващ сигнал, чрез който се управлява тиристорно-регулаторния реактор.



Фиг.2. Блокова схема на адаптивното управление на СУК.

Наблюдаваната система може да бъде представена чрез следния линеен минимален модел в пространството на състоянието [7]:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}(k) + \mathbf{b} \cdot \mathbf{v}(k) \quad (1)$$

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{c}^t \cdot \mathbf{x}(k) \quad (2)$$

$$\mathbf{v}(k) = \mathbf{u}(k) + \mathbf{z}(k) \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \quad k=0,1,2,\dots;$$

където:  $\mathbf{x}(k)$ , неизвестният вектор на променливите на състоянието;  $\mathbf{x}(0)$  - неизвестният начален вектор на състоянието;  $\mathbf{u}(k)$  - входно въздействие;  $\mathbf{z}(k)$ , представляващ ограничена входна последователност, използвана за идентификация.

На уравненията (1) и (2) съответства следната предавателна функция:

$$\mathbf{W}(z) = \frac{\mathbf{Y}(z)}{\mathbf{V}(z)} = \frac{\mathbf{h}z^{n-1} + \mathbf{h}_2z^{n-2} + \dots + \mathbf{h}_n z + \mathbf{h}_n}{z^n - \mathbf{a}_1 z^{n-1} - \dots - \mathbf{a}_n z - \mathbf{a}_n} \quad (3)$$

$\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{b}$  и  $\mathbf{c}$  са неизвестните матрица и вектори на модела, които имат следния вид:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & \mathbf{I} & \mathbf{I}_{n-1} \\ \mathbf{L} & \mathbf{L} & \mathbf{L} \\ & \mathbf{a}^t & \end{bmatrix}, \quad \mathbf{a}^t = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_n]; \quad \mathbf{b}^t = [0, 0, \dots, 1]; \quad \mathbf{c}^t = [0, 0, \dots, 1] \quad (4)$$

Входно-изходните масиви се формират в матрици и вектори, които имат следния вид

$$\mathbf{Y}_1^t = [\mathbf{y}(0), \mathbf{y}(1), \dots, \mathbf{y}(n-1)]; \quad \mathbf{Y}_2^t = [\mathbf{y}(n), \mathbf{y}(n+1), \dots, \mathbf{y}(2n-1)];$$

$$\mathbf{V}_1^t = [\mathbf{v}(0), \mathbf{v}(1), \dots, \mathbf{v}(n-1)]$$

$$\mathbf{Y}_{12} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}(0) & \mathbf{y}(1) & \mathbf{L} & \mathbf{y}(n-1) \\ \mathbf{y}(1) & \mathbf{y}(2) & \mathbf{L} & \mathbf{y}(n) \\ \mathbf{y}(2) & \mathbf{y}(3) & \mathbf{L} & \mathbf{y}(n+1) \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ \mathbf{y}(n-1) & \mathbf{y}(n) & \mathbf{L} & \mathbf{y}(2n-2) \end{bmatrix}$$

Оценката на вектора  $\hat{\mathbf{a}}$  се изчислява чрез следния израз:

$$\mathbf{Y}_{12} \cdot \hat{\mathbf{a}} = \mathbf{Y}_2 - \mathbf{V}_1 \quad (5)$$

Оценката на началния вектор на състоянието  $\hat{\mathbf{x}}(0)$  се изчислява чрез оптималния оценител от следния вид:

$$\hat{\mathbf{x}}(0) = \mathbf{Y}_1 \quad (6)$$

Текущият вектор на състоянието се оценява чрез пълния ОСА наблюдател:

$$\hat{\mathbf{x}}(k+1) = \hat{\mathbf{F}} \cdot \hat{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{b} \cdot \mathbf{v}(k) + \mathbf{g} \cdot \mathbf{y}(k) \quad (7)$$

$$\hat{\mathbf{x}}(0) = \hat{\mathbf{x}}_0; \quad k=0, 1, 2, \dots,$$

където:

$$\hat{\mathbf{F}} = \hat{\mathbf{A}} - \mathbf{g} \cdot \mathbf{c}^t \quad (8)$$

$$\mathbf{g}^T = [g_1, g_2, \dots, g_n] \tag{9}$$

Решаването на формулирания алгоритъм се осъществява само, ако матрицата  $\mathbf{Y}_{12}$  не е особена:

$$\det \mathbf{Y}_{12} \neq 0 \tag{10}$$

Стабилизиращият сигнал  $B_L$  се изчислява с помощта астатичен скаларен модален стабилизатор с мащабиращ коефициент  $k_0$  от следния вид:

$$\mathbf{k}(k) = [k_1(k), k_2(k), \dots, k_n(k)] \tag{11}$$

$$\dot{\mathbf{A}}_z = \dot{\mathbf{A}} - \mathbf{b}(k-1) \cdot \mathbf{k}(k) \tag{12}$$

$$k_0(k) = [\mathbf{c}^T (\mathbf{I}_n - \dot{\mathbf{A}}_z)^{-1} \cdot \mathbf{b}(k-1)]^{-1} \tag{13}$$

$$B_L(k) = k_0(k) \cdot y_{ref} + \mathbf{k}(k) \cdot \dot{\mathbf{x}}(k-1) \tag{14}$$

където:  $y_{ref}$  е желаният сигнал, зададен от оператора

След определяне на стабилизиращия сигнал  $B_L$  следва преобразуване на специфичните стойности на  $B_L$  в стойности на управляващ ъгъл за тиристорите –  $\alpha$ . Това преобразуване се осъществява по следния начин [8]:

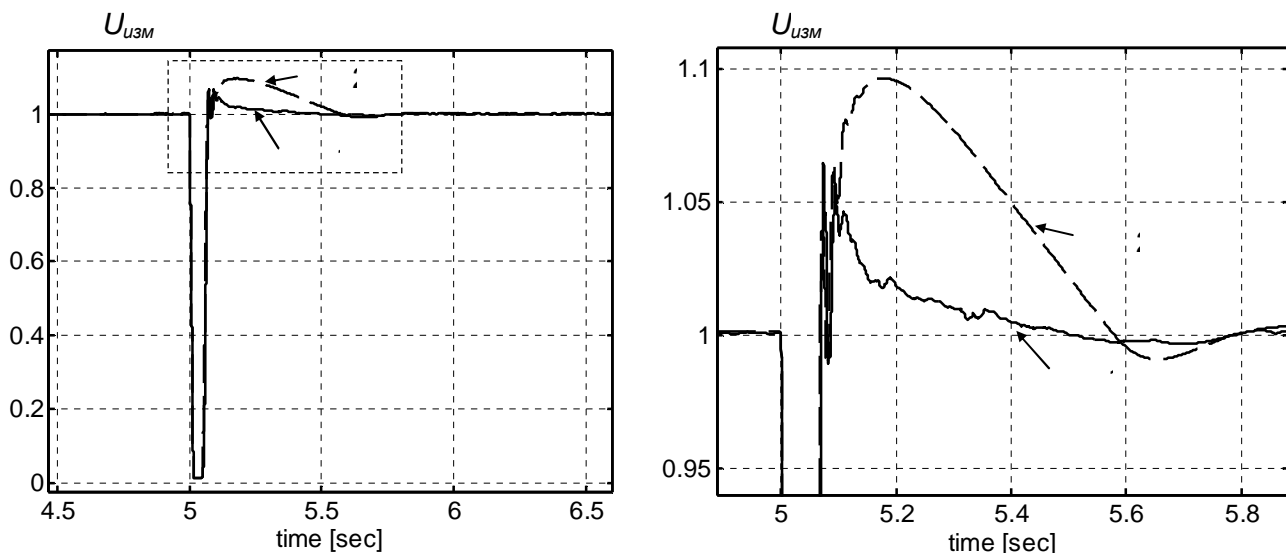
$$B_{Lpu} = (2 - 2a/p + \sin(2a)/p) B_{Lnom} \tag{15}$$

където:  $B_{Lpu}$  – стойности на  $B_L$ , приведени към реална система в относителни единици (р.у.);

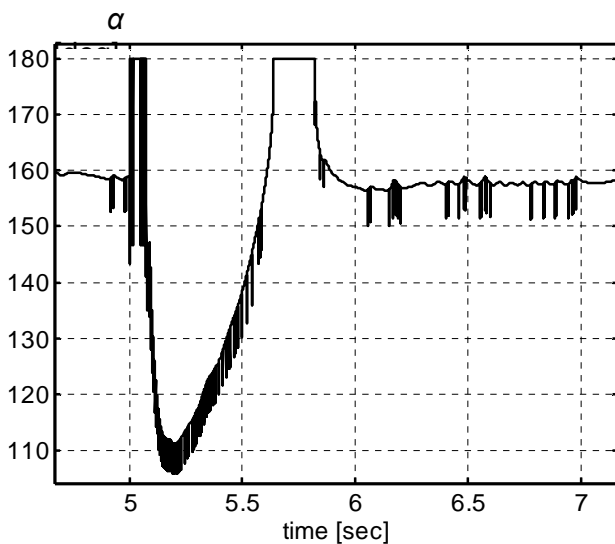
$B_{Lnom}$  – номинална стойност на  $B_L$ .

### Експериментални резултати

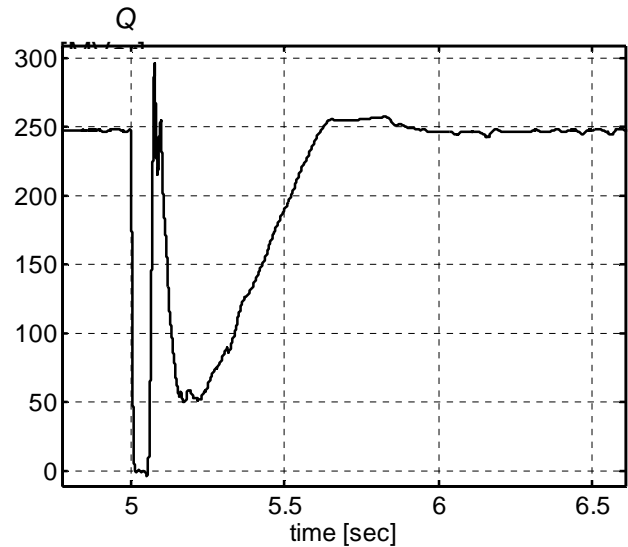
За симулиране работата на разглежданата система е създаден компютърен модел в *Matlab* среда. За доказване на ефективната работа на адаптивното управление са изследвани редица преходни процеси (включване/изключване на статичен товар, късо съединение в различни възли от системата). На приложените графики са показани част от параметрите при даден преходен процес - късо съединение във възела на присъединяване на компенсатора (при  $t=5,00\text{sec}$ ) и последващо изключване от защитата (при  $t=5,05\text{sec}$ ). Резултатите на графиките са сравнени със система с идентични параметри, в която има включен компенсиращ кондензатор с еднакви параметри, както кондензатора на адаптивния компенсатор.



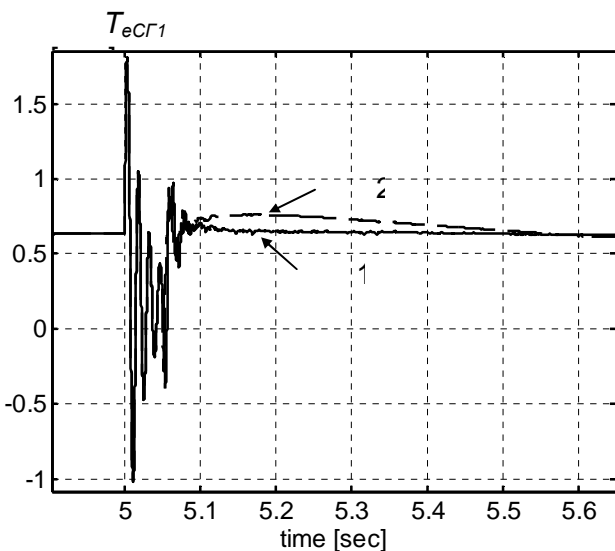
Фиг.3. Напрежение във възела на присъединяване на компенсатора  
1 – Система с адаптивно управление; 2 – Система с фиксиран



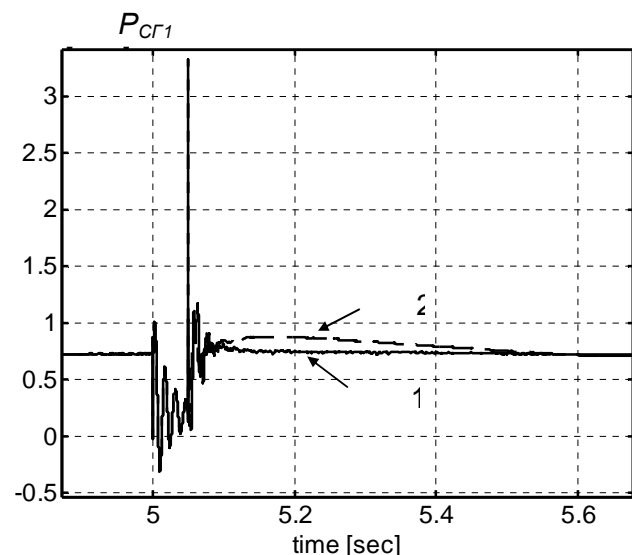
Фиг.4. Управляващ ъгъл за



Фиг.5. Реактивна мощност на компенсатора



Фиг.6. Електромагнитен момент на

Фиг.7. Активна мощност на СГ<sub>1</sub>

### Заклучение

Предложено е ново адаптивно управление на статичен управляем компенсатор, представляващ паралелно включен LC компенсатор. Управлявайки непрекъснато чрез тиристори проводимостта на паралелния дросел се изменя общия реактивен характер на компенсатора. Чрез това управление се изменя както амплитудата така и фазата на напрежението на клемите на компенсатора.

Предложеният контролер на СУК идентифицира управляемия обект чрез измерените параметри на системата и идентифицира параметрите и променливите на идентификационния модел с помощта на адаптивен наблюдател. С помощта на идентифицираните параметри и променливи се изчислява управляващият сигнал от скаларен модален адаптивен стабилизатор.

Благодарение на ниския ред на идентификационния модел и безитеративният метод за идентификация и изчисление регулирането се извършва много бързо, без забавяне в





контура на управление по сравнение със скоростта на протичане на процесите в ЕЕС. По този начин се демпфират колебанията в енергосистемата и се подобряват всички параметри на преходните процеси. Работоспособността и ефективността на предложеното адаптивно управление е проверено чрез симулиране на различни смущения в системата. Показаните експериментални резултати доказват ефективността на работа на предложения адаптивен регулатор.

#### Използвана литература

1. K.L. Liou and Y.Y. Hsu, "Damping of generator oscillations using static VAR compensators", *IEEE Transactions on AES*, Vol.22, No.5, September, 1986, pp.605-617.
2. E. Lerch, "Advanced SVC Control for Damping Power System Oscillations", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.6, No.2 May 1991.
3. T.Sawa, Y.Shirai, T.Michigami, Y.Sakanaka, Y.Uemura, "A Field Test of Power Swing Damping by Static Var Compensator", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.4, No.3, August, 1989, pp.1115-1121.
4. Z. Gu, D.T. Rizy, "Neural Networks for Combined Control of Capacitors Banks and Voltage Regulators in Distribution Systems", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.11, No.4, October 1996, pp.1921-1928.
5. K. H. Abdul-Rahman, S. M. Shahidehpourp "A Fuzzi-Bazed Optimal Reactive Power Control", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.8, No.2, May 1993, pp.662-670.
6. A.E.Hammad, "Analysis of Power System Stability Enhancement by Static Var Compensators", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 1, No.4, Nov. 1986.
7. Сотиров Л.Н., *Избрани глави от съвременната теория на управлението*. ТУ-Варна, 1998, 281 с.
8. Canizares C. A., Faur Z. T., "Analysis of SVC and TCSC controllers in voltage collapse", *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol.14, pp.158-165, Feb. 1999.

**Проф. д.т.н Николай Филев Джагаров** – ръководител на катедра ЕСЕО в Технически университет – Варна, [djagarov@abv.bg](mailto:djagarov@abv.bg), +359 52 383 265;

**Ст. ас. д-р Живко Генчев Гроздев** – старши асистент в катедра ЕСЕО в Технически университет – Варна, [grozdev@yahoo.com](mailto:grozdev@yahoo.com), +359 52 383 345;

**Гл. ас. д-р Милен Бонев Бонев** - главен асистент в катедра ЕСЕО в Технически университет – Варна, [bonevi\\_km@abv.bg](mailto:bonevi_km@abv.bg), +359 52 383 345;



## КОНСТРУИРАНЕТО НА УЛИЧНИ ОСВЕТИТЕЛИ СЪС СВЕТОДИОДИ ИЗИСКВА НОВИ БАЗИ ЗНАНИЯ

Христо Василев, Вълчан Георгиев, Ганчо Ганчев

### **РЕЗЮМЕ**

Светодиодите (LED) са бъдещето на масовото осветление. В близките години светодиодното осветление ще измести голяма част от сега използваните източници на светлина. Вече са обявени стойности на светлинен добив от 150 lm/W и на всеки 3 месеца светлинният добив се повишава, докато стигне до 250-280 lm/W, според прогнозите. Расте и единичната мощност на светодиодите – от 1 W до 5 W и повече.

Наред с това, обаче растат и проблемите с управлението на топлинните режими, с управление на светлоразпределението, с регулиране на светлинния поток и т.н. Корпусите на осветителите стават все по-големи и грозни, все по-тежки и трудни за монтаж и поддръжка, поради наличието на охлаждащи ребра. Водещите фирми, работят много интензивно, за насочването на светлинния поток на осветителя в дадена посока. Нашите изследвания са насочени към един от проблемите на LED-осветлението – конструиране на оптична система на улични осветители със светодиоди.

### **УВОД - ОСОБЕНОСТИ ПРИ КОНСТРУИРАНЕТО на LED-осветители**

Преди да се започне с конструирането на корпуса на осветителя, трябва да има концепция по трите основни параметъра: мощност на осветителя, тип улица, за която е предназначен, височина на окачване и т.н.

Основните параметри са същите, както при конвенционалните осветители. Но тук се изискват други отговори. Става въпрос за това, че мощността на осветителя определя преди всичко големината на корпуса, която е и охлаждаща повърхност. Следователно, трябва да има яснота по начина на охлаждане – пасивно или активно. При светодиодните осветители първият проблем е осигуряване на достатъчно голяма площ за охлаждане и въпросът за термичния мениджмънт е един от сериозните проблеми при LED-осветителите. Вторият важен проблем е решаването на въпроса с оптичната система на осветителя. Тя определя разпределението на светлинния поток, излъчен от светодиодите в пространството и го насочва към желаната повърхност за осветяване. Третият въпрос, който трябва да се реши концептуално, е ще се регулира ли светлинния поток и по какъв начин – плавно, стъпалообразно и ли на две степени – до полунощ и след полунощ. Това е свързана с възможността за допълнителна икономия на енергия. Първият и третият проблеми ще бъдат засегнати бегло, а вторият проблем ще бъде развит по-детайлно.

### **1. Термичен мениджмънт**

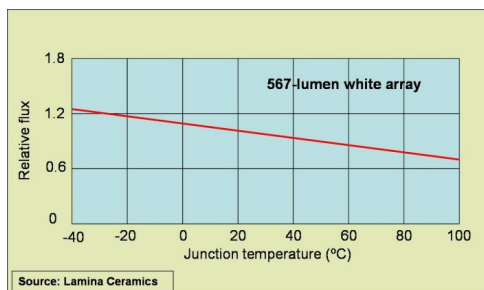
#### **1.1. Състояние на проблема**

Въпросът за определяне на мощността е свързан с проблема за отделеното количество топлина от монтираните светодиоди и необходимостта от осигуряването на достатъчно голяма повърхност, способна да разсее тази топлина в пространството. В противния случа светодиодите ще бъдат подложени на ненормални топлинни режими със всички произтичащи от това последствия. За нормалната работа на светодиодите авторите приемат температура 55°C. Може да има много други предложения и съображения – напр. 60°C или че се разработват светодиоди, които ще работят нормално при 120 °C, но ние приемаме това, което е сигурно днес. А днес се знае, че съгласно изследвания [1] на Thomas Kuhn et all. Най-ефективно светлоотдаване и най-дълъг живот имат светодиоди, работещи при температура на р-п прехода (Tj) около 55°C . Конструкторът трябва да има информация за това, дали Tj ще бъде надвишена по време на работа на осветителя или не.

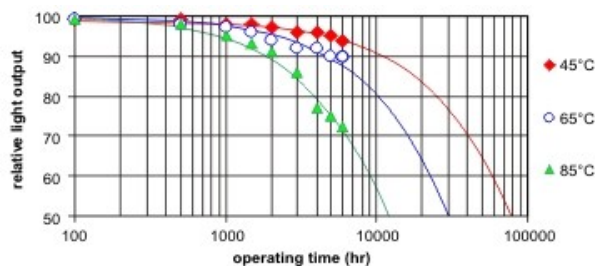
Типичният светодиод може да произведе 15% -20% видима светлина и 85% топлина.

Специално при мощните светодиоди е много важно да се отведе тази топлина чрез ефективен охладител, или с терминологията, наложила се в света, с подходящ топлинен мениджмънт. Без добро топлинно разсейване, вътрешната (от p-n прехода) температура на LED нараства и това е основна причина характеристиките на светодиодите да се променят.

Тъй като температура на прехода ( $T_j$ ) на светодиода нараства, то и приложеното напрежение и ефективността на излъчването намалява, така както е показано на фиг.1. Променя се и спектралния състав на светлината с изменението на температурата  $T_j$ .



Фигура 1.Изменение на светлинния от срока на работа на светодиода

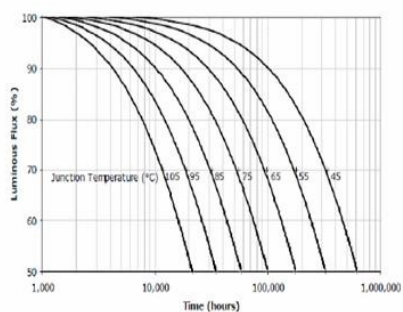


Фигура 2. Изменение на светлинния добив поток в зависимост от температурата

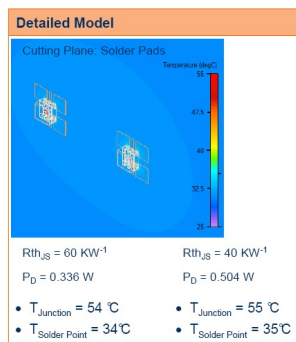
Ключов фактор тук е пътят на топлината от LED-прехода до околната среда, т.е. връзките извън пакета.

Светлинният поток, излъчен от светодиода, намалява в зависимост от продължителността на работа (т.е. от неговия живот, life cycle) – Фиг.3.

Между другото, фирмата Cree дава по-различни данни: за да се гарантира 50 000 часа живот на светодиода, температурата на p-n прехода трябва да се поддържа до 75°C!



Фигура 3. Намаление на светлинния



Фигура 4. Резултати от изследвания

поток на светодиода от времето на работа на Seoul Semiconductor

Това, което може да се направи за намаление на температурата, е много малко: това са околната температура и управляващият ток, които влияят на температурата на прехода - $T_j$  на светодиода.

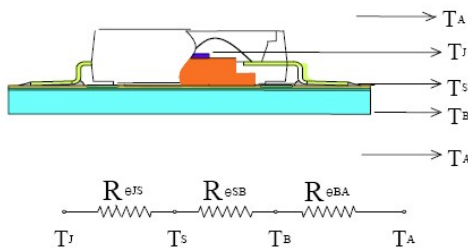
Топлината трябва да се изведе от светодиода по най-ефективния начин и след това да се насочи в околното пространство чрез конвекция. Този процес може да бъде реализиран чрез пасивно охлаждане, чрез извеждане на конвекцията от външната страна на пакета или

чрез идеални разсейватели с големи повърхности. LED-модулите с големи мощности могат да изискват активно охлаждане (конвекция) с използване на ефективно въздушно охлаждане (в т.ч. и с вентилатор) или с водно охлаждане. Един ден това сигурно ще се случи.

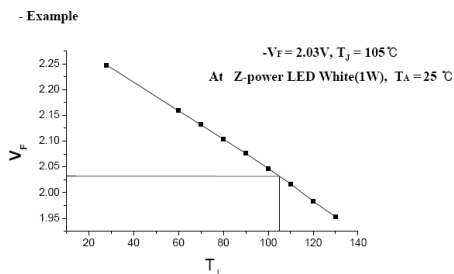
OSRAM Opto публикува сведения за разработения термичен модел и публикува термичните характеристики на своето производство за светодиодите от серията TOPLED. Този модел е още в начален стадий и трябва да се изпита в практиката-т.е. не е надежден. Но в общи линии това правят всички фирми, които произвеждат LED.

Фирмата Seoul Semiconductor прилага подобна концепция по отношение на термичния мениджмънт. Работната температура е ограничена от температурата на p-n прехода  $T_j$  извън чипа и работната мощност. Следователно работната температура не трябва да надвишава максималната  $T_j$ . Върху тази концепция се изгражда и термичното проектиране. Отделената топлина от p-n прехода се пренася чрез радиация и/или конвекция. Възможно е, обаче, пренасянето от радиация да се пренебрегне. На Фиг. 6 е показана външната структура за разглеждане на статичните качества на Z-power LED. Този светодиод е конструиран чрез монтиране на чипа върху горната страна на разсейвател на топлината радиаторна плоча и подложка от мек припой на алуминиева платка, конструирана от мед (Cu), която има висока топлинна проводимост. Стойността на термичното съпротивление означаваме с  $R_{\theta JB}$ , което включва от мястото на p-n прехода до горната повърхност на металната платка.

$R_{\theta BA}$  е частта от термичното съпротивление, отнасящо се до пропускане на топлина през недефинирани части напр. разсейвана топлина от външен радиатор.  $R_{\theta SB}$ - термичното съпротивление от прехода до подложката /на металната платка/.



Фигура 5. Примерно разпределение на термичните съпротивления  $R_{\theta}$



Фигура 6. Зависимост на максималното захранващо напрежение от термичното съпротивление на прехода

Пренебрегват се топлините съпротивления от прехода до подложката и тези от радиация (като много малки) и окончателно остава следното уравнение на термичното съпротивление:

$$R_{\theta JA} = R_{\theta JS} + R_{\theta SB} + R_{\theta BA}$$

Изразено със стойностите на измерените температури, това дава като краен резултат:

$$R_{\theta JB} = (T_j - T_B) / P_d = (125^{\circ}C - 111^{\circ}C) / 1.4W = 10^{\circ}C/W$$

където:

$T_B = 110^{\circ}C$  - температура на печатната платка отгоре при 1 W мощност на LED;

$T_j = 125^{\circ}C$  – максимална температура на p-n прехода;

$V_f = 4.0 V$ ,  $I_f = 350 mA$  – максимално напрежение  $V_f$  при 350 mA;

$P_d = V_f \times I_f = 4.0V \times 0.350 A = 1.4 W$ ,  $R_{\theta JB} = 10^{\circ}C/W$

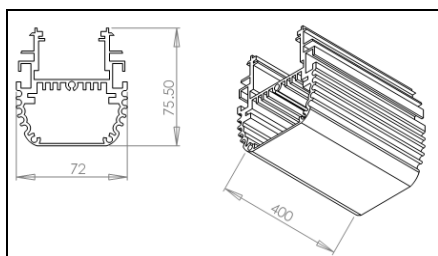
## 1.2. Проведени изследвания

Едно изследване на екип от Електротехническият факултет на ТУ-София [4] показва резултати, които не се различават от посочените по - горе.

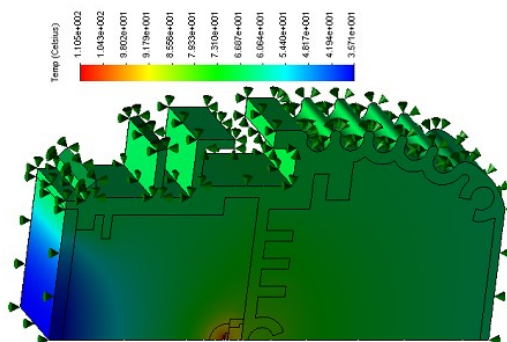
Използван е специализирания софтуер „COSMOS” – често използван за решаване на задачи по метода на крайните елементи. Удобното в този случай е, че този продукт е разработен за съвместно използване с в работната среда на „Solid Works” – един разпространен софтуер за 3D конструиране, с който е проектиран и охладителния алуминиев радиатор на светодиодния осветител.

Освен теоретичното изследване е проведено и измерване на разпределението на температурата върху повърхността на корпуса. Сравнението на резултатите от двете изследвания показва много добро съвпадение или съвсем малко отклонение на резултатите (Фиг. 8. и Таблица 2)

Габаритните размери на корпуса са означени на Фигура 7.



Фигура 7. Форма и размери на корпуса- радиатор



Фиг.8. Разпределение на температурата върху модела при LED - 3 W

Разпределението на температурата върху елементите на модела при 3 W топлинна мощност на светодиода и зададена околна температура 300K е показано на Фиг.8

Таблица 2. Сравнение между теоретични и експериментални резултати

Единична мощност на светодиода, W	Температура на корпуса - модел, °C	Температура на корпуса - експеримент, °C
0.5	34.5	33
1	43	42.5
2	60	58
3	73	70

Освен посоченото тук сравнение на експерименталните резултати с тези от модела с крайни елементи, е изследвано експериментално и влиянието на различните начини на монтаж на осветителя върху температурата на корпуса. Температурата варира с няколко градуса в зависимост от това, дали осветителят е поставен хоризонтално или вертикално. При влошаване на условията за охлаждане – монтиране в ниша или покриване на осветителя, е възможно да се получи още по-силно повишаване на температурата на радиатора.

Този подход при изследване на температурните процеси се отличава с голяма точност и отлични възможности за интегриране в работната среда за създаване на конструкторска документация. Това дава възможност още на ниво проектиране да се направи достатъчно точно светлотехническо и топлинно симулиране. По такъв начин двата най-съществени

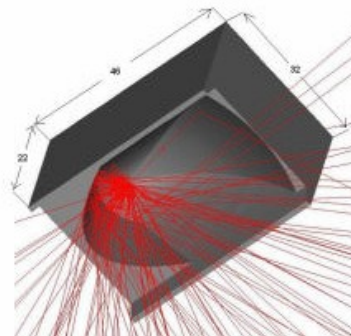
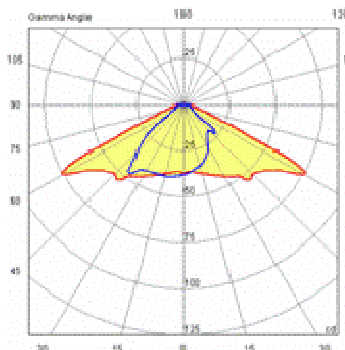
проблема при проектиране на осветители със светодиоди могат да се решават с помощта на числени, а не на физически модели, което значително облекчава процеса на конструиране.

## 2. Оптични системи за разпределение на светлинния поток

### 2.1. Състояние на проблема

Доказано е, че най-подходящото светлоразпределение за улични осветители е т.н. крива **Batwing**, която изглежда в общи линии така, както е показана на Фиг. 9.

Получаването на подобно светлоразпределение при другите светлинни източници вече не представлява особена трудност.



Фигура 9. Светлоразпределителна крива „Batwing” и илюстрация на конструиране на Рефлектор, реализиращ подобна крива

Оптичните системи при светодиодните осветители, обаче, се различават съществено от използваните рефлектори при конвенционалните лампи поради многото източници в един осветител, точковият им характер, високата яркост и т.н.

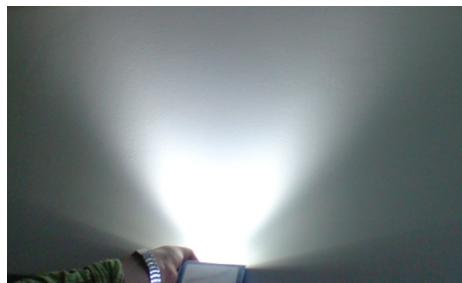
Използват се оптични лещи, пластмасови лещи, лещи с две фокални равнини и т.н. могат да се формират светлоразпределителни криви чрез специално подреждане на светодиодите върху цилиндрични повърхности, или чрез поставяне върху LED модула на оптичен модул от лещи, чрез френелови лещи и пр. По всички тези въпроси се работи в Денима 2001 ООД.

### 2.2. Опитът на фирма Денима 2001

Във фирма Денима 2001 се работи по няколко направления за решаване на проблема с разпределение на светлинния поток. Един от подходите е използването на френелови лещи с линеен растер с ширина на „оптичната ивица” 15 mm и дължина до 1500 mm, изпълнявана по специална технология. Лещите са с малка дебелина на листовите. Тази дебелина е около 4-5 mm и затова коефициентът на поглъщане на светлината е малък, а оптичните загуби са в рамките от 7% до 10%. Коефициентът на загуби от пряка рефлексия при ъгъл на падане около 12 - 15% е 3% - 5%. В „Денима” се конструират подобни Френелови лещи и в близко време ще бъдат изработени прототипи.

Разработва се идея и за индивидуални или групови рефлектори за светодиоди, монтирани в даден модул. Рефлекторът има отражателна повърхност, получена по метода на геометричната оптика, с помощта на специализиран софтуер „OPTIS” (фиг. 9). Формата на отражателната повърхност е изработена от две асиметрично отразяващи огледални повърхности, излъчващи в противоположни посоки. В резултат се получава разпределение на светлинния поток, близко до Batwing кривата. Резултати са показани на фиг.9.

Друго важно направление е управление на потока с оптични лещи. Светлоразпределението на една леща е показано на Фигура 10. Осветителят с 36 светодиода има подобна крива, която може да се подобри с подходяща компановка.



Фигура 10. Снимка на светлоразпределението с оптична леща.

Резултатите от конструиране на леща са в напреднал стадий, но след конструиране на матрицата и шприцоване на лещите ще може да се конструира осветител за улично осветление с КПД = 0.95, колкото е коефициентът на пропускане на лещата. Тогава икономията на енергия в уличното осветление може да достигне до 48% спрямо консумираната в момента. В Таблица 3 е показан сравнителен анализ на осветител с натриева лампа с мощност 70 W и със светодиоди.

Таблица 3. Сравнение на ефективността на осветители с натриева лампа и с LED

	Светлинен източник	Светло-отдаване lm/W	Мощност W	Светл. поток лампа Фл lm	КПД осветител	Светл. поток осв. lm	Разход на енергия %
1	Натриева SON	115	70	8050	0.75	6038	100
2	LED	180	35	6355	0.95	6038	50%

Проблемите, изложени по-горе, се разгледани във връзка с конструирането на улични осветители със светодиоди. Но същите проблеми възникват и при внедряване на LED осветители за административно осветление, офисно и битова осветление, където всъщност могат масово да навлязат тези най-перспективни и високоефективни източници на светлина. С това искаме да покажем, че не е достатъчно да се направи една матрица и да се включат няколко десетки светодиода да светят. Необходими са значителни предварителни приложни изследвания за създаване на един осветител с LED, за да могат да се съхранят техните предимства: висока ефективност при работа около 20-30 хиляди часа и повече, ефективно използване на светлинния поток, чрез подходяща оптична система и евентуално управление в различни части от денонощието.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Thomas Kuhn, Christoph Schiler, Tran Quoc Khanh, Eine Analyse aktueller LED-Strassenleuchten aus lichttechnischer Sicht, LICHT, 1-2/2009.
2. Thermal management design of LED, NICHIA – фирмена литература.
3. Вълчан Георгиев, Моделиране на топлинни процеси в светодиодни осветители, Отчет по тема финансирана от ТУ-София, 2008.
4. H. Vasilev, K. Velinov, „Influence of geometrical parameters and rule requirements on the Optimum light distribution of the street luminaires”, Illuminat 2007, Cluj-Napoca 31.05-01.06 2007
5. Hr. Vasilev, St. Stefanov and Kr. Velinov. „Minimizing lighting flux of luminaires for street lighting systems designed by Small Target Visibility Criteria” ELMA 2008, 16-18 October 2008, Sofia, Vol 1, paper 206-210
6. Хр. Василев, В. Георгиев „Оптимална насоченост на светодиодни модули”, Доклад на ЕЛМА -2008 г., София
7. Хр. Василев, В. Георгиев „Optimization of LED's Lighting Distribution in Road Lighting Luminaire, Доклад на ЕЛМА 2008 г.-XII международна конференция, 16-18 Окт. 2008- София



8.Хр.Василев, В.Георгиев ,Г.Ганчев Особенности при конструирането на улични осветители със светодиоди Енергиен форум , 17-20 юни 2009 г, Варна

**Данни за авторите**

1. Христо Николов Василев, Денима 2001 ООД, e-mail: [h.vasilev@denima2001.com](mailto:h.vasilev@denima2001.com); Тел.+3592 962 35 81;
2. Вълчан Георгиев:Технически университет- София e-mail: [vulchy@tu-sofia.bg](mailto:vulchy@tu-sofia.bg)); Tel:
3. Ганчо Иванов Ганчев, Денима 2001ООД, e-mail: [gancho.ganchev@denima2001.com](mailto:gancho.ganchev@denima2001.com) Тел.+3592 868 32 29



**ФОТОВОЛТАИЧНА СИСТЕМА В ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ГАБРОВО**

доц. д-р Стойо Платиканов, ст. ас. инж. Пламен Цанков, доц. д-р Дешка Маркова,  
инж. Мирослав Петков

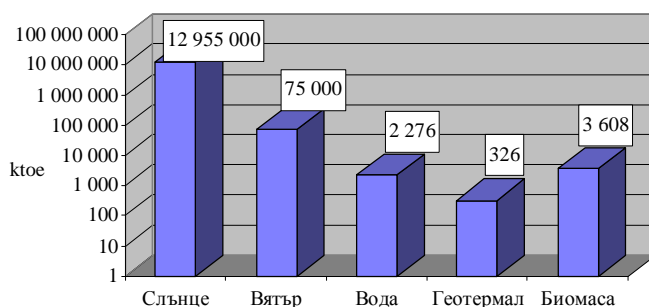
**Резюме**

Технически университет – Габрово участва в проект по Пета рамкова научноизследователска програма на Европейската комисия “PV Enlargement – Technology Transfer, Demonstration and Scientific Exchange Action for the Establishment of a strong European PV Sector”. В проекта участват 27 партньори от 10 страни със задача за изграждане на Европейска мрежа от университетски фотоволтаични (PV) ذخائرващи системи, свързани в електрическата мрежа на съответната страна.

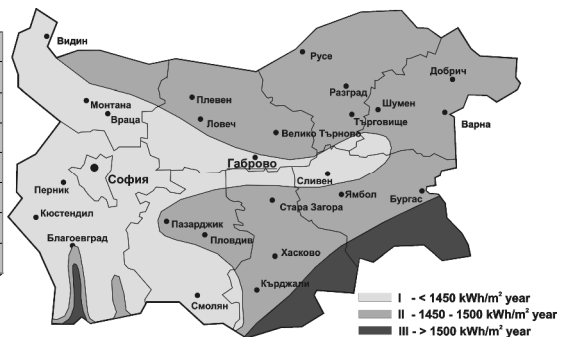
**ВЪВЕДЕНИЕ**

Присъствието на България в Европейския съюз поставя пред българския енергиен сектор и потребителите на енергия редица нови предизвикателства, като повишаване на енергийната ефективност, подобряване на екологичните показатели на българската енергетика, въвеждане на електропроизводство от възобновяеми енергийни източници и др., и тяхната хармонизация с европейските изисквания.

България има значителен потенциал за използване на възобновяемите енергийни източници (ВЕИ). На Фигура 1 е показан теоретичният ресурс на основните видове ВЕИ, които са представени сравнително в еквивалент на тонове течно гориво (toe).



Фигура 1. Ресурс на възобновяемите енергийни източници в България



Фигура 2. Теоретичен потенциал на слънчевата радиация

На Фигура 2 е представено разпределението на теоретичния потенциал на слънчевата радиация на територията на България, а в Таблица 1 средната продължителност на слънчевото греене.

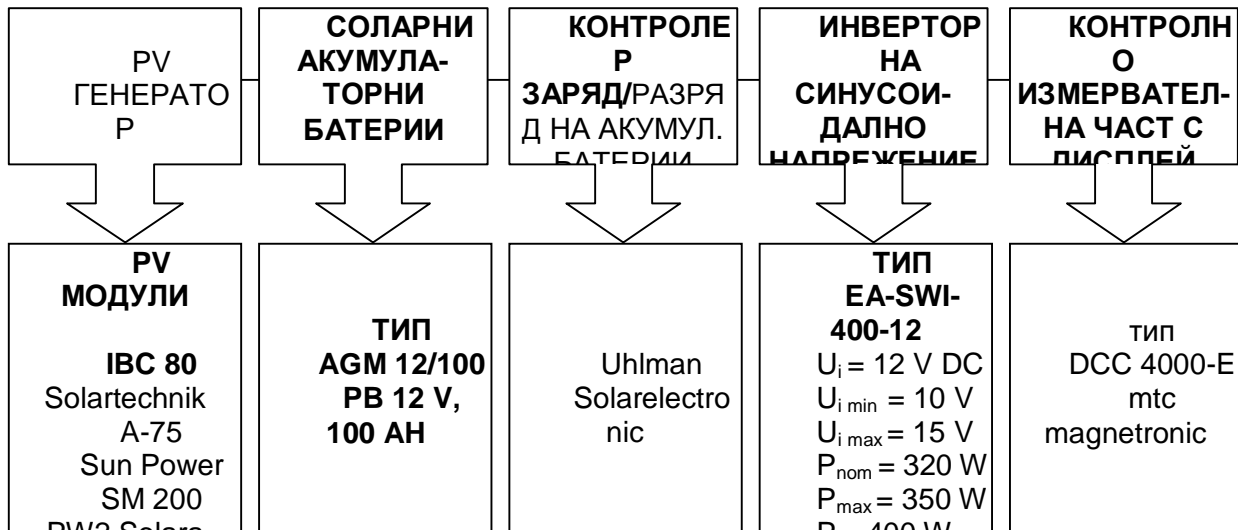
Таблица 1

Регион	Средна продължителност на слънчевото греене, h		Годишен ресурс, kWh/m <sup>2</sup> /y
	март-октомври	октомври-март	
Централен - източен	до 1640	до 400	1450
Северо - източен	до 1750	400-500	1500
Югоизточен - югозападен	над 1750	над 500	1550

В доклада се представят резултати от 10 годишния опит на авторите в проучване, проектиране и реализация на възможностите за използване на фотоволтаичното преобразуване на слънчевата енергия в електрическа.

**2000 ГОДИНА - АВТОНОМНА ФОТОВОЛТАИЧНА СИСТЕМА**

Град Габрово е с географски координати 42°26'30" северна ширина, 25°26'30" източна дължина, средногодишна температура 11,2°C, слънчево греене 310 часа за месец юли и се намира в зона с годишна средна сумарна слънчева радиация под 1450 kWh/m<sup>2</sup> (Фигура 2). Счита се, че слънчево греене с продължителност по-голяма от 6,5 часа на ден при плътност на енергийния поток по-голяма от 0,41 kW/m<sup>2</sup> позволява ефективно използване на фотоволтаичното преобразуване 170 – 180 дни годишно.

**ФИГУРА 3. БЛОК СХЕМА НА АВТОНОМНАТА ФОТОВОЛТАИЧНА СИСТЕМА**

Изградената през 2000 г. в ТУ-Габрово автономна фотоволтаична (PV) система съдържа следните основни елементи (Фигура 3): фотоволтаични панели (PV модули); акумулаторни батерии; контролер-регулатор за зареждане и разреждане на акумулаторите; инвертор DC–AC за синусоидално напрежение с честота 50Hz; контролно-измервателна апаратура. Във фотоволтаичната система се използват три типа модули: 2x A-75 SunPower, 2x IBC80 Solartechnik и 1x SM200PW2 Solara, което позволява изследване на различни типове силициеви модули.

Фотоволтаичната система осигурява постоянен ток изход - 12V и променлив ток изход - 220V, 50Hz.

Основен товар на системата е осветителна инсталация с луминесцентни лампи в катедра "Електроснабдяване и електрообзавеждане".

**ИЗСЛЕДВАНЕ И ИЗМЕРВАНЕ НА ВОЛТ-АМПЕРНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ МОДУЛИ**

Основен параметър на фотоволтаичните модули е тяхната изходна мощност във "ват пик" ( $W_p$ ), което отговаря на максималната им мощност при стандартни условия на изпитване (STC): слънчева радиация 1000W/m<sup>2</sup>, температура на фотоволтаичните клетки 25°C, коефициент на въздушната маса AM 1,5.

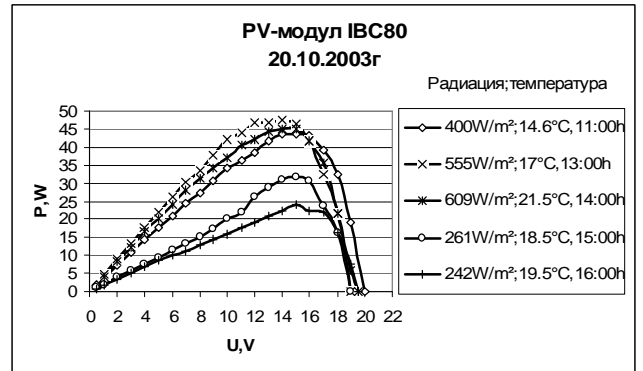
В експлоатационни условия PV-модулите не работят при тези стандартни условия и затова е необходимо да бъдат изследвани реалните им възможности чрез заснемане на техните характеристики за различни нива на слънчевата радиация и при различна околна температура. Токът на късо съединение  $I_{sc}$  и напрежението на празен ход  $U_{oc}$  са обикновено едни и същи за даден тип PV модул, но формата на работните "волт-амперни" характеристики се изменя значително. Слънчевата енергия, която се преобразува в електрическа чрез фотоволтаичното (PV) преобразуване се изменя през деня, поради



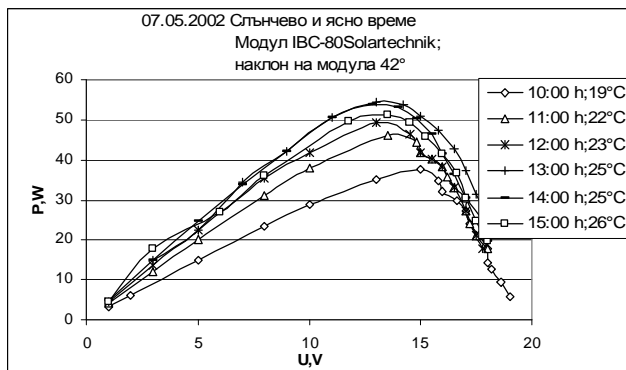
относителното движение на слънцето и зависи от конкретните метеорологични условия като по обяд и при ясно време достига  $1000 \text{ W/m}^2$ .



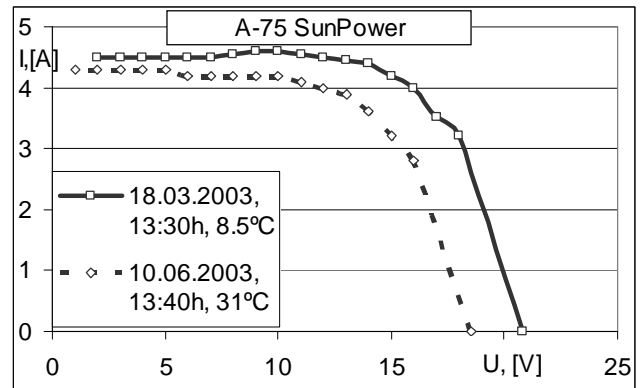
Фигура 7. V-A характеристика на панел при постоянен ъгъл на наклон за различно време от деня



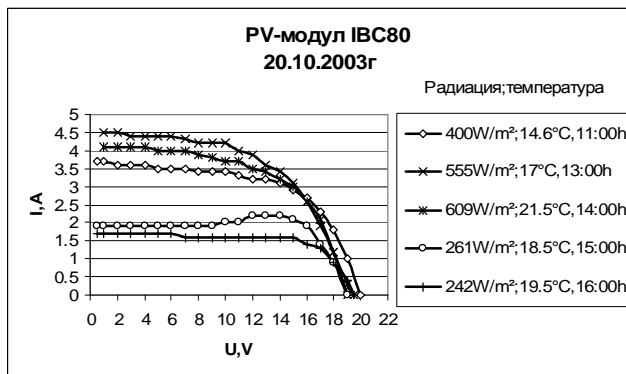
Фигура 10. V-P характеристики при различна слънчева радиация



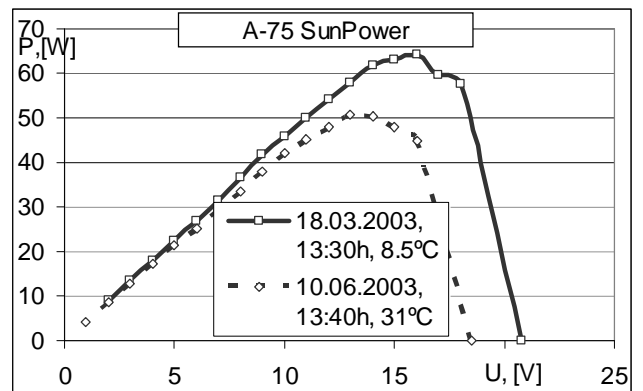
Фигура 8. V-P характеристика на панел при постоянен ъгъл на наклон за различно време от деня



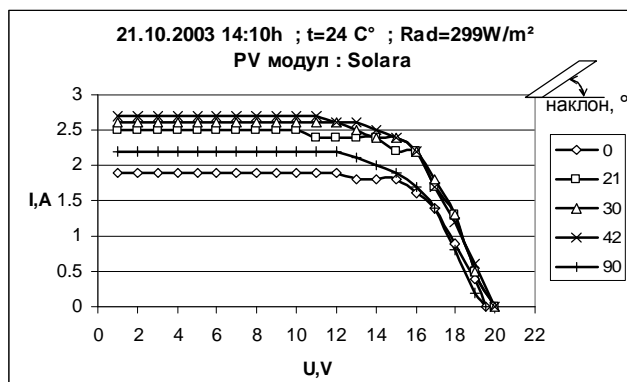
Фигура 11. Експериментално изследване на V-A характеристики през месец март и юни



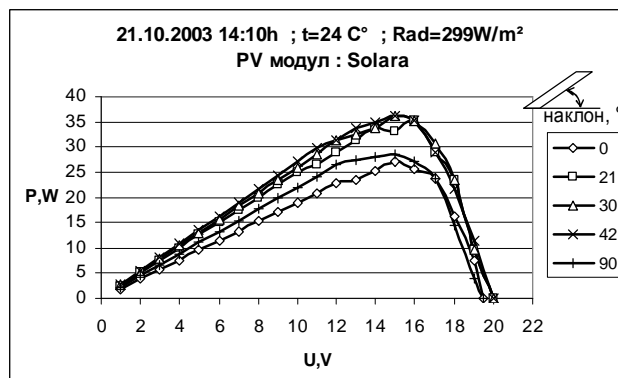
Фигура 9. V-A характеристики при различна слънчева радиация



Фигура 12. Експериментално изследване на V-P характеристики през месец март и юни



Фигура 13. V-A характеристики в зависимост от наклона на PV модула



Фигура 14. V-P характеристики в зависимост от наклона на PV модула

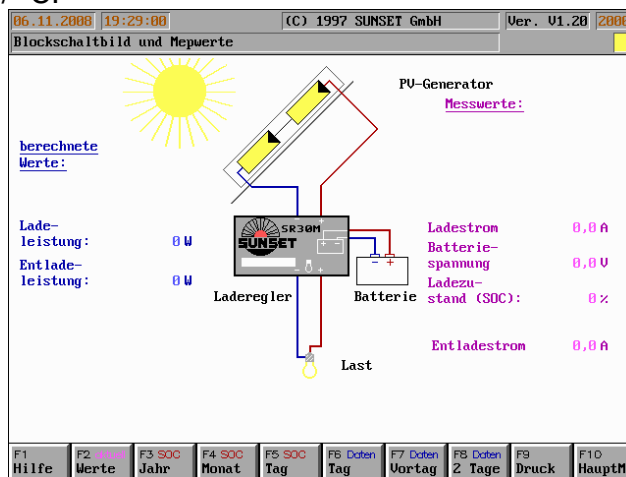
На Фигури 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 и 14 са представени волт-амперните характеристики (V-A)  $I=f(U)$  и характеристиките на изходната мощност (V-P)  $P=f(U)$  на трите типа фотоволтаични модула на системата: A-75 SunPower, IBC Solartechник и SM200PW2 Solara. Измерванията са направени при различни радиационни и температурни условия.

Изходният ток от кристално-силициевия модул зависи директно от слънчевата радиация, а напрежението му е функция от температурата в дясно от точката на максимална мощност (MPР).

Типичната волт-амперна характеристика на силициевите модули, както и измерените волт-амперни характеристики, имат незначително изменение на тока при голяма промяна на напрежението вляво от точката на максимална мощност, и значителна промяна – вдясно от “извивката”.

Промяната на температурата влияе главно на десния клон, след точката на максимална мощност на волт-амперната характеристика. При увеличение на температурата на модулите, изходната мощност намалява с 0,3 % / °C.

Извършва се мониторинг на работата на автономната фотоволтаична система със софтуерния продукт SOLOMON (Sunset) - Фигура 15. Програмата визуализира стойностите на основните параметри на системата, следени и контролирани от зарядния контролер: степен на заряд на акумулаторните батерии SOC, напрежение на батериите  $U_{BAT}$ , ток на модулите  $I_M$  и ток на товара  $I_L$ . Представя се информация както за текущите стойности на величините, така и за тяхното изменение във времето.



Фигура 15.

**2003–2006 г. – 10 kWp ФОТОВОЛТАИЧНА СИСТЕМА, СВЪРЗАНА КЪМ  
ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА МРЕЖА**

В Технически университет – Габрово е изградена 10 kWp фотоволтаична система, която се свързва с градската електроразпределителна мрежа в трансформаторен пост 0,38/20kV.

На Фигура 16 е представена принципната електрическа схема на фотоволтаичната система. В системата са използвани фотоволтаични модули RWE Shott Solar от два различни типа технологии:

- поликристален силиций: подсистема 1 и 2 – 24 модула тип ASE-250 DG-FT/MC с обща мощност 6.84 kWp. Техническите параметри на PV модула са:  $P_{nom}=285$  Wp,  $U_{mpp}=59.7$  V,  $I_{mpp}=4.77$  A,  $U_{oc}=73.6$  V,  $I_{sc}=5.15$  A, размери 1605 x 1336 mm, тегло 41 kg;

- аморфен силиций: подсистема 3 – 100 модула тип ASE-F 32/12 с обща мощност 3.22 kWp. Техническите параметри на PV модула са:  $P_{nom}=32.2$  Wp,  $U_{mpp}=16.8$  V,  $I_{mpp}=1.92$  A,  $U_{oc}=22.8$  V,  $I_{sc}=2.50$  A, размери 1005 x 635 mm, тегло 6.2 kg.

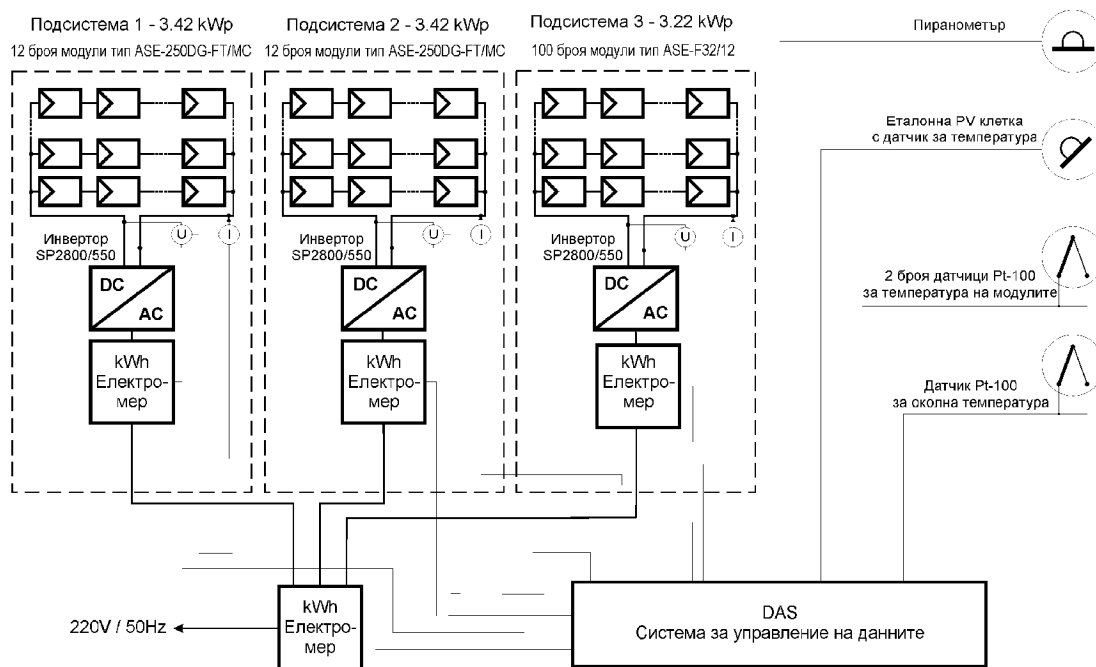
Преобразуването на постоянно-токовата електрическа енергия от фотоволтаичната система в променливотокова се извършва от инвертори SUN PROFI SP 2800-550, които работят с препоръчителна номинална мощност на фотоволтаичния генератор 3500 Wp. Диапазонът на входното напрежение е 196÷330 V DC, а максималният входен ток е 15.5 A DC. Изходната мощност е 2800 W за стандартен диапазон на честотата на мрежата 49.8÷50.2 Hz, с приспособимост и за други изисквания. Коефициентът на полезно действие е 94 %. С оглед на максимално използване на енергията, инверторите се адаптират автоматично към фотоволтаичния генератор и поддържат оптимален режим на работа в точката на максимална мощност (MPP).

На Фигура 17 е представено разположението на подсистемите с фотоволтаични модули върху покрива на сграда Ректорат на Технически университет – Габрово, които са ориентирани в южна посока и фиксирани на 30° спрямо хоризонта. Реализирана е външна електрическа инсталация, в съответствие с принципната схема. Подсистемите имат табла с комутационна, защитна и преобразователна апаратура (T1, T2, T3, T-Сензори), с възможности за локална защита и превключване, които посредством електрически линии са свързани с инверторите и панела за управление и измерване, монтирани в PV-Офис в сградата.

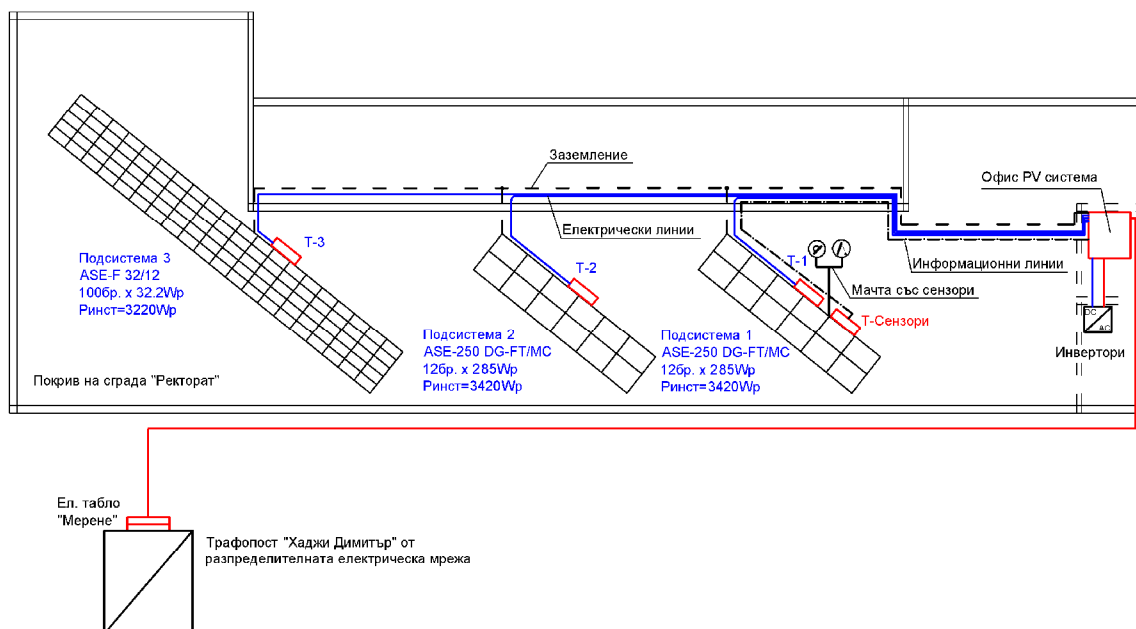
Системата за мониторинг осигурява измерването, запаметяването и предаването на данни, чрез сензори и преобразуватели:

- глобалната слънчева радиация - с пиранометър CM21 (KIPP & ZONEN);
- радиацията в равнината на повърхността на PV модулите - с еталонна (референтна) силициева клетка;
- околната температура – с терморезистор Pt-100 (THIES CLIMA);
- температурата на двата типа PV модули - ASE-250 DG-FT/MC и ASE-F 32/12, на двете подсистеми – с терморезистор Pt-100;
- тока, напрежението и мощността на постоянно-токовата страна на трите подсистеми;
- променливотоковата енергия на променливотоковата страна на трите подсистеми – с електромери EZWS4 (MÜLLER ZIEGLER);
- отдаваната в мрежата електрическа енергия от цялата PV система – с електромер EMPS D 412 R (MPS) с концентратор CMPS IT R2 – CM18 за предаване на данните към компютър чрез RS232.

Сигналите от сензорите се преобразуват от усилватели-преобразуватели ISC (MÜLLER ZIEGLER) и се предават към UDAS система за събиране на данни. Софтуерното осигуряване в специализирана програмна среда Visual Designer визуализира на компютърен екран и записва на всеки 10 минути данните от всички сензори.



Фигура 16. Принципна електрическа схема на фотоволтаичната система



Фигура 17. Разположение на фотоволтаични модули и електрическа инсталация на PV системата върху покрива на сграда Ректорат

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В България се засилва интересът на специалисти, инвеститори и производители в енергетиката към изграждане на енергийни мощности от фотоволтаични централи, особено след решенията на Държавната комисия за енергийно и водно регулиране за преференциална цена за продажба на генерираната електрическа енергия. Произведената енергия от възобновяеми енергийни източници, в перспектива ще намалява зависимостта от



вносните енергийни ресурси и съдейства за ограничаване на затоплянето на климата чрез намаляване на емисиите от парникови газове. Средното годишно производство на електрическа енергия в България, при използване на най-разпространените модули от кристален силиций с инсталирана мощност 1 kWp, възлиза на 1342 kWh годишно при оптимално ориентиране и наклон 32 градуса. Данни на Европейската комисия от 2006 г. посочват сравнително висок среден инвестиционен разход от 5,45 EUR/Wp инсталирана мощност. Съвременното развитие и внедряване на нови технологии за производство на високоефективни фотоволтаични модули е предпоставка за намаляване на инвестиционните разходи за изграждане на PV системи.

Опитът от експлоатацията на университетската фотоволтаичната система с фотоволтаични модули от поликристален и аморфен силиций и изградената информационна база данни от ежедневните измервания на метеорологичните и енергийни показатели, са предпоставка за анализ и оптимизиране режимите на преобразуване на слънчевата енергия в електрическа за климатичните условия в град Габрово.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Markova D., Platikanov S., Konstantinoff M., Opportunities for using renewable energy sources in Bulgaria, 2÷5 June 1999, Athens, Greece
- [2] Platikanov S., Markova D., Tzankov P., Photovoltaic-system in der technischen Universität – Gabrovo, 14 Internationale Wissenschaftliche Konferenz Mittweida, 8÷11 November 2000, Deutschland
- [3] Lämmel J., Solartechnik- umweltfreundliche Energie aus der Sonne, International Scientific Conference, Unitech '03, 2003, Gabrovo
- [4] Платиканов С., Д. Маркова, П. Цанков, И. Гръчки, Изследване на демонстрационна фотоволтаична система, Енергиен Форум 2002, Варна
- [5] Hagemann, I. B., Gebäudeintegrierte Photovoltaik, Köln, Rudolf Müller, 2002
- [6] Platikanov S., D. Markova, P. Tzankov, Experimental study of photovoltaic system modules under outdoor conditions, 16 Internationale Wissenschaftliche Konferenz Mittweida, IWKM 2003, November 2003, Mittweida, Deutschland
- [7] Платиканов С., Д. Маркова, П. Цанков, Изследване на фотоволтаични модули в експлоатационни условия, Трета национална конференция по възобновяеми енергийни източници 23 – 24 октомври 2003г., НДК, София
- [8] Платиканов С., Д. Маркова, М. Петков, П. Цанков, Електрическа енергия от слънчева фотоволтаична система, Енергиен Форум 2004, Варна
- [9] Платиканов С., Д. Маркова, П. Цанков, М. Петков, Изследване на автономна фотоволтаична система в Технически университет–Габрово, Известия на Технически университет Габрово, vol. 29'2004(15-22)
- [10] Платиканов С., Д. Маркова, П. Цанков, М. Петков, Изграждане на 10 kWp фотоволтаична система в Технически университет - Габрово, Енергиен Форум 2008, МДУ “Ф. Ж. Кюри”, Варна

#### АВТОРИ

Имена	Месторабота	Телефон	E-mail
доц. д-р Стойо Колев Платиканов	ТУ - Габрово	066 827271	<a href="mailto:platikanov@tugab.bg">platikanov@tugab.bg</a>
ст. ас. инж. Пламен Ценков Цанков	ТУ - Габрово	066 827271	<a href="mailto:plamen@tugab.bg">plamen@tugab.bg</a>
доц. д-р Дешка Малчева Маркова	ТУ - Габрово	066 801144	<a href="mailto:markova@tugab.bg">markova@tugab.bg</a>
Маг. инж. Мирослав Богданов Петков	Енемона АД-София	02 8054707	<a href="mailto:miroslav.petkov@enemona.com">miroslav.petkov@enemona.com</a>



## ОПТИМИЗИРАНЕ ЗАГУБИТЕ НА МОЩНОСТ И ЕЛ. ЕНЕРГИЯ ЧРЕЗ НАМАЛЯВАНЕ ПЛЪТНОСТТА НА ТОКА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ МРЕЖИ СН И НН В КОМУНАЛНО-БИТОВИЯ СЕКТОР

Валентин Гюров, Румен Киров, Владимир Чиков

*Задачата за намаляване на загубите на мощност и ел. енергия е тясно свързана със задачата за оптимизиране разхода на цветни метали в електрическите мрежи. Търсене на оптимални съотношения и размерности между тези два проблема чрез технико-икономически подходи е заложено като основна концепция и постановка в настоящия материал.*

Намаляването на загубите на мощност и ел. енергия в електрическите мрежи може да се осъществи чрез прилагане на различни технически мероприятия, които са тясно свързани с подобряване на енергетичните показатели ( $\cos\phi$ , оптимална плътност на тока и др.) и показателите за качеството на електрическата енергия, респективно пулсираща и деформационна мощност. Целта на тези мероприятия е след тяхното прилагане загубите на мощност и ел. енергия да достигнат стойности близки до оптималните. **Под оптимални загуби на мощност и ел. енергия се разбира такава тяхна стойност, под която не съществува икономически оправдани способи за по-нататъшното ѝ намаляване в условията на приет критерий за икономичност, който най често е минимум на ПГР [1;2].**

Намаляване на плътността на тока, респективно увеличаване на пропускателната способност е възможно да се постигне чрез изграждане на кабелни и въздушни линии с по – голямо сечение. Това може да стане при ниво строителство или при реконструиране на съществуващите ЕСС. В последните години това мероприятие масово се провежда чрез някои задължителни предписания от страна на доставчика на ел. енергия при строителството на трафопостове, захранващи табла и кабелни трасета. Така например за градски и промишлени мрежи ЕРП-тата изискват минималните сечения на кабелните линии НН да бъдат  $185 \text{ mm}^2$ . Това не винаги е финансово изгодно за инвеститорите, но в болшинството от случаите е икономически оправдано. Всъщност това мероприятие се състои в създаване на методически правила, имащи за цел постигане на унификация при използване на различни сечения кабели. При тази постановка се търси компромис между две противоречиви тенденции:

- Намаляване на загубите на ел. енергия с прилагане на по – големи сечения, което на практика води до намаляване на експлоатационните разходи  $C$  със  $\Delta C$ ;
- Допълнителен разход на цветни метали в резултат на преоразмеряване на захранващите мрежи, което означава, че капиталовложенията  $K$  ще се увеличат с  $\Delta K$ .

При сравняването на тези две тенденции е необходимо да се държи сметка на фактори като:

- Цена на кабелите 6, 10, 20 и 0,4 kV;
- Относителни разходи за електромонтажни и строителни работи;
- Разходи за поддръжка на складово стопанство;
- Специфична плътност на товара  $\omega$  [ $\text{MW}/\text{km}^2$ ];
- Оценка на вероятността за отказ в двата случая;
- Перспективите за развитие на промишления обект и др.

Изхождайки от горните съображения могат да се разгледат два варианта:





**I. Вариант** – без унификация на сеченията на кабелната мрежа, като броя на използваните сечения е без ограничение;

**II. Вариант** – оптимална унификация на сеченията, като техния брой може да се сведе и до единица.

Сравнението на двата варианта се извършва по критерии минимум на ПГР. За първият вариант може да се запише:

$$Э_I = \alpha_H K + C \quad (1)$$

За вторият вариант, както беше споменато, капиталовложенията  $K$  и експлоатационните разходи  $C$  ще се изменят с  $\Delta K$  и  $\Delta C$  :

$$Э_{II} = \alpha_H(K + \Delta K) + (C - \Delta C) \quad (2)$$

За да е ефективна дълбоката унификация е необходимо да бъде изпълнено условието:

$$Э_{II} < Э_I$$

$$\text{или } \alpha_H(K + \Delta K) + (C - \Delta C) < \alpha_H K + C$$

$$Э_{II} - Э_I$$

Ако означим разликата

с  $\mu$  се получава:

$$\mu = \alpha_H(K + \Delta K) + (C - \Delta C) - \alpha_H K - C = \alpha_H \cdot \Delta K - \Delta C \quad (3)$$

Следователно могат да се запишат условията:

$\mu < 0$  - икономически целесъобразна унификация на сеченията на кабелната мрежа;

$\mu > 0$  - икономически неефективна унификация.

Израза (3), удовлетворяващ първото условие ще бъде:

$$\alpha_H \cdot \Delta K - \Delta C < 0 \quad \text{следователно } \alpha_H \cdot \Delta K < \Delta C$$

При общоприет срок на откупуване  $T_{отк} = 10$  г. ;  $\alpha_H = 0,1$  и следователно:

$$\Delta K < 10 \cdot \Delta C \quad (4)$$

Може да се направи извода, че за да бъде една дълбока унификация ефективна е необходимо намалението на експлоатационните разходи, получено от занижените загуби на мощност, да е с един порядък по – голямо, отколкото повишението на капиталовложенията,

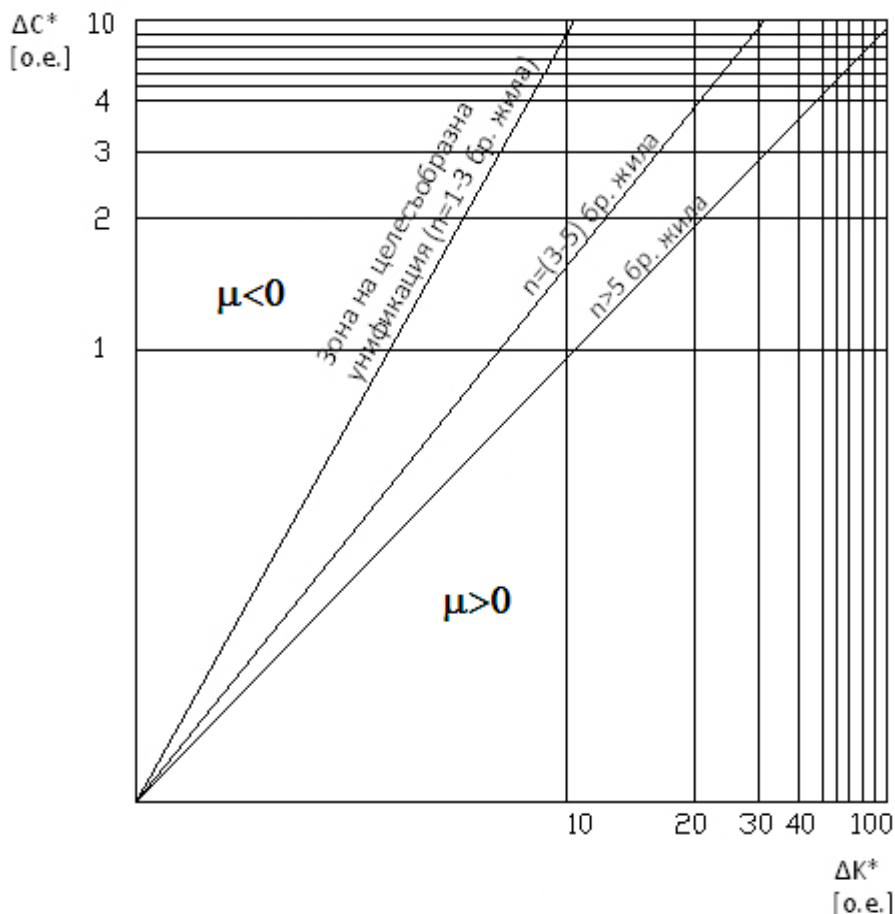


предизвикано от използване на кабелни мрежи с по – големи сечения. На базата на (3) са определени осреднени графични зависимости в о.е. и представени в логаритмичен мащаб за градски мрежи 0,4, 10 и 20 kV (фиг. 1).

Градските разпределителни мрежи, както на ниско напрежение, така и на средно напрежение имат редица специфични особености: еднотипност на използваните елементи, възможности за използване на съвременни индустриални технологии за монтаж и експлоатация, сравнително неголяма дължина, възможности за развитие и др. Тези особености са сериозна предпоставка за разработване на принципни постановки за унификация на сеченията на кабелните и въздушните линии, дори и за създаване на условия за „дълбока“ унификация с брой на сеченията  $n=1$ .

С помощта на гореизложената методическа постановка са извършени разчети за определяне на оптималния брой сечения на градски кабелни мрежи. Обект на изследване е ЕСС на гр. Варна на средно напрежение 10 и 20 kV и ниско напрежение 0,4 kV. Броя на изследваните трафопостове е 57 , като част от тях са на 20 kV, а друга част на 10 kV. В болшинството от разгледаните случаи силовите трансформатори са 2x1000 kVA и 2x630 kVA. Специфичната плътност на товара  $\omega$  е свързана с конкретното им разположение в кварталите „Чайка“, „Левски“, „Аспарухово“ и „Владиславово“, и се изменя в доста широки граници:  $\omega = (2 \div 13)$  [MVA/km<sup>2</sup>]. Средната плътност на товара за града като цяло е около  $(7,5 \div 8)$  MVA/km<sup>2</sup>. Определя се от средната инсталирана мощност от всички трафопостове ( $S_{cp} = 1540 \div 1640$  MVA) и застроената площ на града  $F \approx 205$  km<sup>2</sup>.

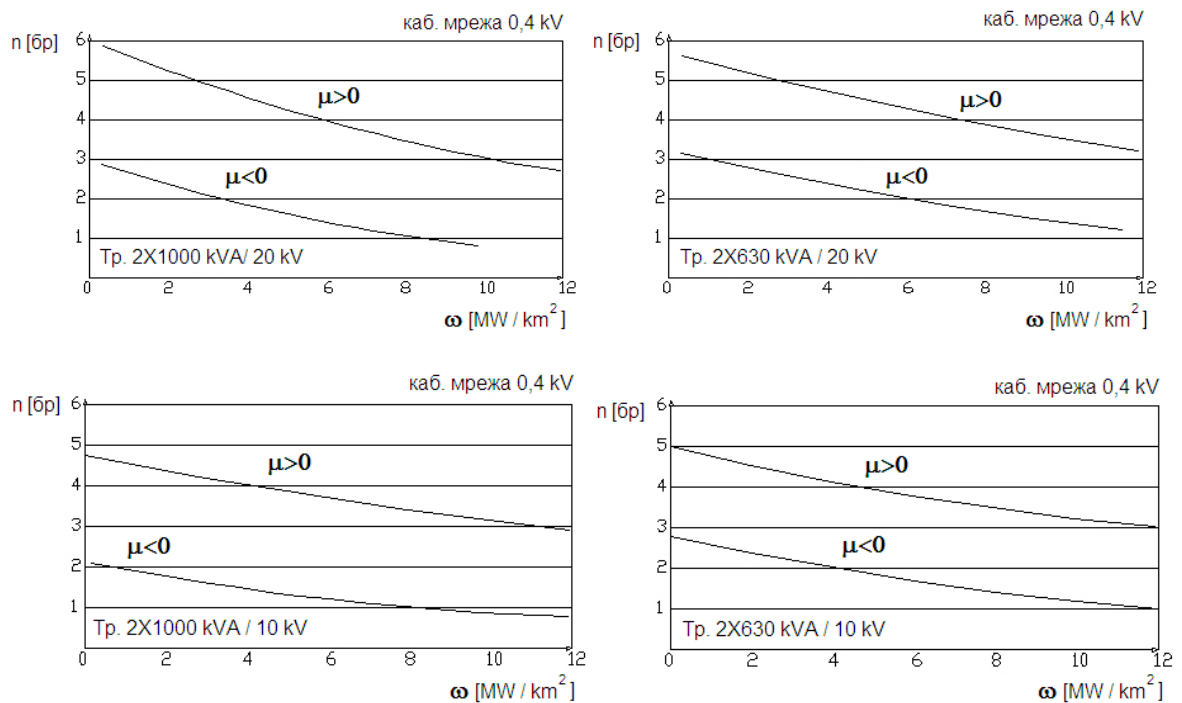
Фиг.1 Осреднени графични зависимости за  $\Delta K^*$  в относителни единици

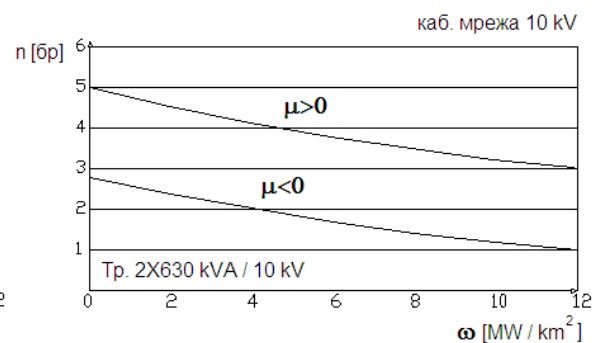
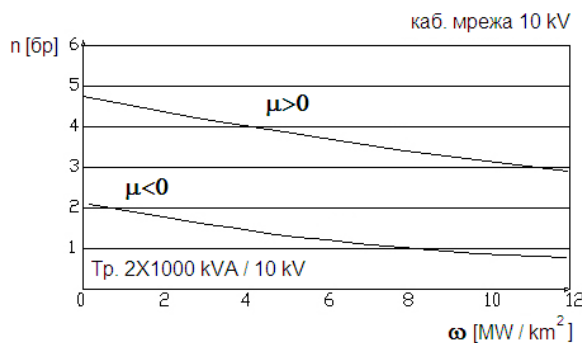
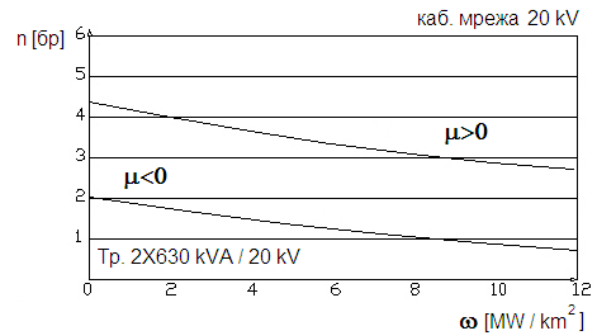
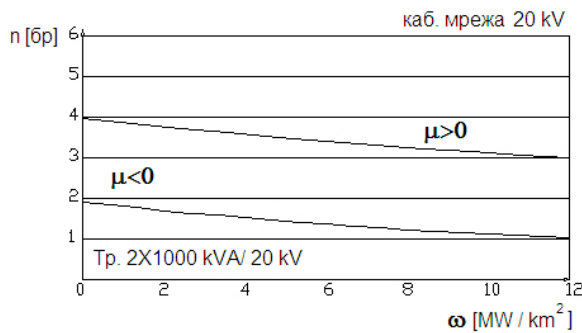




На базата на проведените разчети са построени графични зависимости за определяна на оптималния брой сечения  $n$  за двата режима ( $\mu > 0$  и  $\mu < 0$ ), представени на фиг.2. Обхванати са кабелни мрежи 0,4, 10 и 20 kV за 4 групи трафопостове 2x1000/20 kV; 2x630/20 kV; 2x1000/10 kV и 2x630/10 kV. Те захранват следните групи потребители от градската инфраструктура:

- жилищни гради;
- административни сгради;
- търговски обекти, обекти за услуги;
- сервизи, работилници, ателиета;
- увеселителни и развлекателни обекти;
- спортни обекти и др.

Фиг. 2 Оптимален брой сечения  $n$ 



В табл. 1 и табл. 2 са показани препоръчителният брой сечения в обобщен вид.

Табл. 1

$\mu < 0$ – целесъобразна унификация на броя на сеченията		
Кабелна мрежа	$\omega < 6$ [MVA/km <sup>2</sup> ]	$\omega \geq 6$ [MVA/km <sup>2</sup> ]
0,4 kV 2x1000 kVA; 2x630 kVA	3÷4 сечения 50, 70, 90, 120 мм <sup>2</sup> Алуминий	1÷2 сечения 90 и 120 мм <sup>2</sup> Алуминий
10 kV 2x1000 kVA; 2x630 kVA	2÷3 сечения 120, 150, 185 мм <sup>2</sup> Алуминий	1÷2 сечения 120 и 150 мм <sup>2</sup> Алуминий
20 kV 2x1000kVA; 2x630 kVA	1÷2 сечения 150 и 185 мм <sup>2</sup> Алуминий	1 сечение 185 мм <sup>2</sup> Алуминий

Табл. 2

$\mu < 0$ – икономически неефективна унификация на броя на сеченията		
Кабелна мрежа	$\omega < 6$ [MVA/km <sup>2</sup> ]	$\omega \geq 6$ [MVA/km <sup>2</sup> ]
0,4 kV 2x1000 kVA; 2x630 kVA	4÷8 сечения 25, 35 50, 90, 120, 150, 185 мм <sup>2</sup>	3÷5 сечения 50, 90, 120, 150 и 185 мм <sup>2</sup>
10 kV 2x1000 kVA; 2x630 kVA	3÷5 сечения 35, 50, 90,	3÷4 сечения 50, 90, 120 и



	120, 150 мм <sup>2</sup>	150 мм <sup>2</sup>
20 kV 2x1000kVA; 2x630 kVA	3÷4 сечения 90, 120, 150 и 185 мм <sup>2</sup>	3 сечение 120, 150 и 185 мм <sup>2</sup>

На база на проведените изследвания могат да се направят следните изводи:

1. Независимо от стойността на параметъра  $\mu$ , при  $\omega \geq 6 \text{ MVA/km}^2$ , оптималния брой сечения е до  $n = 3$ . При  $\omega < 6 \text{ MVA/km}^2$  този брой може да достигне  $n = 6$  и повече.
2. За мрежи СН унификацията на броя на сеченията на кабелите е доста по строго в сравнение с мрежи НН. Докато максималния брой на сеченията за кабели СН е 1÷5 сечения, то за НН е 1÷8 сечения.

Литература:

Василев Н., Сидеров С., Електроснабдяване на промишлени предприятия, София, Техника, 1991 г.

Соколов В. И. и др., Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения пром. предприятий, Москва, Энергоатомиздат, 1987

ст. ас. инж. Валентин Николов Гюров, ТУ-Варна, 052 383 515, [valentin.giurov@tu-varna.bg](mailto:valentin.giurov@tu-varna.bg)

доц. д-р. инж. Румен Михайлов Киров, ТУ-Варна, 052 383 515, [kvc\\_electroinvest@yahoo.com](mailto:kvc_electroinvest@yahoo.com)

гл. ас. д-р. инж. Владимир Чиков Чиков, ТУ-Варна, 052 383 570, [vladimir\\_128@abv.bg](mailto:vladimir_128@abv.bg)

## СИСТЕМА ЗА МРЕЖОВО УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛ НА ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ В ОБЩЕСТВЕНИ СГРАДИ

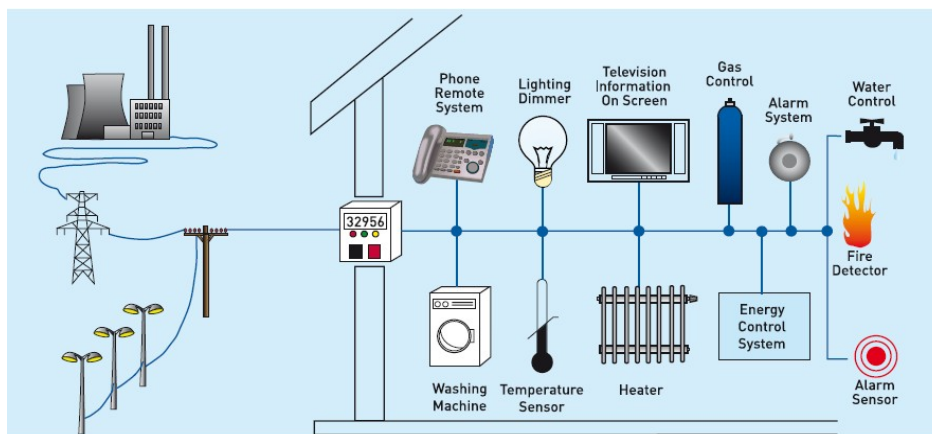
Ангел Пачаманов, Ива Петринска, Николай Матанов

**Резюме:** В доклада е описана разработена в катедра «Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт» на ТУ-София система за мониторинг и управление на изкуствено осветление в сгради. Системата се състои от обектни контролери по места и обща базова станция за съхранение на данни. Всеки обектен контролер нормално работи в автономен режим. За контрол на осветителните уредби и евентуалното им телеуправление се използва захранващата мрежа като среда за комуникации. Предвидена е възможност за следене на температура, наличие на дим и положение на засенчващи устройства по помещения. Базовата станция периодично прехвърля събраната информация в централен компютър с организирана база данни. Системата е приложима както за нови, така и за съществуващи осветителни уредби.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Приложението на новите информационни технологии за изграждане или модернизация на сградни системи за автоматизация [1], в частност на осветлението, дава възможност за осъществяване на централизиран контрол, адаптивно управление и намаляване на консумацията на електрическа енергия в сградния сектор. Използването на силовата електрическа мрежа като среда за комуникации осигурява гъвкавост при управление на сградните системи, възможност за контрол и спазване на лимитите за разход на електрическа енергия и бързо откриване на неизправности в съоръженията (фиг.1).

Известни са няколко системи за сградна автоматизация, включващи управление на вътрешното осветление, които са получили широка популярност - LonWorks, EIB, X10 [2]. За съжаление тези системи са трудно приложими в обществените сгради, поради високата си цена и невъзможността допълнително вложените средства за автоматизация да се изплатят с реализираната икономия на енергия в приемлив срок - в обществените сгради се работи в светлата част на деня, а основният проблем е т.н. “забравено осветление”. В този аспект системи за мониторинг и управление на осветление, отопление и засенчващи устройства, базирани на технологии, използващи електрическата мрежа като комуникационна среда е евтино и добро решение.

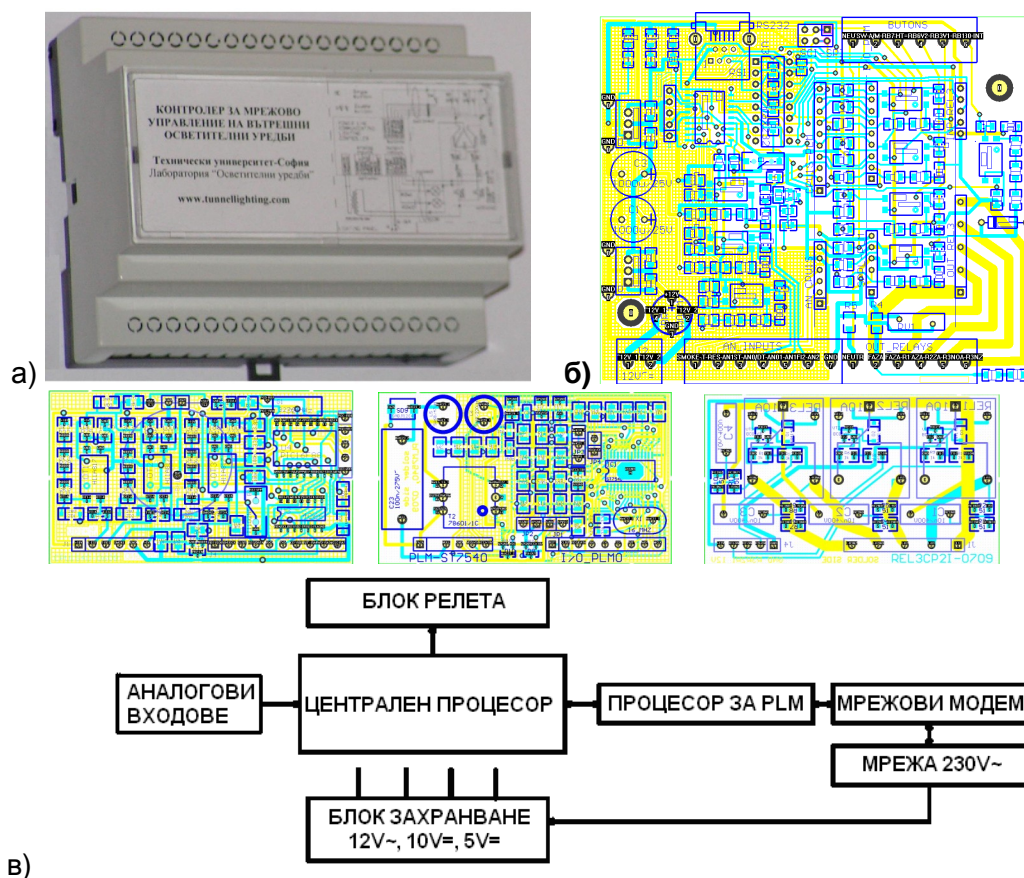


Фиг.1. Блокова схема на система за мониторинг на сградни съоръжения по захранващата мрежа [1]

## СЪЩИНСКА ЧАСТ

Съществуват различни технически решения на системи за управление на изкуствено осветление. Подходящият избор на система зависи от различни фактори, като основни са климатичните условия на страната, географските координати на населеното място, възможностите за използване на естествената светлина и режима на работа в сградите. Географското положение на България предполага малък годишен дял на мрачните дни и преобладаващо ясно време. Преходът между деня и нощта е с малка продължителност, при което използването на системи за управление на изкуственото осветление с димиране е неизгодно, а управлението по редове - за предпочитане [3,4]. Последното е чрез сензори за осветеност или календари за изменение на естествената осветеност в годишен план.

Описаната в настоящия доклад автоматизирана система за мониторинг и управление на изкуствено осветление се основава на принципи, чиито особености са защитени с патент [5]. Реализирането им е на базата на използване на електрическата мрежа като среда за комуникации. Използването на системата дава възможност за предотвратяване на т.н. “забравено осветление”, следене на енергийните разходи и на база намаляването им – по-бързо откупуване на вложените средства за автоматизация.



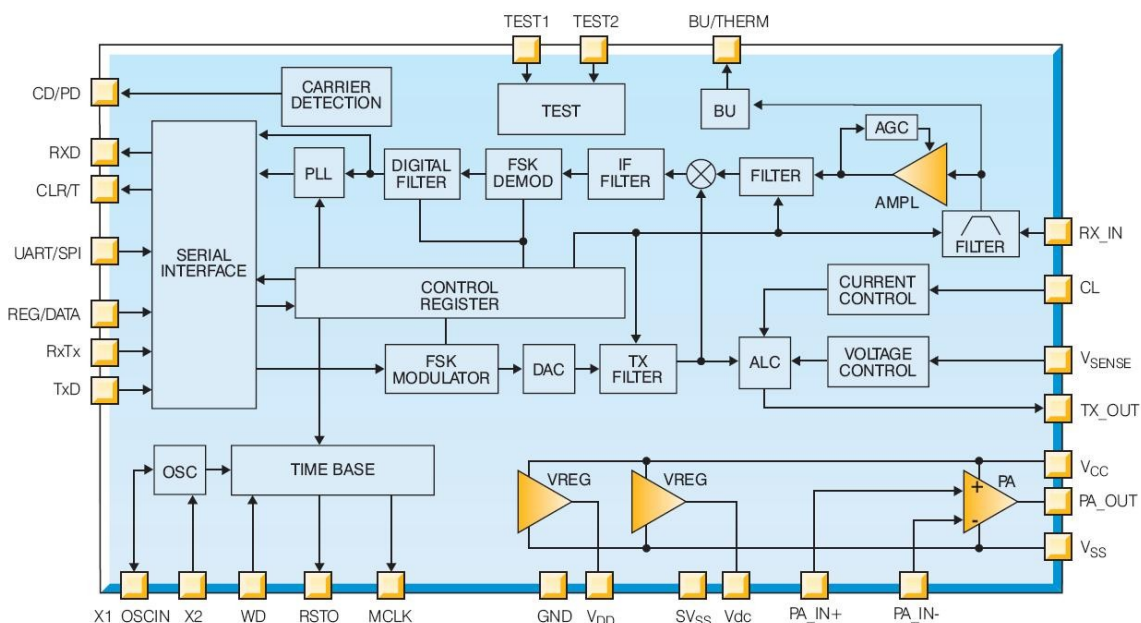
Фиг.2. Общ вид (а) на обектен контролер за мрежово управление на вътрешно осветление; б) конкретно изпълнение на платките; в) блокова схема на връзките между платките

Основно звено в системата са обектните контролери, които могат да се монтират както в помещенията, така и на DIN-шина в крайното електрическо табло. На фиг.2 е показано конкретно изпълнение (а) на контролер (размери 105 x 85 x 60 мм), който съдържа (б) дънна процесорна платка за връзка с “външния свят”, процесорна платка за връзка/управление

с/на мрежов модем (PLM) и релейен блок. С релейния блок се осъществява включване/изключване на редовете осветители.

### Обектният контролер:

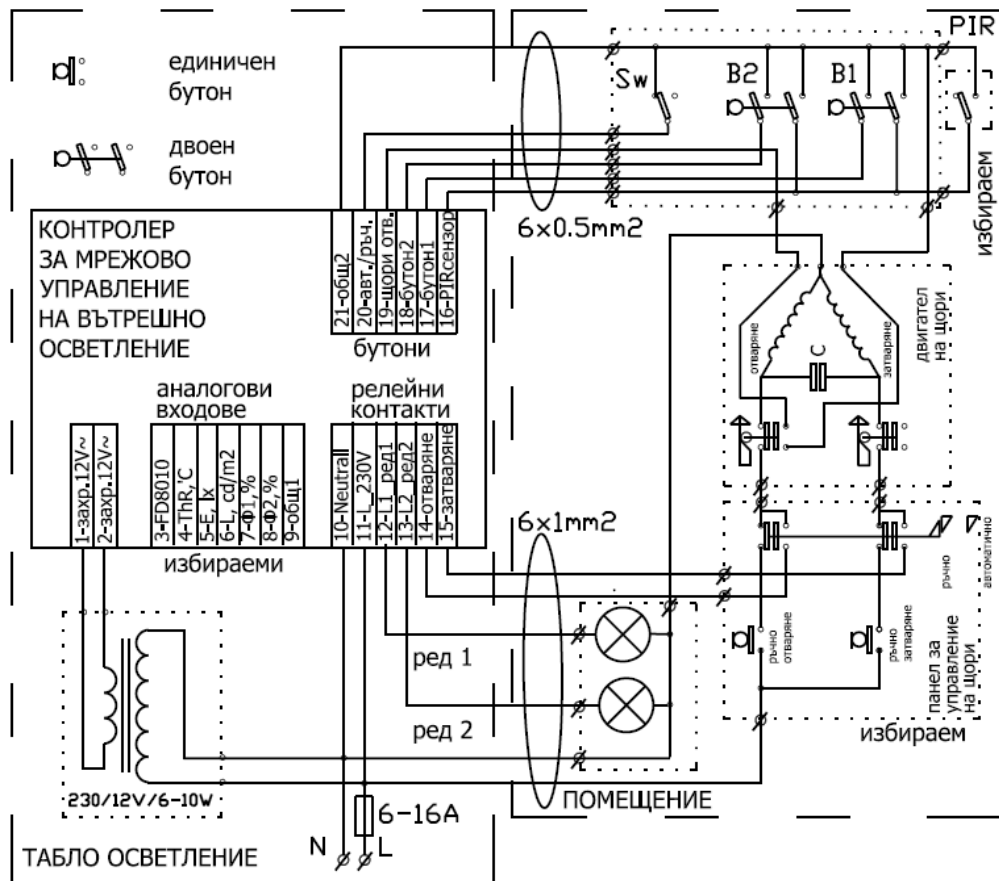
- може да се препрограмира от страна на базовата станция за промяна на оперативни данни за режима на работа на редовете осветители (по осветеност или по заложен календари за естествена осветеност), както и за генериране на съобщения за ненормален режим на работа;
- може автоматично да премине на автономен режим при липса на комуникация, дори преди това да е бил на диспечерски режим на управление от РС;
- работи като комуникационен контролер чрез стандартен интерфейс и мрежови модем и обменя информация за управляваните и наблюдаваните обекти с базова станция (Host Unit);
- включва/изключва редовете осветители, вдига/спуска щори в ръчен, автономен-автоматичен или диспечерски режим;
- осъществява мониторинг и събиране на данни за:
  - състояние (статус) на ред осветители (вкл./ изкл.);
  - продължителност на работа на редовете осветители;
  - брой включения на редовете осветители;
  - повреда на осветител от реда (подадено напрежение, но не свети);
  - ниво на светлинния поток на осветителите от реда;
  - сигнал от датчик за присъствие;
  - състоянието на щорите: 1) сутрин, след включване на осветлението, щорите автоматично се вдигат, в очакване на автоматично изключване по осветеност; 2) през деня включване на осветлението в “забранените от календарите часове” е възможно само при вдигнати щори; 3) след включване на осветлението вечер, щорите автоматично се спускат (осветеността в помещението е по-висока благодарение на отразения поток от щорите);
  - наличие на дим в помещението (сигнал от сензор за дим);
  - температурата в помещението (сигнал от термосензор).



Фиг.3. Блокова схема на мрежови модем ST7540 в интегрално изпълнение [6]



При разработването на конструкцията на модемната платка (фиг.2б) е използван модем в интегрално изпълнение от серията ST7540, чиято блокова схема е показана на фиг.3. Той е ново поколение модем с честотна модулация на сигналите, наследник на получилия разпространение през 2000 г. чип ST7537. Предимствата му са: малки размери, наличие на вграден изходен драйвер за връзка с електрическата мрежа, контрол на тока и напрежението, възможност за използване на синхронен интерфейс за промяна на честотата при обмен на информация, скорост на обмен на информацията до 4800bps.



Фиг.4. Външни връзки на контролер за мрежово управление на вътрешно осветление [7]

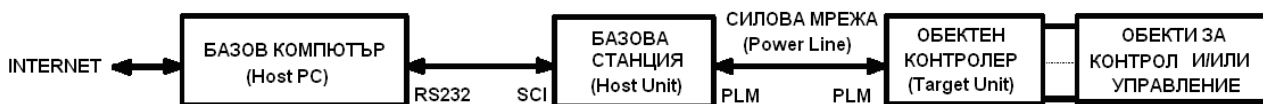
Външните връзки на обектния контролер са както следва (фиг.4):

- клеми 1-2 са вход от трансформатор 230/12V~, осигуряващ едновременно захранване на няколко обектни контролера в крайното електрическо табло;
- клеми 3-9 са аналогови входове на оптронни преобразуватели на сигнали (0-1mA/0-5V), като свързването им не е задължително за работата на контролера: 3- вход от сензор за дим; 4- вход от сензор за температура; 5- вход от фотоеlement за ниво на осветеност E в желано място; 6- вход от фотоеlement за анализ промяната на яркостта на прозореца сутрин, 7- вход от фотосензор за регистрация на поток на осветител от първи ред, 8- вход от фотосензор за регистрация на поток на осветител от втори ред, 9- общ извод за всички изброени сензори;
- клеми 10-15 са както следва: 10-11 са захранване 230V~ за релейния блок и мрежовия модем; 11-12, 11-13 са релейни изходи 230V~/5A за първи и втори ред осветители, 11-14, 11-15 са релейни изходи 230V~/5A за управление на щори;



- клеми 16-20 са оперативни връзки чрез бутони и контакти на устройствата (230V=, 0.5mA), съответно за: сигнал от контакт на реле на инфрачервен сензор за наличие на хора в помещението; за натиснати бутони включване/изключване на двата реда осветители; за положение “вдигнати щори” от МУК (магнитно управляем контакт); за режим ръчен/автоматичен на контролера от ключ. Клема 21 е общ извод за всички изброени бутони и контакти.

Блоквата схема на фиг.5 пояснява йерархичните нива в системата – отдясно-наляво, съответно: осветителни уредби, обектни контролери, силова мрежа, базова станция (Host Unit), базов компютър (Host PC), интернет. Връзката на базовата станция (HU) с обектните контролери е по захранващата електрическа мрежа, а между HU и Host PC – по стандартен сериен интерфейс (RS232). Получената информация от обектните контролери служи за постоянно обновяване на съществуваща база данни в Host PC. Информацията в HU се съхранява на принципа “нови данни се записват на мястото на най-старите”, поради което на няколко дни компютърът задължително трябва да се включва за обновяване на базата данни. При включен компютър, достъп до базата данни може да се получи чрез произволен компютър по интернет.



Фиг.5. Блокова схема на йерархичните нива и начина на предаване на данни между тях (RS232 – стандартен сериен интерфейс на PC, SCI – стандартен сериен интерфейс на базовата станция, PLM – Power Line Modem, обменящ данни по синхронен или асинхронен сериен интерфейс)

**Базовата станция HU** е главен компонент за мониторинг и управление на осветителните уредби в една сграда и има следните функции:

- изпълнява ролята на маршрутизатор (router), изграждащ локална мрежа по силовата мрежа (LAN) с обектните контролери по помещения;
- съхранява информация за работата на обектните контролери за зададен брой команди или период от време и периодично я предава към Host PC;
- осигурява диспечерско телеуправление на обекти от Host PC;
- осигурява посредничество за връзка на един базов контролер с друг (например за използване на обща за всички контролери информация);
- осигурява свързаност с външни устройства за мониторинг и контрол чрез посредничеството на Host PC (произволен компютър, имащ връзка с Интернет);
- защитава обмена на информация с по-горните нива срещу неоторизиран достъп.

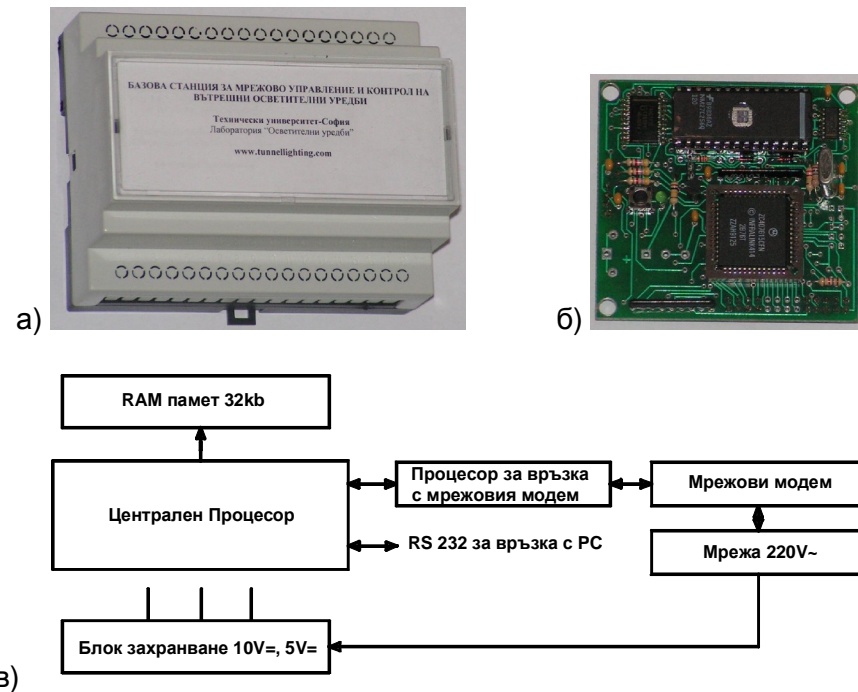
Общият вид на базовата станция е показан на фиг.6. По изпълнение конструкцията ѝ е подобна на обектния контролер от фиг.1 като на мястото на релейния блок е монтирана процесорна платка с 32 KB оперативна памет (б) за съхраняване на получаваната информация от обектните контролери.

Освен горните функции, базовата станция HU е в състояние да осигури:

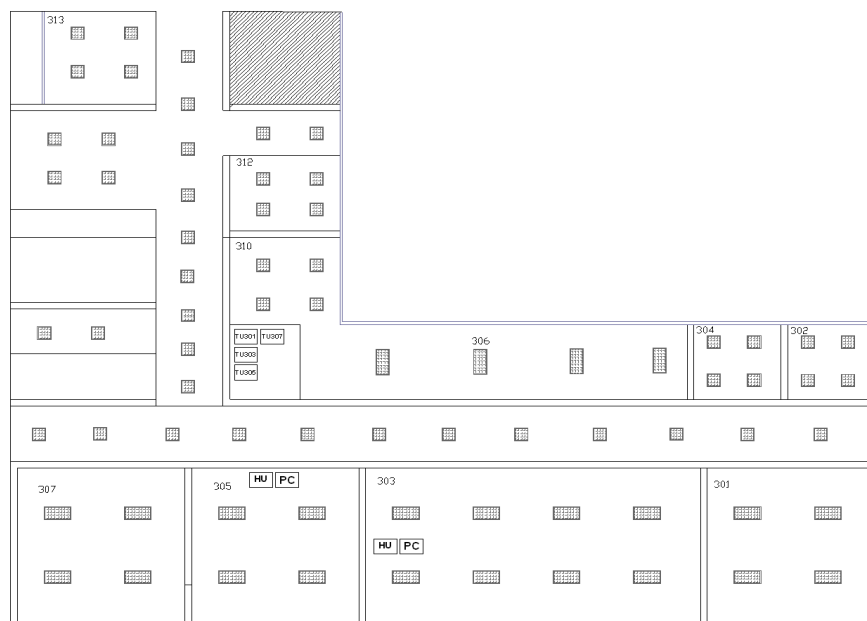
- управление по часовник и годишни графици за управление на осветлението на определени помещения;
- съхраняване на информация за събития, регистрирани от обектните контролери, отразяващи отклонение на стойностите на параметрите спрямо зададените.

**Програмно осигуряване и визуализация на осветителните уредби**

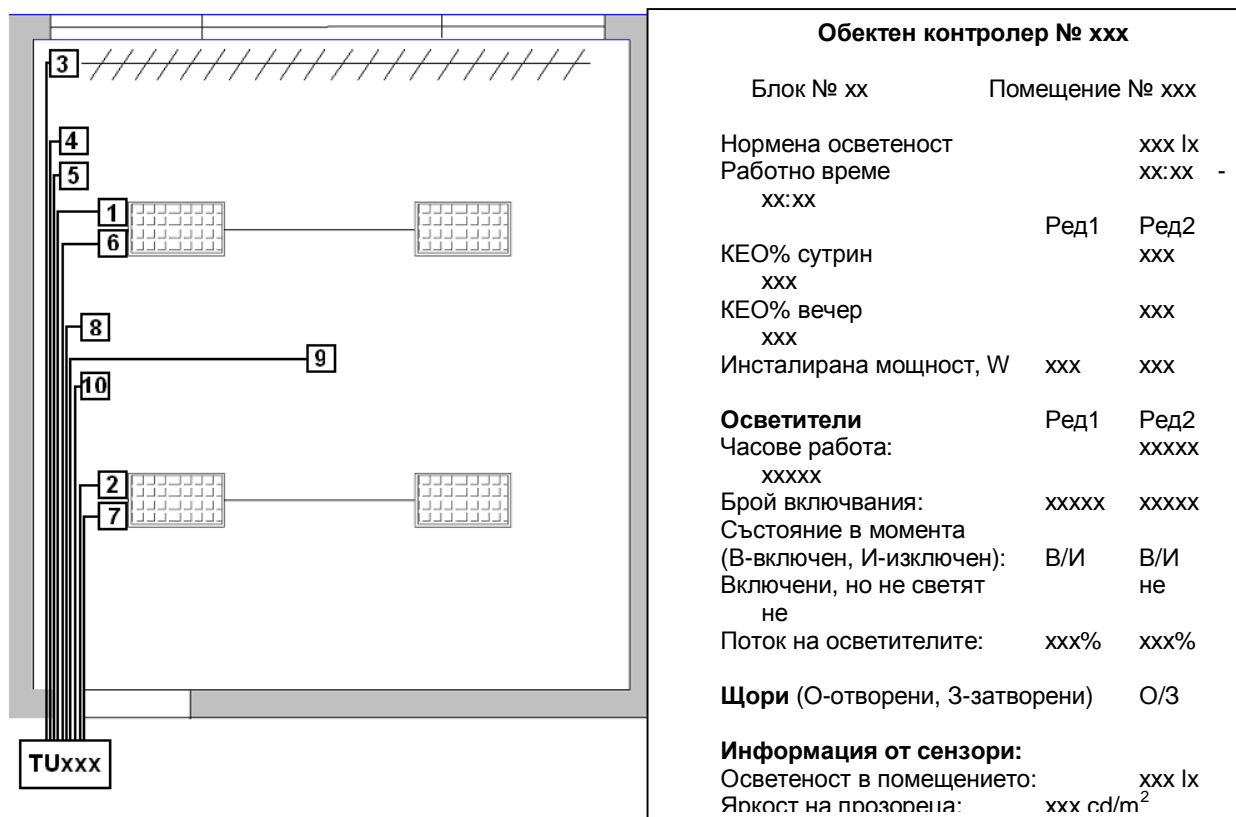
Програмното осигуряване на компютъра от третото йерархично звено (Host PC) включва база данни, която периодично се обновява от информацията, постъпваща от базовата станция (HU). На един екран е организирано изобразяването на всички контролирани помещения (фиг.7). След избор на номера на конкретно помещение, на друг екран се визуализират контролираните обекти в помещението и стойностите на параметрите (фиг.8).



Фиг.6. Базова станция (Host Unit): а) общ вид, б) процесорна платка с 32 KB оперативна памет, в) блокова схема на връзките между платките



Фиг.7. Примерен план на наблюдавани помещения с осветителни уредби



Фиг.8. Изобразяване на помещение с конкретен номер и параметри на екрана на РС:

1 – захранване на първи ред осветители, 2 – захранване на втори ред осветители, 3 – захранване и положение щори, 4 – фотосензор за яркост на прозореца, 5 – захранване и сигнал от PIR сензор, 6 – фотосензор за поток на осветител от първи ред, 7 - фотосензор за поток на осветител от втори ред, 8 – термосензор; 9 – захранване и контакт от сензор за дим; 10 – фотосензор за осветеност на работно място

Разгледаната система се внедрява експериментално в Електротехническия факултет на Технически университет–София. Показаният план (фиг.7) е за третия етаж на сградата. Обектните контролери се монтират на DIN-шина в етажното табло, а в лаборатории 12303 и 12305 се разполагат две базови станции, свързани към съответни компютри (Host PC) – така се формират две работни места за упражнения по дисциплини “Осветителна и инсталационна техника” и “Осветителни уредби” (бакалавърски курс на обучение) и по “Специални осветителни уредби” (за магистри от специализация “Осветителна техника”). Фиг.8 ще бъде изнесена на демонстрационно табло пред лаборатории 12303 и 12305, заедно с описание на системата.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработената система осигурява енергоикономичен режим на работа на изкуственото осветление в обществени сгради. Заложените принципи на функциониране се осъществяват без сериозни капитални вложения и същевременно осигуряват сигурна работа и възможност за следене на консумираната енергия за осветление. Едновременното управление по яркост на прозореца и по календари на естествената осветеност, както и контролирането на състоянието на засенчващите устройства, са предпоставка за недопускане на „забравено осветление” през деня и извън-работно време. Чрез организираната база данни в компютър (Host PC) се следи за изправността на осветителните уредби и коректното им функциониране. Този вид изпълнение на система за управление на осветление е



предпоставка за икономия на електроенергия, съизмерима по стойност с икономията, получавана при значително по-скъпите системи с димируеми баласта във всеки осветител.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Разработката е финансирана със средства по вътрешен конкурс на Научноизследователския сектор при Технически университет-София, договор №091пд014-01/2009 “Енергоефективно управление на изкуственото осветление в обществени сгради” за научен проект в помощ на докторант.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Mainardi E., S. Banzi, M. Bonfe, S. Beghelli, A Low Cost Home Automation System based on Powerline Communication Links 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2005 - September 11-14, 2005, Ferrara (Italy)
2. Simpson R., Lighting Control Technology and Applications, Focal Press 2003, ISBN 0 240 51566 8
3. Пачаманов А. Енергоспестяване и осветителна техника (енергоефективно осветление). Издателство “Авангард-Прима”, София 2007 (271 стр., ISBN 978-954-323-251-2).
4. Георгиев В., И. Петринска, „ Оценка на ефективността на системите за управление според разходите за осветление в обществени сгради”, XII Национална конференция по осветление с международно участие Осветление' 2007, 10-12 Юни 2007, Варна, България, стр.126-131
5. Пачаманов А., Р. Пачаманов. Метод за управление на изкуствено осветление в сгради. Патент за изобретение, вх.№106331/21.01.2002 (август 2008, Патентно ведомство на Р. България)
6. STMicroelectronics, ST7540 - FSK power line transceiver
7. <http://www.tunnellighting.com>



1. Д-р инж. Ангел Саракинов Пачаманов, професор в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”, Технически университет – София, Каб.12325, Тел. 965-21-81, E-mail: [pach@tu-sofia.bg](mailto:pach@tu-sofia.bg)



2. Маг.инж. Ива Чавдарова Петринска, редовен докторант в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”, Технически университет – София, Лаб.12303, E-mail: [ipetrinska@tu-sofia.bg](mailto:ipetrinska@tu-sofia.bg)



3. Маг. инж. Николай Стефанов Матанов, главен асистент в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”, Технически университет – София, Каб.12323, Тел. 965-21-79, E-mail: [nsm@tu-sofia.bg](mailto:nsm@tu-sofia.bg)



## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ТИПОВИ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ В ХОТЕЛИ

Камелия Николова

**Резюме:** В доклада са изследвани наложилите се в проектантската практика начини на осветяване на помещения с непрекъснато работно време в хотели от масов тип (фоайета). На базата на многовариантно проектиране, при използване на различни светлинни източници и пусково-регулираща апаратура, са оценени годишните разходи за осветление за единица изчислителна площ на помещенията. Предложената класификация по възприетите класове за енергийната ефективност (A-G) има за цел да подпомогне проектантите за целесъобразен избор на осветителна уредба по критерий „задоволяване на предписваните показатели за изкуствено осветление с минимални разходи”.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Енергийната ефективност на различните видове потребители на електрическа енергия е една най-коментирани теми във връзка с количеството отделяни въглеродни емисии при производство на електроенергия. Делът на енергията за осветление в хотелиерския сектор сега съставлява 12% от общата консумирана енергия на електрическото оборудване. Ако сградата се газифицира (енергоемките процеси не се задоволяват с електроенергия), делът на консумираната енергия за осветление съставлява 45% от общата консумирана електроенергия [1].

Използването на ефективни светлинни източници и оптични системи, както и необходимата пусково регулираща апаратура (ПРА) не са достатъчно условие за висока ефективност на осветителната уредба. Освен подходящото насочване на светлинния поток към работната повърхност, режимът на експлоатация и устройствата за управление влияят силно на годишните разходи за осветление.

Подходящият избор на система за управление на осветлението зависи от много фактори, като основни са климатичните условия на страната, географските координати на населеното място, възможностите за използване на естествената светлина и режима на работа в сградите. Географското положение на България предполага малък преход между деня и нощта и преобладаващо ясно време [2]. При тези условия използването на системи за управление на изкуственото осветление с димиране е неизгодно, тъй като вложените средства за оборудване не могат да се изплатят със стойността на спестената електроенергия в разумен срок. За предпочитане е управлението по редове [3,4], съвместно с използване на сензори за присъствие. Управлението по редове се осъществява на базата на коефициентите на естествено осветление (КЕО) на работните места под редовете осветители - по осветеност или календари за годишното изменение на естествената осветеност [5,6].

Фоайетата, в класическия случай, са дълбоки помещения със светлинни отвори на тясната страна на помещението, които представляват входа на хотела и се състоят от плъзгащи се прозрачни врати. Те работят с непрекъснато работно време и затова интегрирането на дневната светлина е от съществено значение за консумираната енергия. Минималната стойност на КЕО за помещения с временно присъствие на хора, към които се отнасят и фоайетата, е  $КЕО \geq 0,3$  [7].

При тези изходни условия в доклада е предложената класификация на осветителните уредби за фоайета по минимални годишни разходи за осветление [лв за година за  $m^2$  за нормена осветеност 200 lx]. Тя се основава на получени посредством многовариантно



проектиране базови стойности за инсталирана мощност на единица площ за разглежданото помещение и режим на използване на помещението.

### СЪЩИНСКА ЧАСТ

Основните светлинни източници, които се използват при проектиране на осветителни уредби в хотели и ресторанти са халогенни нажежаеми лампи (ХНЛ), енергоспестяващи и компактни луминесцентни лампи (КЛЛ), метал-халогенни лампи (МХЛ), линейни трифосфорни луминесцентни лампи (ТЛЛ) и светодиоди (СД) [8].

Във връзка с директивите на Европейския съюз (ЕС) за екодизайн и тенденцията да се извадят от употреба високомощните нажежаеми светлинни източници с нисък светлинен добив [9], в последващите разглеждания са използвани осветители със светлинни източници до клас енергийна ефективност D и номинална мощност до 60W .

Посредством многовариантно проектиране с гама типови осветители за разглежданите помещения и съответната пусково-регулираща апаратура, са получени резултати за необходимата инсталирана мощност на единица площ за фойета и рецепции [ $W/m^2$  за 200lx и  $W/m^2$  за 300lx]. В конкретното изследване са разгледани осветителни уредби, изпълнени с халогенни нажежаеми лампи (230V), нисковолтови халогенни нажежаеми лампи (12V) и КЛЛ. Чрез многовариантно проектиране са определени необходимите мощности при изпълнение на уредбата с различни осветители, предлагащи различни светлоразпределения и съответно коефициент на използване на светлинния поток на светлинните източници. При изпълнение на уредбата с нисковолтови халогенни нажежаеми лампи са разгледани случаите с индивидуални и групови захранващи блокове (електронни и магнитни), с които се осигурява плавен старт и се стабилизират работните параметри. За халогенните нажежаеми лампи, работещи на захранващо напрежение 230V са разгледани варианти с използване на ПРА и без такава. По аналогичен начин е подходено и при изпълнение на уредбите с компактни луминесцентни лампи с неинтегрирана електронна ПРА (ЕПРА). Резултатите са показани в таблица 1.

Таблица 1. Инсталирана мощност на единица площ при изпълнение на ОУ с различни елементи

№	ПРА		I II	III IV	V VI
	ОТ	СИ			
		СРК $\eta$ , %	p, W/m <sup>2</sup>		
1	2	3	4	5	6
1	1x13 W	ac 79	8,05		
2	1x13 W	ac 75	8,05		
3	1x13 W	ac 71	8,05		
4	1x13 W	ac 72	8,05		
5	2x24 W	d 70	9,13		
6	1x18				
1	2	3	4	5	6
13	2x13 W	ac	58	10,31	
14	2x13 W	ac 57		10,31	
15	50W/12V	b 100			10,66 10,62
16	1x22 W	c 44		10,99	
17	1x32 W	c 58		11,04	11,65 11,36
18	1x18 W	ac 60		12,08	
19	1x18 W	b 55		12,08	
20	1x18				



	W	b 58	9,21		
7	1x18 W	b 57	9,21		
8	1x26 W	b 63	9,47		
9	1x13 W	ac 69	9,94		
10	1x13 W	ac 70	9,94		
11	1x13 W	ac 59	9,94		
12	2x13 W	ac 61	10,31		

	W	b 52	13,31		
21	1x18 W	b 46	13,31		
22	1x26 W	ac 52	13,60		
23	1x13 W	c 58	14,04		
24	1x13 W	b 52	14,04		
25	1x13 W	b 49	14,04		
26	1x13 W	b 47	14,04		

	2	3	4	5	6
7	1 x13W	b 42	14,04		
8	1 x22W	c 40	15,03		
9	2 x18W	ac 49	15,50		
0	2 x18W	ac 43	15,50		
1	1 x13W	ac 38	15,73		
2	5 0W/ 12V	b 100	17,76 17,63	19,41 18,74	
3	5 0W/ 12V	b 90	17,76 17,63	19,41 18,74	
4	5 0W/ 12V	b 100	18,61		
5	5 0W/ 12V	b 101	18,61 17,63	19,41 18,74	
6	5 0W/ 12V	b 76	18,61 17,63	19,41 18,74	
7	5 0W/ 12V	b 70	18,61	19,41	

	2	3	4	5	6
3	2 0W/ 12V	a 100		26,22 22,16	26,01 24,58
4	1 x18W	ac 26	26,28		
5	6 0W/ 230V	d 96	26,66 26,38		
6	6 0W/ 230V	d 93	26,66 26,38		
7	6 0W/ 230V	c 89	26,66 26,38		
8	6 0W/ 230V	b 88	26,66 26,38		
9	6 0W/ 230V	d 69	26,66 26,38		
0	1x13 W	ac 26	27,06		
1	3 5W/ 12V	b 68		28,42 26,12	29,84 28,17
2	3 5W/ 12V	b 67		28,42 26,12	29,84 28,17
3	2 0W/ 12V	b 92		31,29	31,05





	12V			17,63	18,74
8	1 x18W	ac 48	18,35		
9	1 x32W	ac 31	18,72		
0	1 x32W	ac 26	19,48		
1	3 5W/ 12V	a 92	23,00 21,14	24,15 22,82	
2	3 5W/ 12V	b 90	23,00 21,14	24,15 22,82	
3	3 5W/ 12V	a 88	23,00 21,14	24,15 22,82	
4	5 0W/ 12V	b 74	23,09 23,00	25,42 24,65	
5	5 0W/ 12V	b 70	23,09 23,00	25,42 24,65	
6	5 0W/ 12V	b 68	23,09 23,00	25,42 24,65	
7	5 0W/ 12V	b 67	23,09 23,00	25,42 24,65	
8	5 0W/ 12V	b 66	23,09 23,00	25,42 24,65	
9	5 0W/ 12V	b 64	23,09 23,00	25,42 24,65	
0	5 0W/ 12V	b 62	23,09 23,00	25,42 24,65	
1	5 0W/ 12V	a 54	23,09 23,00	25,42 24,65	
2	2 0W/ 12V	a 101	26,22 22,16	26,01 24,58	

	12V			26,45	28,63
4	2 0W/ 12V	b 90		31,29 26,45	31,05 28,63
5	2 0W/ 12V	a 88		31,29 26,45	31,05 28,63
6	5 0W/ 12V	a 49		30,48	
7	5 0W/ 12V	a 45		31,63 30,04	33,00 32,10
8	6 0W/ 230V	c 69	34,78 34, 50		
9	3 5W/ 12V	b 63		35,18 32,61	37,00 35,88
0	2 0W/ 12V	b 60		36,37 30,75	36,14 33,34
1	5 0W/ 12V	b 53		39,07 37,11	40,92 39,87
2	5 0W/ 12V	a 42		39,07 37,11	40,92 39,87
3	5 0W/ 12V	a 37		48,38 46,48	50,54 48,87
4	5 0W/ 12V	b 32		48,38	
5	3 5W/ 12V	a 42		50,07 46,01	52,57 45,73
6	3 5W/ 12V	a 40		50,07 46,01	52,57 45,73
7	6 0W/ 230V	c 45	51,08 50, 74		
8	2 0W/ 12V	g 61		105,7 92,92	104,7 93,77

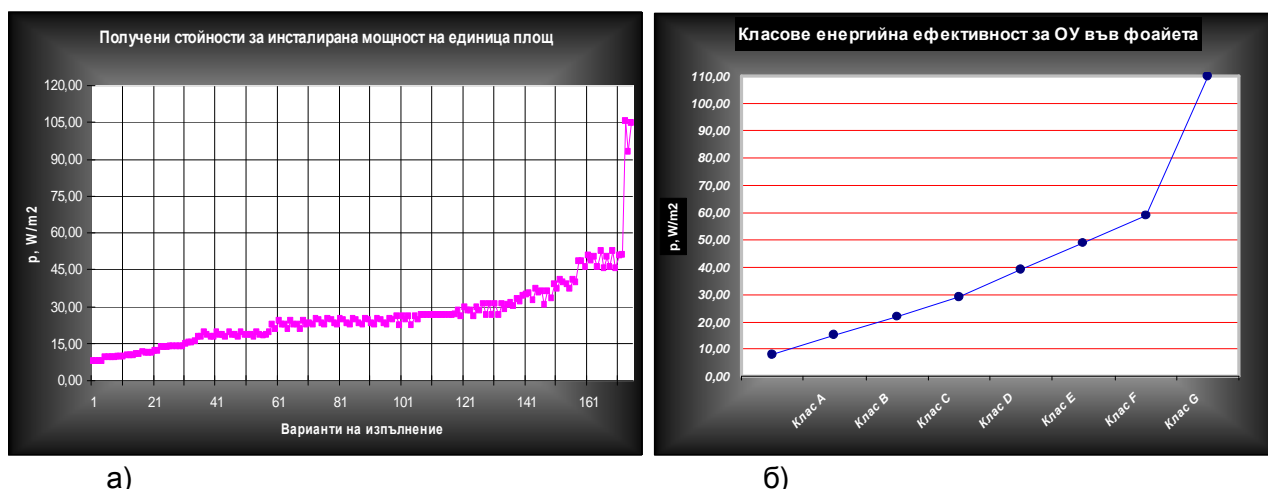
Забележка: ОТ – осветително тяло; ПРА - пусково-регулиращ апарат; СИ - светлинен източник; СРК - светлоразпределителна крива (а-концентрирана, б-дълбока, с-косинусна, d-



полуширока, е-широка, f-равномерна, g-синусна, ас – асиметрична, БДС 8345-83 [13];  $\eta$ , % - к.п.д. на осветителното тяло;

Варианти на изпълнение на ОУ: I – с ЕПРА; II – без ПРА; III – с индивидуални електронни трансформатори; IV – с групови електронни трансформатори; V – с индивидуални магнитни трансформатори и ЕПРА; VI – с групови магнитни трансформатори и ЕПРА

Инсталираната мощност на единица площ за възприетите класове на енергийна ефективност е изчислена за типови фойета в хотелиерския сектор, с площ  $30 \text{ m}^2$ , норма на осветеност  $200 \text{ lx}$ , височина на окачване на осветителните тела  $3,20 \text{ m}$ , височина на работната повърхност  $0,75 \text{ m}$ ,  $UGR < 22$ , като са спазени стандартизираните условия за неравномерност на осветеността и са отчетени спецификите на отражателните повърхности.



а)

б)

Фиг. 1. Класификация на ОУ във фойета по критерий за инсталирана мощност на единица площ:

а) получени стойности при различните варианти на изпълнение ; б) предложена класификация

Първата класификация по енергийна ефективност се базира на получените изчислителни стойности за инсталираната мощност на единица площ, фиг. 1а . Минималната получена стойност за тази постановка на задачата е приета за базисна, а останалите резултати са разделени в 6 групи и съответно 7 класа (А, В, С, D, Е, F и G), в зависимост от получените стойности [10]. Приетите стойности за класовете енергийна ефективност на уредбите за типови помещения на фойета са показани съответно на фиг.1б (таблица 2а)

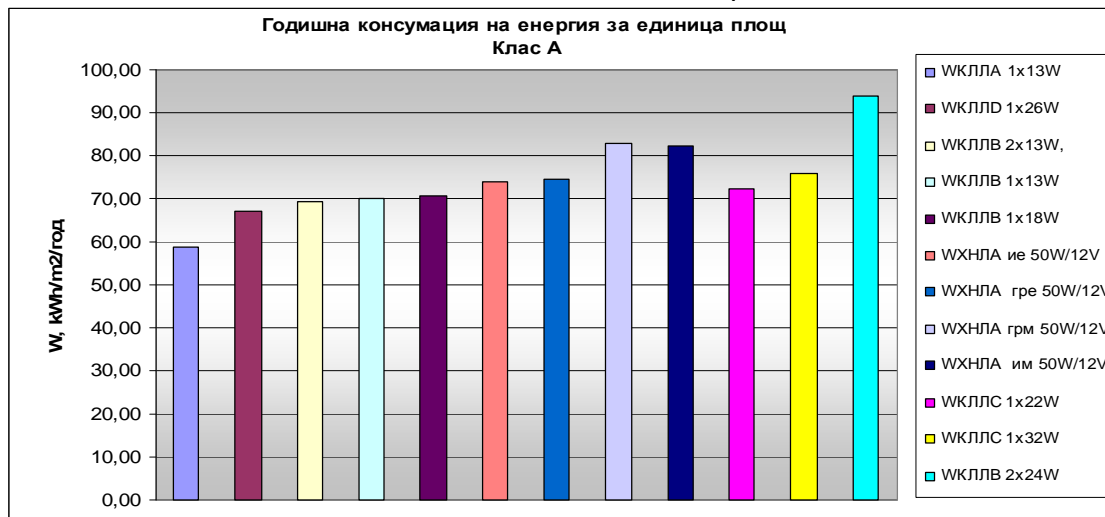
Таблица 2. Класификация на ОУ по критерий за а) “инсталирана мощност на единица площ” и б) “годишна консумация на енергия за единица площ” за фойета

Фойета (200lx)		
Клас по Ен.Еф.	а) От ... до $\text{W/m}^2$	б) От ... до $\text{kW/m}^2/\text{год}$
A	8 - 15	58-108
B	15 – 22	108-158
C	22 - 29	158-208
D	29 - 39	208-258
E	39 - 49	258-338
F	49 - 69	338-438



G	Над 69	Над 438
---	--------	---------

Информацията за получените и разделените в 7 класа стойности за инсталираната мощност на единица площ е използвана за намиране на планов разход на енергия за осветление на година. Плановият разход на електрическата енергия е определен на базата на принципите на автоматично управление на осветлението по редове според наличието на естествена светлина. Получените резултати за консумираната енергия за осветление на година са обработени по аналогичен начин и е предложена класификация по критерий годишна консумация на енергия за единица площ, таблица 2б. Стойностите за най-ефективните изпълнения на ОУ - клас А са показани на фиг. 2.



Фиг. 2. Годишна консумирана енергия за единица площ клас А, в автоматичен режим на управление по КЕО

Предложената класификация е подчинена на изискванията за оценка на енергийната ефективност на осветлението в сгради от хотелиерския сектор, заложи в Европейският стандарт EN 15193 [11]. Граничните стойности на LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) [kWh/m<sup>2</sup>/year] за този вид сгради са показани в таблица 3.

Таблица 3. Гранични стойности на LENI за хотели [11]

Вид сграда	Клас	P <sub>n</sub> , W/m <sup>2</sup>	t <sub>d</sub> , h	t <sub>n</sub> , h	F <sub>c</sub> <sup>1</sup>	F <sub>o</sub> , Man Auto		F <sub>d</sub> , Man Auto		Гранични стойности LENI, kWh/(m <sup>2</sup> /year)	
										Man	Auto (cte)
Hoteli	*	10	3000	2000	1/0,9	0,7	0,7	1	1	38,1	38,1
	**	20	3000	2000	1/0,9	0,7	0,7	1	1	72,1	72,1
	***	30	3000	2000	1/0,9	0,7	0,7	1	1	108,1	108,1

Забележка: t<sub>o</sub> = t<sub>n</sub>+t<sub>d</sub>, h са работните часове на сградата за една година. Останалите символи в таблицата означават:

- \* покриване на изискванията на EN12464-1
- \*\* добро покриване на изискванията на EN12464-1
- \*\*\* много добро покриване на изискванията на EN12464-1



<sup>1</sup> – не се поддържа постоянна осветеност на работното място /поддържа се постоянна осветеност

$P_n$  - инсталираната мощност за осветление в разглежданата зона (помещение);  $F_c$  - фактор, отнасящ се до използването на общата инсталирана мощност, когато системата за управление поддържа постоянна осветеност;  $t_d$  - работните часове, в които има наличност на естествена светлина;  $t_n$  - часовете от работното време, в които не е налична естествена светлина;  $F_o$  - фактор, който се отнася до използваемостта на общата инсталирана мощност към периода на присъствие в помещението;  $F_d$  - фактор, отнасящ се до общата инсталирана мощност за осветление, отнесена към наличността на естествена светлина в помещението;  $cte$  – автоматизирано управление на осветлението по ниво на осветеност

Тези гранични стойности за часовата използваемост на помещенията се отнасят за хотелите като цяло. Фойетата работят в денонощен режим на работа и приетите в табл.4 часове на работа не отговарят на действителните работни часове. Получените стойности за консумираната енергия за изчисления LENI посредством програмен продукт Dialux при задаване на предписаните стойности за работа на осветлението и 24 часова използваемост на помещението са дадени в таблица 5 (за най-ефективното изпълнение на уредбата). Като сравнение, при същите изходни условия са дадени и получените стойности при изчисляване на годишната консумация на енергия посредством предложената методика с програмен продукт eo.09 [12]. Резултатите от изчисленията годишната консумация на енергия за единица площ с двата програмни продукта се различават с 1,5%. Консумираната енергия при изчисления с типичните стойности, обаче, е почти два пъти по-ниска от тази при изчисления с действителните.

Таблица 4. Изчислени стойности на LENI за фойета, при изпълнение на уредбата с КЛЛ 1x13W

Вид сграда	Забележка	Клас	$P_n$ , W/m <sup>2</sup>	$t_d$ , h	$t_n$ , h	$F_c^1$ , Auto	$F_d$ , Auto	W, kWh/m <sup>2</sup> /year
								Auto (cte)
Хотел	$E_n$ 15193	*	10	3000	2000	0,9	1	38,10
	Изчислено с Dialux	*	8,05	3000	2000	0,9	1	34,00
	Изчислено с Dialux	*	8,05	5256	3504	0,9	1	59,76
	Изчислено с eo.09	*	8,05	5256	3504	-	-	58,67

Високите стойности на полученият LENI в този случай се дължат на заложените най-ниски стойности на наличие на естествена светлина. В таблица 5 са дадени резултатите за LENI при еднакви други условия и изменение единствено на проникването на естествена светлина.

Таблица 5. Сравнение при изчисляване на LENI с предписани в стандарта параметри на работа на уредбата за фойета и при действителни условия, при изпълнение на уредбата с КЛЛ 1x13W

Вид сграда	Забележка	Клас	$P_n$ , W/m <sup>2</sup>	$t_d$ , h	$t_n$ , h	$F_c^1$ , Auto	$F_d$ , Auto	W, kWh/m <sup>2</sup> /year
								Auto (cte)
Хотел	$E_n$ 15193	*	10	3000	2000	0,9	1	38,1
	Добро проникване на дневна светлина - $D_{c6\%}$	*	8,05	3000 / 5256	2000 / 3504	0,9	1	26,41/33,45



Средно добро проникване на дневна светлина - $6% > D_c \leq 4%$	*	8,05	3000 / 5256	2000 / 3504	0,9	1	27,65/35,61
Слабо проникване на дневна светлина - $4% > D_c \leq 2%$	*	8,05	3000 / 5256	2000 / 3504	0,9	1	28,73/37,51
Липса на проникване на дневна светлина - $D_c < 2%$	*	8,05	3000 / 5256	2000 / 3504	0,9	1	34,00/59,76

Забележка:

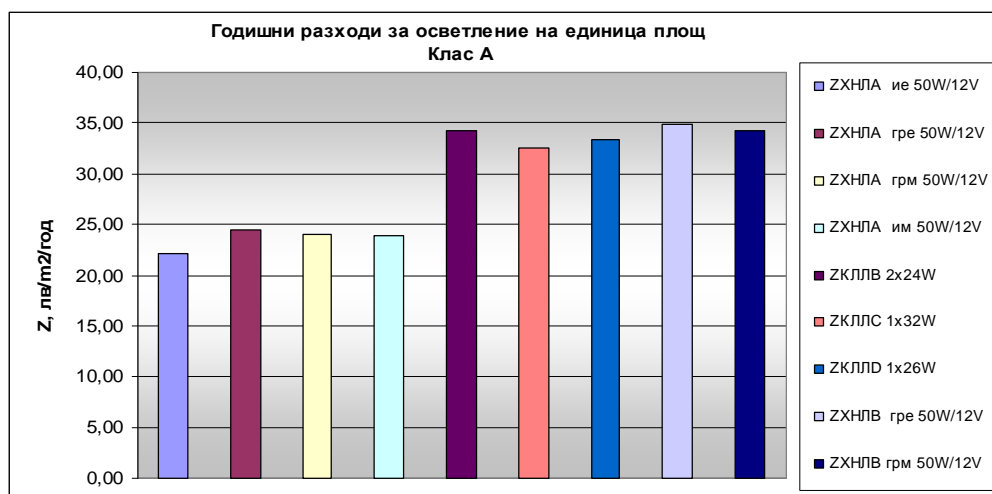
$D_c$  – фактор на дневната светлина за фасади без решетки и щори

Правилният избор на конкретното техническо решение се извършва чрез оценяване на разходите за осветление в годишен разрез. Ефективното решение, както навсякъде се получава като компромис между качество и цена. Скъпите решения в повечето случаи осигуряват по-издържано от техническа гледна точка решение и по-добро качество на осветлението, но те неминуемо са свързани с по-висока цена на разходите за осветление. Въз основа на получените резултати за годишната цена на осветлението за  $m^2$  и зададена нормена осветеност може да бъде предложена и класификация по критерий “годишни разходи за осветление на единица площ” (табл.6).

Таблица 6. Класификация на ОУ по критерий “годишни разходи за осветление за единица площ и нормена осветеност”, 200 lx (фойета)

Фойета (200lx)	
Клас по конс.	Год. От ... до лв/ $m^2$ /year/
A	22-35
B	35-48
C	48-61
D	61-81
E	81-111
F	111-151
G	Над 151

Стойностите за най-ефективните изпълнения на ОУ - клас А са показани на фиг. 3.





Фиг. 3. Годишни разходи за осветление за единица площ за клас А, при автоматичен режим на управление по КЕО (за 2009 г.)

Получените резултати дават основание да се направят следните констатации:

Ефективността на насочване на използваните светлинни източници при равни други условия е от определящо значение за инсталираната мощност за осветление на единица площ.

Въпреки по-ниският светлинен добив по отношение на КЛЛ, уредбите с ХНЛ също показват добри резултати, особено при осигуряване на подходящи експлоатационни условия на работа – използване на ПРА, осигуряваща плавен старт и необходимите работни параметри. При ниски стойности на изискваната осветеност все още е по-рентабилно използването на ХНЛ в комбинация с ПРА, осигуряваща по-дълъг живот и безпроблемна работа.

Стойностите на LENI, особено при управление по ниво на осветеност и интегриране на естествената светлина, в голяма степен зависят от архитектурното изпълнение на сградата.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постигането на ефективно осветление е комплексна задача. Енергийно-ефективните светлинни източници не винаги осигуряват изкуствено осветление на минимална цена. От определящо значение са както ефективността на насочване на светлинния поток към работната повърхност и използваната ПРА, така и режимът на управление на ОУ и интегрирането на естествената светлина. При добро проникване на естествена светлина и ниски стойности на изискваната осветеност (фоайета), разходите за изкуствено осветление при автоматичен режим на управление с контролери, недопускащи «забравено осветление») могат да се намалят значително.

Предложените класификации на осветителните уредби за фоайета ще послужат за оценка на съществуващи уредби при необходимост от реконструкция, като определянето на типа светлинен източник ще се направи не само на база икономия на енергия, а от годишната цена, която се плаща за изкуствено осветление на помещението. Скъпите решения трябва да се изплащат с икономията на енергия в рамките на 3-5 години, което е приблизително половината от живота на една осветителна уредба.

Категоричният отказ от ХНЛ за сметка на КЛЛ или светлодиодите за фоайета и рецепции на хотели не може да се приеме без внимателна преценка на влиянието, което ХНЛ оказват за комфорта в тези помещения. Това са помещения предимно на кота «улица» и през по-голямата част от годината - студени (с изключение на няколкото летни месеци). Заради голямата инфрачервена компонента на излъчвания от ХНЛ лъчист поток последните в повечето случаи спомагат за климатизацията на помещенията, отколкото да натоварват климатичната инсталация. Разширяването на направените частични изследвания от авторите в тази област, по всяка вероятност ще потвърдят това.

#### ЛИТЕРАТУРА

National Action Plan for Energy Efficiency Sector Collaborative on Energy Efficiency, Hotel Energy Use Profile - [http://www.epa.gov/RDEE/documents/sector-meeting/4bii\\_hotelenergy.pdf](http://www.epa.gov/RDEE/documents/sector-meeting/4bii_hotelenergy.pdf)

Good lighting for Hotels and Restaurants 11 - <http://www.licht.de>

Пачаманов А., Р Пачаманов. Метод за адаптивно управление на осветлението на пътни тунели. Патент №64452/28.02.2005 по заявка за изобретение №105872/03.09.2001

Пачаманов А. Енергоспестяване и осветителна техника (енергоефективно осветление). Издателство «Авангард-Прима», София 2007 (271 стр., ISBN 978-954-323-251-2).

Георгиев В., И. Петринска, „ Оценка на ефективността на системите за управление според разходите за осветление в обществени сгради”, XII Национална конференция по



осветление с международно участие Осветление' 2007, 10-12 Юни 2007, Варна, България, стр.126-131

Пачаманов А., Р. Пачаманов. Метод за управление на изкуствено осветление в сгради. Патент за изобретение, вх.№106331/21.01.2002 (август 2008, Патентно ведомство на Р. България)

Пачаманов А., Н. Янева. Сезонные изменения естественного освещения в районе Софии и возможности управления искусственным освещением в общественных зданиях, Светотехника №6/1997, с.31-35, Москва

Диканаров. Г, Ръководство за лабораторни упражнения по осветителна и инсталационна техника

Petrinska I., A. Pachamanov, "Energy Efficiency Classification of Lighting Systems in Public Buildings", ICEST'2009, May 25-27 2009, Veliko Tarnovo

Annex 2 "Working document on possible ecodesign requirements for general lighting Equipment"

EN 15193

Pachamanov A., [www.tunnellighting.com](http://www.tunnellighting.com)

БДС 8345-83

АВТОР:



1. Бак. инж. Камелия Тодорова Николова, редовен докторант в катедра "Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт", Технически университет – София, Лаб.12303, E-mail: [knikolova@tu-sofia.bg](mailto:knikolova@tu-sofia.bg)



## АСПЕКТИ НА ПРОМЕНИТЕ В УПРАВЛЕНИЕТО НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА СИСТЕМА, СВЪРЗАНИ С ДИРЕКТИВА 2009/72/ЕС И ПРОИЗТИЧАЩИ ОТ ТЯХ ВЪЗМОЖНОСТИ

Мария Кънева, Димо Стоилов

**Резюме:** С приемането на ЗЕ в България през 2003 г. е въведен нов пазарен модел. Едно от изискванията с най-голямо значение е да се осигурява регулиран достъп на трета страна до електрическите мрежи. То, както и перспективата за общ европейски пазар за електроенергия налагат да се изследват възможностите за ефективно използване на съществуващите електроенергийни съоръжения чрез въвеждане на нови за българската ЕЕС методи и/или технологии (като DSM, FACTS, др.). При това новите решения трябва да се разглеждат от гледна точка на пълните разходи за целия жизнен цикъл – както за производство и експлоатация, така и за извеждане от работа и за отражения върху околната среда.

### Увод

Директива 2009/72/ЕС [1] и Директива 2005/89/ЕС [2], които са основа за промените на управлението на ЕЕС в нашата страна, касаят общите правила за вътрешния пазар на електрическа енергия и целят отварянето му и подготовка на обединен пазар в Европа.

Първата от тях има за цел постигането на напълно отворен вътрешен пазар за електроенергия, който да осигурява на всеки потребител реален избор на доставчик и на всеки доставчик – право да захранва своите потребители.

Втората третира гарантирането на сигурността на електроснабдяването и инвестициите в инфраструктурата, което е изключително важно в съвременните условия, както ще покажем по-късно.

С приемането на ЗЕ в България през 2003 г. (публ.ДВ, бр.107 от 09.12.2003 г.) и измененията и допълненията му (ДВ, бр.59 от 20.07.2007 г.) е въведен нов пазарен модел. Дава се правото да се сключват сделки по свободно договорени цени между участниците в пазара. Останалата част от сделките са между други групи потребители по регулирани цени. Говори се за организиране на енергийна борса, която трябва да осигури прозрачност в търговията с електрическа енергия и еднакво третиране на всички участници. Осигурява се регулиран достъп на трета страна до електрическите мрежи. Така се заменя модела "единствен купувач". Въведоха се нови взаимоотношения, нови Правила на ДКЕВР през 2004 г. за работа на пазара и организация на енергетиката, а именно: Правила за условията и реда на достъп до ЕП и ЕР мрежи, Правила за управление на ЕЕС, Правила за търговия с електрическа енергия и др. Пак през 2004 бе регистриран първия график за доставяне на електроенергия при свободно договорени цени между АЕЦ "Козлодуй" ЕАД и "Юмикор Мед". От 1/07/2007 се либериализира пазарът за всички потребители (промишлени и битови).

### Как производителите и потребителите си взаимодействат на свободния пазар (в общ случай) и отнася ли се това за пазара на електроенергия

Пазарната цена (спот-цена) се определя като пресечна точка на кривите на търсенето и предлагането – фиг.1. При напълно конкурентен пазар отделният участник не може да влияе на цената. Това ще рече, че комбинираните действия на всички потребители и всички доставчици определят цената, наречена *пазарна клирингова цена* т.е. равновесната цена  $c_n$ , съответстваща на точката на пресичане на двете криви:

$$A(c_n) = B(c_n), \quad (1)$$

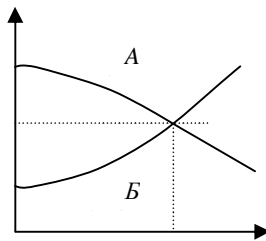
където





$A(u_p)$  - функция на обема на търсенето от цената  
 $B(u_p)$  е функция на обема на предлагането от цената

Теоретично тази цена съответства на максималния сумарен икономически ефект за всички участници в пазара (global welfare)[4] – постигане на максимално обществено благополучие.



Фиг.1 Криви на предлагането и потреблението

Определянето на реалната цена, на която един доставчик ще предложи дадена стока на пазара се влияе значително от *еластичността*. Еластичността на потреблението/предлагането (т.е. отношението на относителната промяна в обема на потреблението/ предлагането към относителната промяна на цената):

$$\varepsilon = \frac{\frac{dq}{q}}{\frac{du}{u}} = \frac{u}{q} \cdot \frac{dq}{du} \quad (2)$$

зависи от ценността на стоката за потребителя, от наличието на заместващи стоки и е различна за краткосрочни и дългосрочни периоди.

Опитът от изследвания в развитите страни показва, че потреблението намалява в отговор на краткосрочното увеличаване на цената, но този ефект е относително малък – т.е. еластичността на цената на електроенергията е малка (т.е. на диаграмата “цена – количество” на фиг.1 наклонът на кривата на потреблението  $A(u_p)$  е много голям) [4].

Това е така когато са налице следните социални фактори:

1) Цената на електрическата енергия да е малка част от общата цена на промишлените стоки, както и от разходите в едно домакинство. В същото време електрическата енергия е незаменима за производството, както и за много от нуждите на съвременното домакинство.

2) От началото на масовото приложение на електроенергията тя е считана за лесна за използване и винаги достъпна, нещо широко прието и днес.

В България, обаче, цената на електроенергията е значителна част от разходите за едно домакинство, както и от цената на промишленото производство. Така първият от горните два фактора не може да се приеме за верен априори и следва да се подложи на анализ преди да се инициират промени в цената на електроенергията.

### Особености на пазара на електроенергия

Пазарът на електрическа енергия е много различен от този на другите стоки. Физическите процеси в ЕЕС са много по-бързи от всеки пазар. Балансът на генерацията и потреблението на електроенергията трябва да се поддържа, независимо от цената и не пазарът е този, който осигурява това.

Освен това произведената от един генератор енергия не може да се отправи към конкретен потребител според съществуващ между двете страни договор. Произведената от всички генератори електроенергия се влива в общи потоци, които текат не според търговските договори, а според законите на физиката. Това обединяване, както е известно на всеки електроинженер, носи редица икономически и функционални предимства.



Прекъсванията на електрозахранването засягат много консуматори, а понякога и всички, не само страните по конкретен договор.

Друга особеност на електроенергийната консумация е цикличното ѝ изменение и свързаните с това значителни резки и трудно прогнозируеми изменения на маргиналната цена и съответно спот-цената, нещо, което също е уникално.

Небалансът между генерацията и потреблението не може да бъде коригиран чрез познатия традиционен пазарен механизъм. На един идеален пазар големите потребители (или крайните снабдители) купуват електроенергия от производителите като преценяват колко да е тя чрез предвиждане на своята консумация (или тази на своите клиенти) за всеки пазарен период (ден, час,  $\frac{1}{2}$  час,  $\frac{1}{4}$  час) преди да сключат договор. От своя страна производителите планират производството, като се опитват да минимизират неговите разходи така че да осигурят енергията, за която са ангажирани и да максимизират печалбата си

Нито една от тези две страни, обаче, не може да изпълни абсолютно точно задълженията си според графика на доставки и потребление (получен като резултат на сделките) и няма техническа система, която би могла да осигури стриктното му ежемоментно спазване. А вероятно не би имало не само поради технически затруднения, а и поради икономическа нецелесъобразност.

Изводът е, че един традиционен отворен пазар не може сам да осигури надеждна и непрекъсната работа на ЕЕС. Той трябва да се допълни от регулиран спот-пазар, който осигурява този баланс в значително по-близки моменти до времето на фактическо изпълнение на договорите. Този процес предполага наличието на генератори, които гъвкаво реагират, а също на потребители, които биха могли и искали да изменят потреблението си. Допълнителни затруднения възникват от редица технически проблеми, които предизвикват непредвидени намаления или дори изключвания на големи генериращи мощности. Неизпълнението на поетите задължения по договори, разбира се, не бива да бъде без икономически последствия. И производителите, и потребителите трябва да заплатят действителните разходи по купуване и продаване на електроенергията на спот-пазара, с които се осигурява баланса.

Докато отвореният свободен пазар на електрическа енергия е много близък до този на другите промишлени стоки, то регулирания спот-пазар е много специфичен.

### **Пазар на електроенергията в България**

Вътрешният пазар на електроенергия у нас сега е изграден по модела двустранни договори с балансиращ пазар, т.е. на този етап съществуват едновременно два паралелно работещи сегмента на пазара – пазар с регулирани цени и пазар при свободно договорени цени. Разликите между тях са главно във формиране цените на електроенергията, срока на договорирането им (за месец при регулираните и почасови стойности - при свободните договори), заплащане на цената за пренос, достъп и разпределение.

Съгласно ЗЕ малките предприятия (с персонал до 50 души и годишен оборот до 19,5 млн.лв) и битовите потребители, които не са се възползвали от правото си за избор на доставчик са защитени потребители. За тях снабдяването с електроенергия е всеобщо предлагана услуга (всеобщо предлагана услуга е транспортирането, доставката или снабдяването с електрическа енергия с определено качество, регулирана цена и договорени други условия, която не може да бъде отказвана по причини, непосочени в закона), която се предоставя при условия на равнопоставеност. Основно положение е, че защитата на потребителите е главен аспект в работата на регулатора.

Основни участници – продавачи на пазара на двустранни договори това са кондензационните централи. Те могат да сключват договори в рамките на квоти, определяни от ДКЕВР. В частта от пазара със свободно договаряни цени участват потребители, отговарящи на условията, описани в Правилата за достъп [5].



Производителите с напълно освободена разполагаемост (ВЕЦ, ТФЕЦ, електроцентрали на ВЕИ) обикновено продават електроенергията само на Обществения Доставчик и/или на Крайните Снабдители. Те не са заинтересовани икономически да продават на пазара със свободно договорени цени. Общественият Доставчик е основен участник на пазара на балансираща енергия. Нейната цена се определя предимно от регулираните цени.

В бъдеще ще се предприемат редица стъпки към синхронизиране на развитието на българския пазар с тези в другите европейски страни, обединяване на регионална основа, а на последващ етап и с европейския енергиен пазар.

Настоящата организация на управлението на ЕЕС има редица особености. Една от тях е управление на междусистемния обмен от страна на Системния Оператор, който разпределя търговските права за пренос на базата на пропускателните способности по междусистемните връзки [6]. Разширяването на пазарните възможности е пряко свързано с наличните преносни способности на тези връзки. Бъдещото развитие на общ отворен европейски пазар налага да се обърне сериозно внимание и да се изследват възможностите за увеличаване преносните способности на тези връзки преди да се мисли за изграждането на нови. А това неминуемо ще се наложи дори и само поради изискването на Директива 2009/72 да не може да се отказва правото на достъп до електропреносната мрежа на трети страни. Това не е единственият проблем. Съществуват и други нерешени въпроси [8].

### **Проблеми и възможности**

Какви са възможностите в отговор на настоящите и предстоящите промени.

А) В отговор на изискванията на Директива 2009/72 най-сериозни са предизвикателствата пред структурирането и новата организация на функциониране на управлението на ЕЕС. В пазарни условия то е свързано със закупуване на спомагателни услуги от производителите и осигуряване на системните услуги които гарантират изпълнението на основната задача на ЕЕС - надеждното и качествено електроснабдяване на потребителите. Важно е как ще бъде организиран и какви ще бъдат основните принципи на работа на пазара на спомагателните услуги (участие в регулирането на честотата – първично, вторично и третично, участие в регулирането на напрежението, участие при възстановяване на системата след сериозна авария чрез осигуряване стартиране без помощта на външен източник и доставка на студен резерв) – кои ще бъдат задължителните и кои потенциалните участници в този пазар.

Засега след преструктурирането на НЕК спомагателните услуги и студеният резерв се осигуряват от ЕСО и се включват в цената за достъп, която подлежи на регулиране от ДКЕВР. Въпросът с цената на тези услуги е деликатен и трябва да се решава справедливо от гледна точка на всички потребители и всички участници на пазара [7].

Едновременно с промените в управлението и принципите на функциониране на нашата национална ЕЕС текат аналогични промени и на европейско ниво. Променя се организацията на управлението и принципите на работа на обединената европейска ЕЕС – създаде се и постепенно се структурира ENTSO-E [3].

Б) В ерата на дерегулацията се възражда интересът към методите на DSM (demand side management) – управление на потреблението по обем и/или време от страна на ЕЕС. Съществуват различни методи и всеки от тях може да даде отговор на някои от възможните ситуации, без да бъде универсално приложим (т.е. подходящ за всеки възможен случай) [9]. Различните методи могат да се приложат в зависимост от сезона и от особеностите на конкретната ЕЕС. Прилагането на методите е задача която трябва да бъде така обмислена и приложена, че крайният резултат да е оптимален както за електроенергийното предприятие, така и за потребителя. Методите от една страна осигуряват пропорционалност между възможностите на потребителите за икономия на енергия и от друга страна - икономичност и сигурност на електрозахранването. Те също така приспособяват



възможностите на модерните енергийни технологии в ЕЕС към отделните консуматори. Предлагани като услуги от разпределителните дружества те ще са важна част от увеличаването на ползата за консуматорите в условията на дерегулацията. Управлението на потреблението в сравнение с класическата енергетика няма дълги периоди на изграждане и средствата започват да се възстановяват веднага след влагането им. Това създава възможност да се използват схеми на финансиране с начални инвестиции около 1/3 от общите и последващо самофинансиране от възвърнати начални средства, което създава условия за включване на по-голям кръг потребители в проектите по методи за управление на потреблението на електрическа енергия с икономически средства.

В) Решенията, които се вземат за нови технологии, ново оборудване или инвестиционни проекти трябва непременно да се разглеждат в светлината на разходите за целия им жизнен цикъл. Обичайно е новите технологии да струват повече, за производството на новото оборудване да се изразходва повече енергия и/или повече материали или по-скъпоструващи такива. Така новите решения не бива да се приемат без това да се отчете и те да се обосноват след задълбочени изчисления. В последните трябва да се включват както разходите за производство и експлоатация, така и тези, които са свързани с извеждане от работа, разрушаване, съхранение на евентуални твърди или течни отпадъци и влиянието им върху околната среда. Например в тази връзка на първо място интерес представлява приложението на съвременни устройства каквито са раличните видове FACTS. Приложението им дава редица предимства при решаването на някои проблеми [10] като:

- ◆ преразпределение на мощностните потоци в сложно преплетените електрически мрежи по такъв начин, че да се използват най-ефективно електропреносните линии;
- ◆ намаляване загубите при преноса,
- ◆ подобряване устойчивостта на системата,
- ◆ регулиране профила на напрежението при различни режими на работа на ЕЕС и др.

От гледна точка на функциониране на пазара FACTS допринасят за гъвкаво управление на междусистемните потоци от мощност и така осигуряват точното изпълнение на договорените доставки и подобряване качеството на преходните процеси. Вероятно FACTS ще бъдат по-полезни в гъсто населените европейски страни, където многобройни електрически мрежи са разположени върху ограничена територия и постояването на нови линии е немислимо, макар и нужно.

В управлението на ЕЕС в новите условия има и предстоят още редица промени, част от които сигурно ще бъдат разгледани в следващи статии и доклади. За тях тепърва ще се говори, ще бъдат обсъждани, решавани и пререшавани. Някои от тях са: формиране балансиращи групи, организация на “пазара за следващия ден”, въвеждане на система от стандартни товари графици (профили) “за следващия ден”. Усъвършенства се на организацията на пазара изисква преоценка на периода на сетълмент, известяване на почасови графици и други промени.

### **Заклучение**

От юли 2009 година престана да съществува UCTE като нейните дейности и отговорности се прехвърлиха на още по-мощната организация ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity), обединяваща 42 оператори от 34 страни и заменяща досега опериращите в Европа обединения ATSOI, BALTSO, ETSO, NORDEL, UCTE и UKTSOA. Целите, които ENTSO-E си поставя са: сигурност, устойчиво развитие, взаимосвързаност на участниците в нея (Reliable. Sustainable. Connected) [3]. Промените, които предстоят и в България са огромни и изискват много усилия, както от



страна на хората, заети с управлението на ЕЕС, така и на хората, изучаващи проблемите на жизненоважната и сложна електроенергийна система.

Литература:

1. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0055:0093:EN:PDF>
2. [http://www.energy.eu/directives/l\\_03320060204en00220027.pdf](http://www.energy.eu/directives/l_03320060204en00220027.pdf)
3. <http://www.entsoe.eu/>
4. Daniel Kirschen, Goran Strbac, Fundamentals of Power System Economics, John Wiley & Sons, Ltd, 2006
5. <http://www.dker.bg/rules.htm>
6. <http://www.tso.bg/default.aspx/prenosni-sposobnosti/bg>
7. Стоилов Д. Г., Справедливо разпределяне на разходите за спомагателни и системни услуги при освободен пазар на електроенергия, Списание Енергетика, брой 7, 2006г., стр. 20-25.
8. Services publics en concurrence, dossier No 28 réuni par Jean-Pierre Chamoux, Hiver, 1995
9. Мария Океке, Дипломна работа за маг.инж. на тема " Методи за управление на потреблението от страна на ЕЕС", дипл.ръководител М.Кънева, 2008 г.
10. Петко Нотов, Марин Боцов, Технологиите FACTS в електроенергийната система на България, сп. "Енергетика", #1, 2005

Автори:

Мария Кънева, доцент, д-р, катедра "Електроенергетика"

Димо Стоилов, доцент, д-р, катедра "Електроенергетика"

**ПОСТОЯННОТОКОВ ЦИФРОВ АМПЕРМЕТЪР ЗА ЛАБОРАТОРНИ СТЕНДОВЕ**

Иван Ангелов

При изграждане на нови лабораторни стендове или модернизиранието на стари такива се налага измерване на постоянен ток посредством шунт включен във веригата [1]. Към него се свързва подходяща измервателна система със скала съответстваща на параметрите на шунта. Такива системи се намират трудно и са сравнително скъпи. На пазара има много видове цифрови измервателни модули за напрежение – монтаж на панел и с ниска цена. Целта на настоящата работа е да се преустрои цифров волтметър за панелен монтаж в амперметър с шунт.

**ЦИФРОВ ПАНЕЛЕН УРЕД**

От търговската мрежа бе закупен подходящ по размери модул за монтаж на панел. Външният вид на модула е показан на фигура 1. Моделът на уреда е UP5035-1 и е с течнокристален дисплей.

Параметри:



Размери – 78x44x25mm;  
Височина на цифрите – 13mm;  
Захранване – 9V DC и консумация около 1mA;  
Максимално входно напрежение 199.9mV DC;  
Автоматичен индикатор за полярност;  
Опорно напрежение – 100mV;

Фиг.1

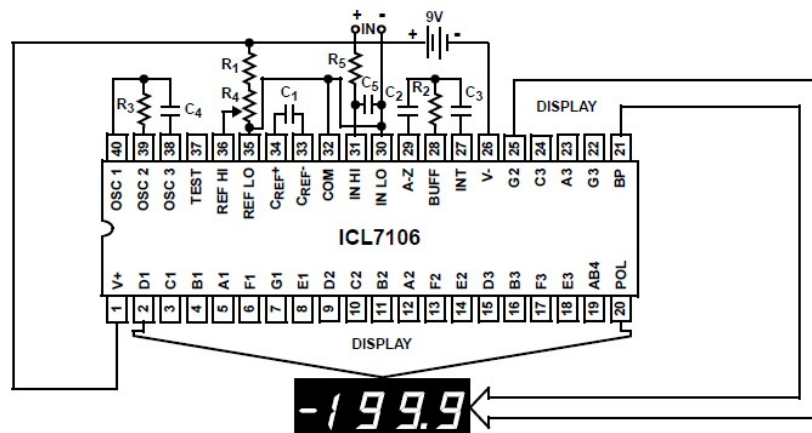
Точност -  $\pm 0.5\%$ ;

Време на реакция – 2 ÷ 3 измервания в секунда;

Входен импеданс – 100M $\Omega$ ;

Преобразователя е изпълнен на базата на интегрална схема ICL7106 на фирмата Intersil [2]. Това е 3 и  $\frac{1}{2}$  разряден аналогово – цифров преобразувател за течнокристален дисплей. В себе си включва седемсегментен декодер, драйвер за дисплея, опорно напрежение и тактов генератор. Има автоматично нулиране и ниска чувствителност към шумове.

На фигура 2 е показана типичната схема на свързване на ICL7106.



Фиг.2

Аналогово – цифровото преобразуване е на принципа на двойното интегриране.



## ПРЕРАБОТКА НА УРЕДА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ТОК С ШУНТ

По стандарт спада на напрежение върху шунт, при номинален ток е 60mV. От тук следва, че уреда трябва да показва номиналния ток през шунта при наличие на входа му на напрежение 60mV. Използван е шунт за номинален ток 150A. При него показанието на дисплея трябва да бъде 150.0 единици.

От данните за преобразувателя [2], показанието на дисплея е

$$/1/ \quad DCOUNT = 1000 \left( \frac{V_{IN}}{V_{REF}} \right)$$

където: DCOUNT е числото показвано на дисплея;  $V_{IN}$  – входното напрежение а  $V_{REF}$  – опорното напрежение на преобразувателя.

При нормалната работа на преобразувателя като волтметър опорното напрежение е 100mV. При максимално входно напрежение 199.9mV на дисплея ще се показват 1999 единици. Ако се показва десетичната точка преди последния знак показанието ще бъде 199.9, което съответства на входното напрежение в миливолти.

При шунт за 150A на входа на преобразувателя ще има напрежение 60.0mV. За да работи като амперметър на дисплея трябва да се показват 1500 единици, и с десетична точка пред последната цифра числото трябва да бъде 150.0.

Имаме като задание  $DCOUNT = 1500$ ;  $V_{IN} = 60.0mV$  и трябва да се намери опорното напрежение, което трябва да има преобразувателя. От /1/ намираме:

$$/2/ \quad V_{REF} = \frac{1000 \times V_{IN}}{DCOUNT}$$

След заместване в /2/ за необходимото опорно напрежение се получава:

$$V_{REF} = \frac{1000 \times 60.0}{1500} = 40.0mV$$

Модула волтметър се преработва, като се променя стойността на резистор R1 (Фигура 2) и се пренастройва опорното напрежение на 40mV с помощта на тримера R4. При свързване на пренастроеният преобразувател към шунт с номинален ток 150A, числото на дисплея ще показва тока през шунта в диапазона  $\pm 0.0$  до 150.0A.

По аналогичен начин може да се пресметне опорното напрежение за шунтове с друг номинален ток или за шунтове по руския стандарт със спад на напрежение 75mV.

В таблица 1 са показани необходимите стойности на опорното напрежение за шунтове с различен номинален ток при спад на напрежение 60mV или 75mV.

Таблица 1

$I_{NOM}$ A	$V_{IN}$ mV	$V_{REF}$ mV	Показание Единици	Показание число
50	60	120	500	50.0
100	60	60	1000	100.0
150	60	40	1500	150.0
200	60	30	1999	199.9
50	75	150	500	50.0
100	75	75	1000	100.0
150	75	50	1500	150.0
200	75	37.5	1999	199.9

Трябва да се показва десетичната точка преди последната цифра на дисплея, за да съответстват показанията (в ампера) на тока през шунта.

Ако работните токове на шунтовете са на порядък по-големи, 500 – 2000А, също могат да се показват като не се включва десетичната точка на дисплея. Но такива стойности на токове за лабораторни постановки са малко вероятни.

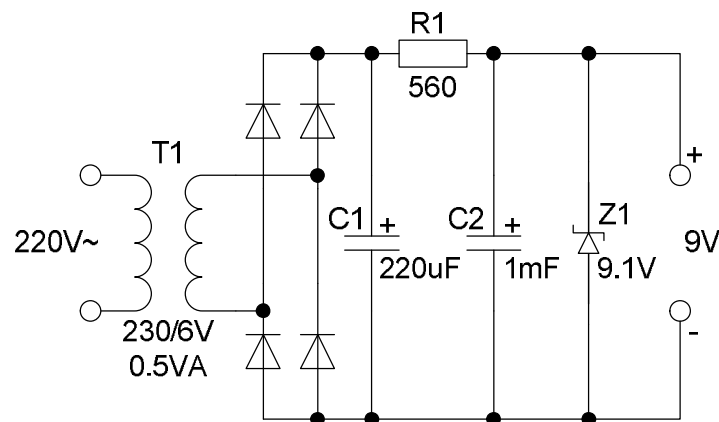
# ОСОБЕННОСТИ: При работа със шунт 50А се използва малка част от диапазона на преобразувателя. При шунт 200А ще се измерват токове до 199.9А. След това преобразувателя ще показва препълване.

Ако се работи с шунт за ток 150А, и се допусне кратковременно претоварване на шунта, то може да се измерват токове до 199.9А. Разбира се, че времето за претоварване трябва да е по - малко от времето за прегряване на шунта.

#### ЗАХРАНВАНЕ НА ПРЕОБРАЗУВАТЕЛЯ

Един вариант за захранване е да се използва галванична батерия с напрежение 9V тип 6F22. Но за всеки преобразувател е необходима отделна батерия и изключвател на захранването. Освен това е необходимо периодично да се подменят батериите.

По – удачен вариант, за лабораторни стендове, е за всеки преобразувател да се направи захранващ източник от електрическата мрежа 220V. Такъв захранващ източник трябва да е с максимално опростена схема, достъпни елементи и лесен за повторение. Силовата схема на такъв захранващ източник е показана на фигура 4. Използван е маломощен трансформатор, изправител, кондензаторен филтър и параметричен стабилизатор на 9V.



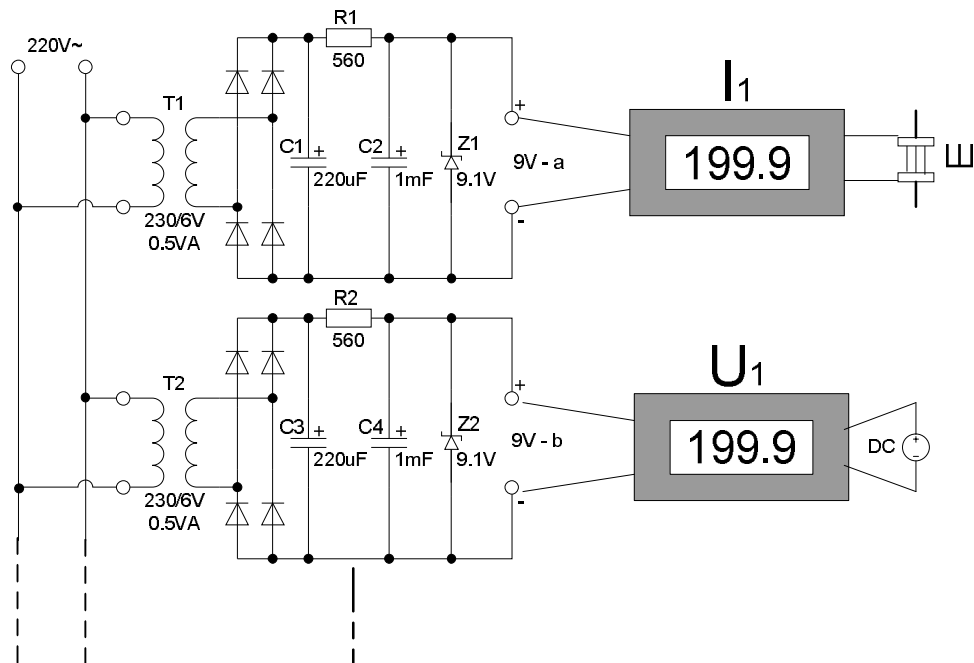
Фиг.4

Ако има нужда да се измерва в повече от една верига ток или напрежение, трябва отделните преобразуватели да са изолирани един от друг по веригата на захранване. Съответно захранващите ги източници не могат да имат галванична връзка помежду си. По схемата на фигура 4 могат да се използват много на брой захранващи източници работещи в паралел към захранващата мрежа (страна 220V~ на трансформаторите). Вариант с два или повече преобразувателя е показан на фигура 5. Тогава изходите им са галванично изолирани от захранващата мрежа и помежду си.

На фигура 5 са показани два преобразувателя. Единият е преработен за амперметър, а вторият си е в стандартното изпълнение – волтметър. По този начин с един и същи тип преобразуватели се измерват ток и напрежение на един стенд. Използването на еднакви по вид преобразуватели (измервателни уреди) улеснява студентите при отчитане на резултатите по време на упражненията.

Измервателните преобразуватели могат да се захранват от отделна верига или от захранването на стенда. При втория случай ще се включват с подаване на захранващо напрежение към лабораторния стенд. При изключване захранването на стенда съответно ще се изключват и уредите.





Фиг.5

**ИЗВОДИ**

По гореописаната методика се получава измервателен преобразувател за ток, който е евтин, измерва достатъчно точно и е лесен за отчитане на показанията.

Лесно се мултиплицира за измерване в повече вериги или стендове. Не е необходимо да се пресвързва от един шунт към друг при промяна на цикъла упражнения.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Матраков Б. И. Електрически измервания, С., Изд-во на ТУ.
2. Intersil datasheet, Преобразувател ICL7106, <http://www.intersil.com/>

## ФОТОВОЛТАИЧНА СИСТЕМА ЗА РАЙОННО ОСВЕТЛЕНИЕ

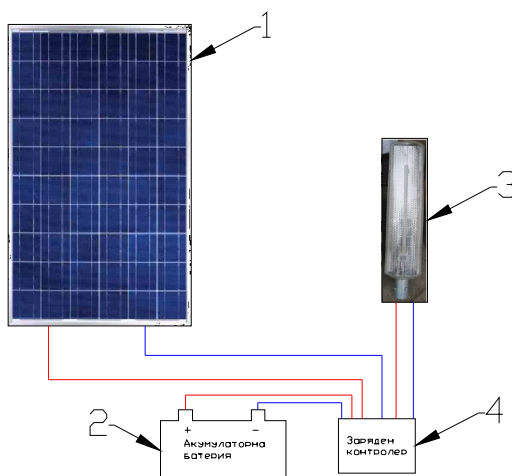
Мирослав Петков

В настоящия доклад са представени основните етапи от измерването на елементите на автономна фотоволтаична система за районно осветление. Определени са параметрите на фотоволтаичния генератор (PV модул), акумулаторна батерия, осветително тяло и светлинен източник, като е избран и подходящ контролер за управление на работата на системата.

Анализиран са данните за период от една година от работата на системата.

### I. Въведение

Едно от приложенията на автономните фотоволтаични (PV) системи, използващи директното преобразуване на слънчевата светлина в електрическа енергия, са системите за осветление. Това е много подходящо решение за осигуряване на осветление на места отдалечени от електроразпределителната мрежа, като например кръстовища, автобусни спирки, работни бази и др.



Фиг. 1 Блок схема

Основните елементи изграждащи една системата за осветление са: PV генератор, акумулаторна батерия, светлинен източник и зарядният контролер. Добрите контролери са специално разработени за целта микропроцесорни устройства, които управляват процесите на зареждане и разреждане на акумулаторната батерия и могат да бъдат програмирани за включване и изключване на осветителния товар през денонощието.

### II. Определяне на основните параметри на автономна фотоволтаична система за улично (районно) осветление.

#### 1. Светлотехнически изчисления. Избор на осветител.

За избор на осветител е използван софтуерният продукт Calculux на фирма "Philips", като на фигурите по-долу са показани резултатите от изчисленията.



### 2.3 Project Luminaires

Code	Qty	Luminaire Type	Lamp Type	Power (W)	Flux (lm)
A	7	FGS104	1 * PL-L36W	44.1	1 * 2900

The total installed power: 0.31 (kWatt)

Number of Luminaires Per Arrangement:

Arrangement	Luminaire Code	Power (kWatt)
Line	A 7	0.31

### 2.4 Calculation Results

(II) Illuminance Calculations:

Calculation	Type	Unit	Ave	Mini	Ave	Min/Max
General	Surface Illuminance	lux	5.61	0.00	0.00	

Фиг. 2а

## 3. Calculation Results

### 3.1 General: Textual Table

Grid : General at Z = -0.00 m  
 Calculation : Surface Illuminance (lux)

X (m)	-2.50	0.00	2.50	
Y (m)	60.00	0.00	11.6	5.0
	40.00	0.00	11.8	5.1
	20.00	0.00	11.8	5.1
	0.00	0.00	11.8	5.1
	-20.00	0.00	11.8	5.1
	-40.00	0.00	11.8	5.1
	-60.00	0.00	11.6	5.0

Фиг. 2б

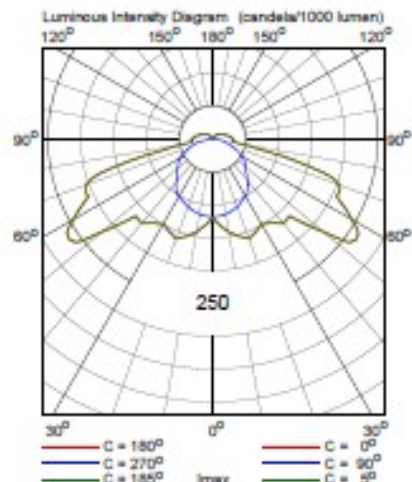
## 4. Luminaire Details

### 4.1 Project Luminaires

FGS 103/104/105 FGS104 1xPL-L36W/840



Light output ratios	
DLOR	: 0.73
ULOR	: 0.05
TLOR	: 0.78
Ballast	: Standard
Lamp flux	: 2900 lm
Luminaire wattage	: 44.1 W
Measurement code	: D409000000





Фиг. 2в

**2. Определяне на пиковата мощност на PV генератора.**

В случаите когато системата се оразмерява за захранване на определен товар, нейната мощност се съобразява с консумацията на товара[1].

$$P_{\max} = \frac{E.S}{G.K_{TK}.K_3} \quad [1],$$

където:

E – средната мощност изисквана от консуматора за денонощие [kWh/d]

G – плътност на слънчевата радиация [kWh/m<sup>2</sup>.d]

S – стандартна стойност на слънчевата радиация = 1[kW/m<sup>2</sup>]

K<sub>TK</sub> – коефициента на температурна корекция (за октомври = 0,82). Този коефициент се прилага тъй-като температурата на соларните клетки е по-висока – средно с около 25°C – от тази на околната среда.

K<sub>3</sub> – коефициента на замърсяване от прах (0,9 – 0,95).

За определяне най-малката пикова мощност на PV генератора трябва да бъде отчетена ефективността и на другите елементи в системата:

заряден контролер – 95%

акумулаторна батерия – 85%

инвертор (в случай на променливотоков товар) – 90%

$\eta = 0,95 * 0,85 = 0,81$

$$P'_{\max} = \frac{P_{\max}}{h} \quad [2]$$

**Табл.2 Мощности на PV генератора за първите и последните четири месеца от годината.**

Вариант No:	Тип консуматор [консуматори]	Консумирана енергия денонощие[kWh] за	Изчислена мощност на PV генератора [kW]			
			. I M	. II M	III M.	IV M.
1	1 x Л.Л.	0,288	0,207	0,125	0,105	0,081
			. IX M	. X M	XI M.	XII M.
1	1 x Л.Л.	0,288	0,073	0,093	0,173	0,216

Както се вижда, най-голяма мощност на PV генератора, за задоволяване на товара, е необходима през месеците Ноември, Декември и Януари.

**3. Дефиниране на ъгъла на наклон и ориентацията на фотоволтаичните модули.**

Препоръчителният ъгъл на наклон за стационарно монтирани модули за територията на България е 30°.

Работната повърхност на модула трябва да е насочена в посока юг.

**4. Определяне капацитета на акумулаторната батерия**

При определяне капацитета на акумулаторната батерия се вземат под внимание три основни параметъра:



- работно напрежение [V]
  - дълбочина на разряд – изразява процентно изчерпаният капацитете като част от общият капацитет на батерията.
  - n - брой последователни дни при отсъствие на заряд.
- Енергията която трябва да акумулира батерията  $E_{BAT}$  при известен товар E ще бъде:

$$E_{BAT} = E \cdot n \text{ [Wh]} \quad [3]$$

Номиналният капацитет на акумулаторната батерия се определя като:

$$C = \frac{E_{BAT}}{h \cdot b \cdot V} \quad [4],$$

където:  $\eta$  – к.п.д. на батерията = 0,85

$\beta$  – дълбочина на разреждане = 0,5

V – номинално напрежение на батерията [V]

**Табл.3 Капацитет на акумулаторната батерия.**

Вариант No:	Тип консуматор [консуматори]	Консумирана енергия за денонощие[kWh]	Капацитет на А. Б. [Ah]		Работно напрежение [V]
			n= 5	n=3	
<b>Автономна система</b>					
1	1 x Л.Л. 36 W	0,288	<b>282,35</b>	<b>169,41</b>	12

### 5. Избор на контролер на заряд/разряд

Този контролер е устройството, което осигурява надеждността и продължителността на работа на акумулаторните батерии. Неговите основни функции включват: 1) защита от презареждане – изключва PV генератора при напълно заредена батерия; 2) защита от дълбок разряд – изключва товара при разрежда на акумулатора под зададена степен на разряд.

Изборът му се осъществява по номинални параметри – работно напрежение и ток.

### 6. Реализирана система за районно осветление на територията на производствена база на „Енемона” АД



Фиг. 3

### III. Анализ на резултатите от измерванията.

Резултатите от измерването на основните параметри на системата са представени таблично и графично. За нуждите на анализа са използвани данните съхранявани в контролера на стълб 4, както и измерените стойности на слънчевата радиация.

!	<p><b>Сравняваните параметри са:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Производителност на PV модулите [Ah респективно Wh]</li> <li>- Количество слънчева радиация измерена на място [<math>Wh/m^2</math>.ден]</li> <li>- Консумирана енергия от товара [Ah]</li> <li>- Ефективност на преобразуване на модулите – изразява съотношението между количеството слънчева радиация и произведената електрическа енергия от модулите за единица площ [%].</li> </ul>
---	--

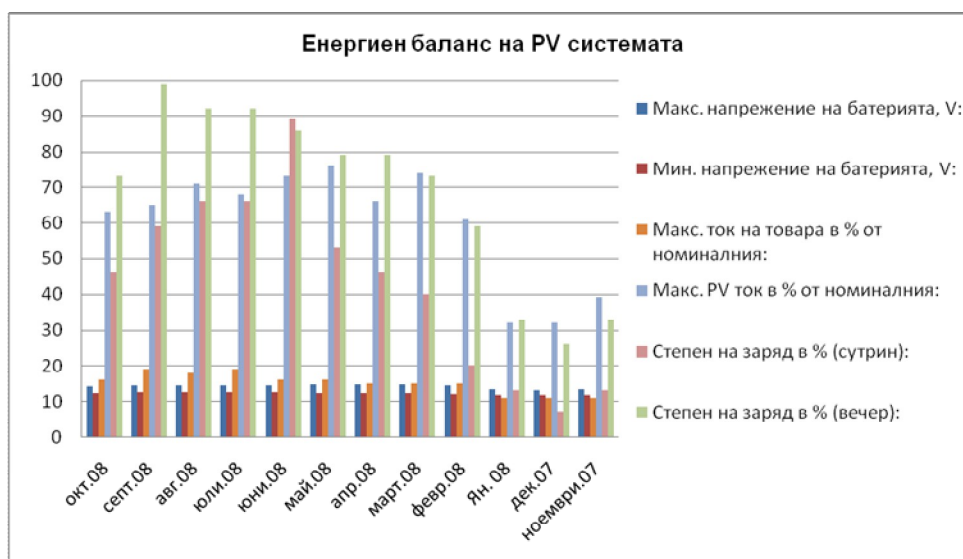
Таблица 4. Годишен анализ

Месец:	Окт. 08	Септ. 08	Авг. 08	Юли 08	Юни 08	Май 08	Апр. 08	Март 08	Февр. 08	Ян. 08	Дек. 07	Ноем. 07
Макс. напрежение на батерията, V:	14	14,4	14,4	14,4	14,5	14,7	14,6	14,6	14,4	13,3	13	13,4
Мин. напрежение на батерията, V:	12,2	12,4	12,4	12,5	12,4	12,3	12,2	12,2	11,9	11,8	11,8	11,8
PV, Ah:	510	465	403	403	390	341	360	420	464	279	279	360
Товар, Ah:	510	527	434	403	390	310	330	390	406	248	248	330

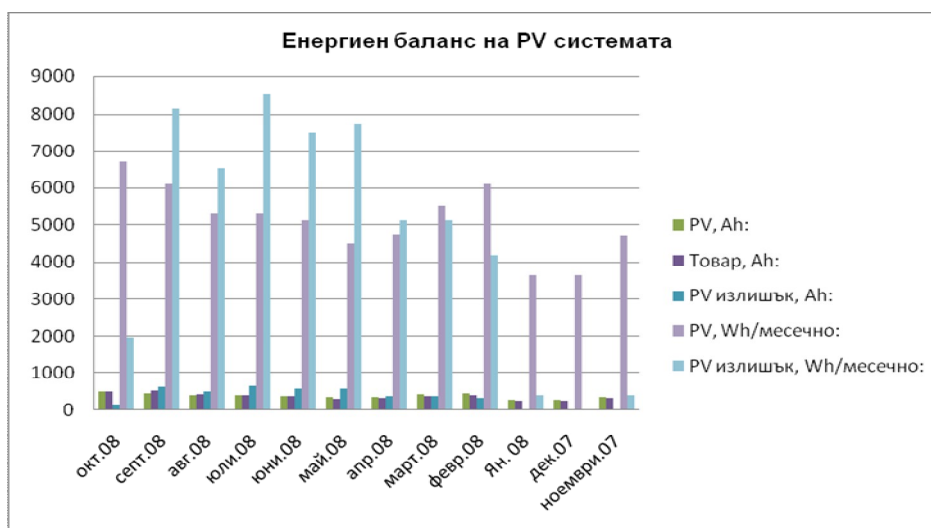


<b>PV излишък, Ah:</b>	150	620	496	651	570	589	390	390	319	31	0	30
<b>Макс. ток на товара в % от номиналния:</b>	16	19	18	19	16	16	15	15	15	11	11	11
<b>Макс. PV ток в % от номиналния:</b>	63	65	71	68	73	76	66	74	61	32	32	39
<b>Степен на заряд в % (сутрин):</b>	46	59	66	66	89	53	46	40	20	13	7	13
<b>Степен на заряд в % (вечер):</b>	73	99	92	92	86	79	79	73	59	33	26	33
<b>PV, Wh/месечно:</b>	6701,4	6110,1	5295,42	5295,42	5124,6	4480,74	4730,4	5518,8	6096,96	3666,06	3666,06	4703,40
<b>PV излишък, Wh/месечно:</b>	1971,0	8146,8	6517,44	8554,14	7489,8	7739,46	5124,6	5124,6	4191,66	407,34	0	394,20

Анализът е за период: Ноември 2007 - Октомври 2008



Фиг. 4а Годишно изменение на параметрите на системата



Фиг. 4б Годишно изменение на параметрите на системата



**Измерената годишна сума на слънчевата радиация е 1270.73 kWh/m<sup>2</sup>**

**Изчислената ефективност на преобразуване на модула 10,85 %**

#### **IV. Изводи**

Представените резултати обхващат 12 месечен период - от месец Ноември 2007 до месец Октомври 2008.

От резултатите могат да се направят следните изводи:

- В четири от изследваните месеци имаме недостиг на енергия, който се изразява в прекъсване на осветлението. Месеците през които има недостиг са: Ноември 2007, Декември 2007, Януари 2008, Февруари 2008.

- През 385 дни работа на системите (Системата работи повече от една година, но се съхраняват данни за последните 12 месеца) имаме 61 прекъсвания на осветлението поради понижена степен на заряд и 5 седмици с непълно зареждане на батериите. Броят на прекъсванията на захранването на осветлението не означава пълна липса на такова през цялата нощ, а означава че осветлението не е работило през цялото зададено време;

- През месеците от Март 2008 до Октомври 2008 произведеното количество енергия е достатъчно и дори надхвърля необходимото за захранване на товара;

- Изчислената ефективност на преобразуване на система монтирана на стълб 4 е 10,85 %.

#### **Литература:**

1. V. K. Sharma, A. Colangelo, G. Spagna and G. Cornaccia, "Design Methodology and Experimental Evaluation of Some Photovoltaic Water Pumping Systems", REPIC International Energy Journal, vol. 17, №2, December, 1995

Маг. Инж. Мирослав Богданов Петков

„Енемона” АД

Тел: 0889 242256

e-mail: [miroslav.petkov@enemona.com](mailto:miroslav.petkov@enemona.com)





## ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИНСТАЛАЦИИ

Захари Иванов

*Всеки от нас желае да създаде максимален комфорт, сигурност на уредите и да подобри качеството на живота си. Създадена е нова технология „EIB” за интелигентни системи на електрически инсталации, която значително ще облекчи живота ни.*

*Целта на настоящата работа е да разясни тази нова технология с характерните и особености и приложението на EIB в интелигентните електрически инсталации в сгради.*

### Какво е EIB?

EIB е съкращение за European Installation Bus, известна още като Instabus [1,2,3]. Представлява интегрирана система от всички познати ни електроинсталации (силноточова, слаботочова, охранителна и др.). Тя е водеща световна система на интелигентни електрически инсталации, които в близко бъдеще напълно ще заменят традиционните електрически инсталации. Всички досегашни комутационни операции (включване на осветителите, пускане на отопление, вдигане на щори, гаражни врати и др.) вече могат да се управляват от разстояние или чрез програмируеми устройства за час, ден или седмица. Технически ограничения няма, в смисъл на обема на системата или препълване на информационния протокол, ограничението зависи изключително от творчеството на проектанта и желанията на инвеститора.

### На кой начин функционира системата EIB ?

Системата EIB може да бъде по-сложна или по-обикновена, по-голяма или по-малка, от което ще зависи броя на устройствата интегрирани в системата. Системата функционира като определен брой на устройствата разположени в пространството от които всяка извършва функция за която е предназначена. Всички устройствата помежду си са свързани с телефонна двойка чрез която помежду си комуникират.

EIB устройствата можем грубо да ги разделим на две основни групи:

компоненти които събират информацията отвън и я изпращат на системата (ключове и бутони, сензори за движение, дим, газ, вода, фото - сензори, метеорологична централа, ИЧ – сензори, сензори за температура, термостати, цифрови и аналогови входове и други);

изпълнителни компоненти които въз основа на получената информация в системата ще изпълнят функцията за която са предназначени (димери за осветление, контролери за осветление, за щори, за прозорци, електронни релета, контролери за отопление и за охлаждане, логични единици, таймери, цифрови и аналогови изходи и подобно).

Всяко устройство има адрес. Задаващите задачата устройства (напр. бутон) изпращат по шината BUS телеграма, в която са записани функцията, която трябва да изпълни 'изпълнителя', нека тук да е осветител, и адресът му. Телеграмата се предава по целия BUS, но се приема за изпълнение само от посочения адресат. Видно е, че ако на този бутон програмираме в телеграмата му няколко адреса до 'изпълнители', той ще активира няколко устройства (напр. лампи, вентилатор и радиатор едновременно). Това зависи само от нашето желание. Утре препрограмираме датчика (бутона) да включва щорите, без смяна на устройства, кабели и трасета.

### Какво е приложението на интелигентните инсталации?

Системите на интелигентни инсталации могат да се използват почти навсякъде. Разбира се, всяко използване трябва да оправдаем с качествени решения и причини. Интелигентната инсталация основно ще повиши комфорта на пространството който обхваща сигурността на



хората и материалните средства, ще рационализира разхода на електроенергия, топлинна и други видове енергия. Може да бъдат приведени примери за използване на системите на интелигентни инсталации на следните обекти [2]:

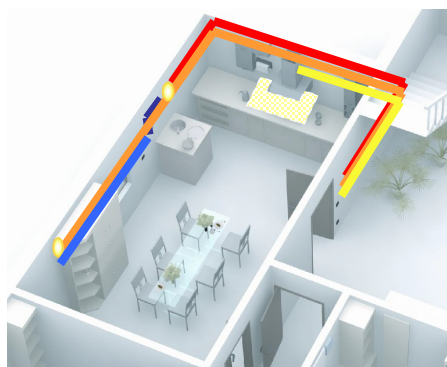
Къщи и апартаменти: управление на външното осветление (включване – изключване); управление на вътрешното осветление (включване – изключване - димиране); управление на щори пердета и прозорци. (спускане - повдигане, отваряне – затваряне); регулиране на отоплението и охлаждането; отваряне и затваряне на врати (дворни, гаражни, стълбищни, входни.); кнопки за повикване в нужда (SOS кнопка);

Хотели: контрол на върховото натоварване; интелигентни хотелски стаи; контрол на преминаването; SOS повикване; управление на осветлението, щорите, защита от наводнение и газ.

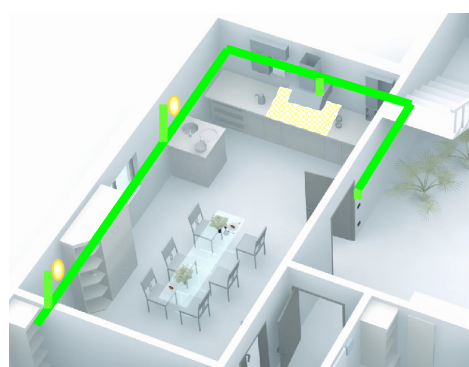
### Какви са предимствата на тази технология?

Предимствата са: а) опростена инсталация: само с “Bus” – кабел се свързват всички разклонения; б) удобна конфигурация чрез лесно за “разлистване” меню на системата (няма нужда от компютър или други инструменти); в) Лесен за ползване от потребителя интерфейс за настройка (промяна при регулиране на компонентите на средата, климата и т.н.); г) адаптивност - по всяко време е възможно да се слагат разклонения, за да подобрят дейностите на системата; е) чрез нея се следи за безопасността и изправността на отделните устройства, оптимизират се разходите и своевременно информира за настъпили изменения в работата им; ф) децентрализирана система. Всяко крайно устройство (бутон, сензор, изпълнителен механизъм) е интелигентно само за себе си и един път програмирано, не се нуждае от външно управление и контрол.

На фиг. 1 е показано класическо окабеляване на вътрешна електрическа инсталация по познатия до сега метод, а на фиг.2. интелигентната електрическа инсталация.



Фиг.1. Класическо окабеляване на вътрешна ел. инсталация



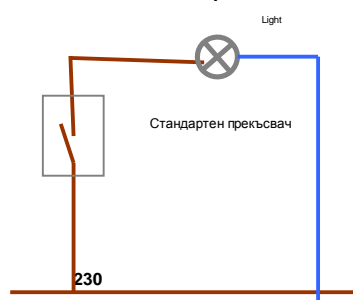
Фиг.2. Интелигентна вътрешна електрическа инсталация

Тук се вижда по-опростената монтажна схема при полагането на трасетата на кабела, както и пъти по-малкото количество на кабел, гофрирани тръби, времето за реализация и т.н. При стандартно свързване прекъсвачът е директно свързан към лампата (фиг. 3а). При “Bus” системата контролните и превключвателните функции са свързани към “Bus” блока. Бутонът единственото подава съобщение към превключвателя (фиг. 3 б).

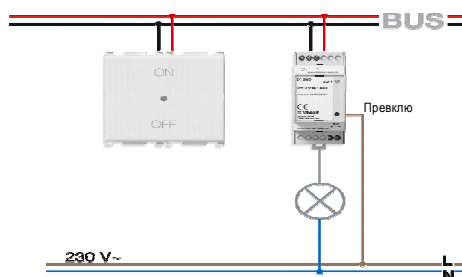
Интелигентната електрическа инсталация, позволява комбинацията на много електрически функции, които по-рано са били отделни една от друга, в компактна система, оптимално адаптирана към индивидуалните изисквания: Осветление, отопление, климатизация, охрана, енергоспестяване – могат да бъдат контролирани от една единствена система. Тази система служи като автоматичен контролер на дейностите в сградата, като: а) комфорт: управление, автоматизация, регулирани компоненти на средата;

b) сигурност: алармени охранителни системи, аларми при технически повреди; c) енергоспестяване: управление на подаваната електроенергия, терморегулиране; d) дистанционен контрол: мониторинг и контролиране на системата, пренос на алармения сигнал; e) интеграция на функциите: една модулна система с много функции (фиг.4.) [1].

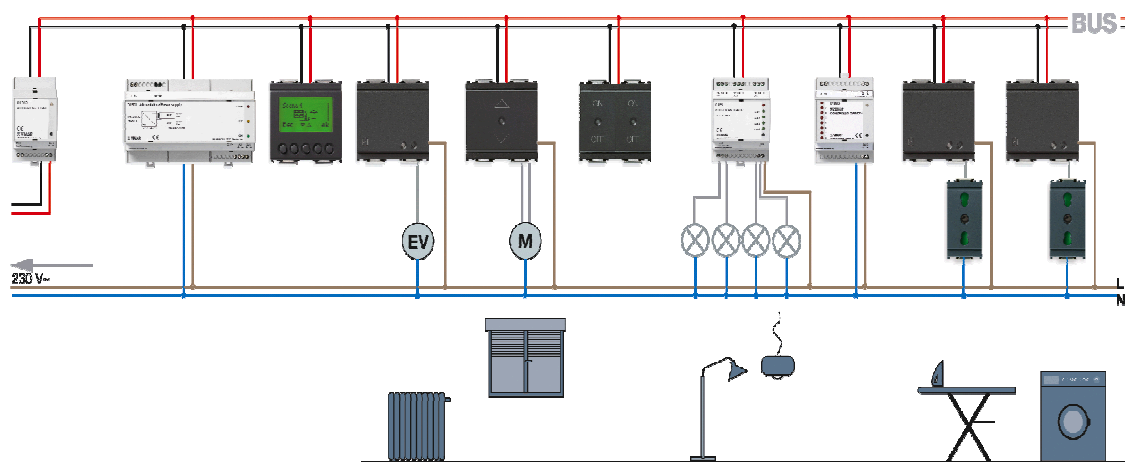
Функции на интелигентната електрическа система: Само последователно свързване с контролния блок се свързват всички разклонения. Функционалните свързвания между разклоненията могат да бъдат променени по всяко време и да се адаптират според индивидуалните изисквания, без да се въздейства върху съществуващото окабеляване. Разклоненията могат да бъдат свързани във всяка позиция на Bus – системата. Контролен кабел (усукана двойка жила) свързва всички разклонения, със захранващо напрежение (29V DC), както и с данни (“т. нар. телеграми”), като се предоставя достъп, така че всички разклонения да предават сигнали помежду си.



Фиг.3 а). Обикновено свързване на лампа



Фиг.3 б). Свързване на лампа при “BUS” системата



Фиг.4. “BUS” модулна система с много функции

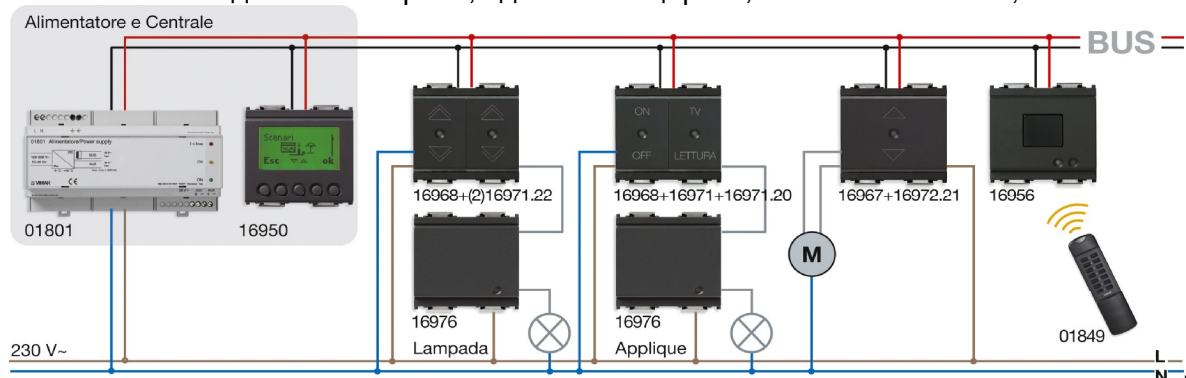
Може да бъдат посочени два примера за едни от най-важните функции: 1) регулиране компонентите на средата; 2) управление на терморегулацията.

Регулирането на компонентите на средата става чрез появяващи се изображения, съответстващи на функциите на инсталацията и може да съдържа осветления, щори, зони на терморегулиране и много повече. Всеки компонент на средата, може да бъде “извикан” чрез бутони, дистанционен контрол или чрез SMS от GSM предавател. Централният блок може да управлява повече от 32 различни компоненти на средата.

Примери за компоненти на средата (фиг.5) [1].

Локален дистанционен контрол на компонентите на средата:

- ALL ON /всички включени/: цялото осветление е на 100% и всички щори са вдигнати;
  - ALL OFF / всички изключени/ : цялото осветление е спряно и всички щори са спуснати;
  - TV: Едната лампа е загасена, апликът е на 50%, всички щори са спуснати;
  - LECTURE /четене/: едната лампа е на 100%, апликът - 30%, всички щори са вдигнати.
- Контрол от място или чрез предварително настроени компоненти:
- ПРОЖЕКТИРАНЕ: сваляне на екран, сваляне на щори, осветление на 20%;
  - КОНФЕРЕНЦИЯ: сваляне на екран, вдигане на щори, осветление на 50%;
  - СЪБРАНИЕ: вдигане на екрана, вдигане на щорите, светлина на 100%;

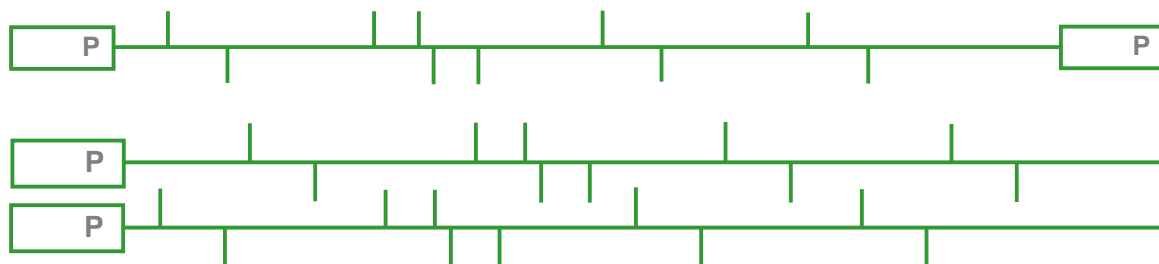


Фиг.5. Локален дистанционен контрол на компонентите на средата или чрез предварително настроени компоненти

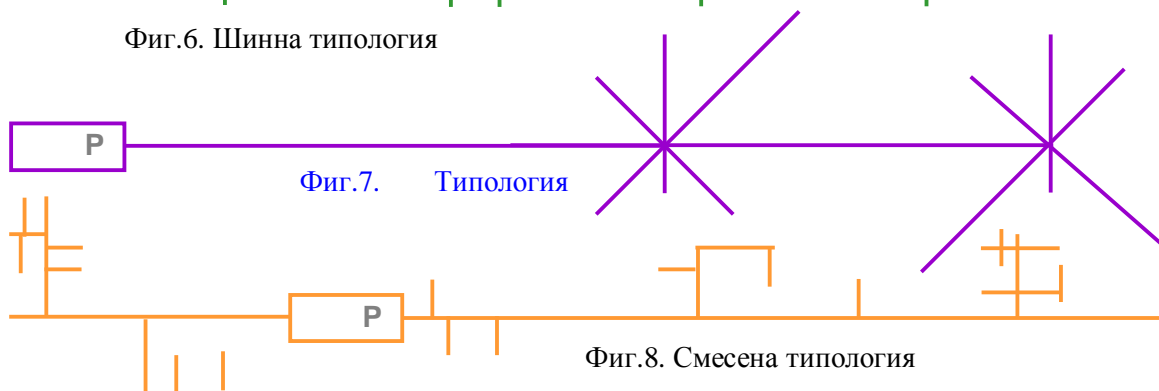
**ВСИЧКО ИЗКЛЮЧЕНО:** вдигане на екран, сваляне на щори, изключване на осветление.

Интелигентната електрическа система ползва сигнален кабел от усукана двойка жила, с двойна изолация (2 x 0.5mm<sup>2</sup>). Кабел 01840 [1] може да бъде инсталиран в тръбата заедно с 230V напрежение по линиите. За предпазване от смущения се препоръчва отделна тръба. Стандартен EIB/KNX кабел също може да бъде използван.

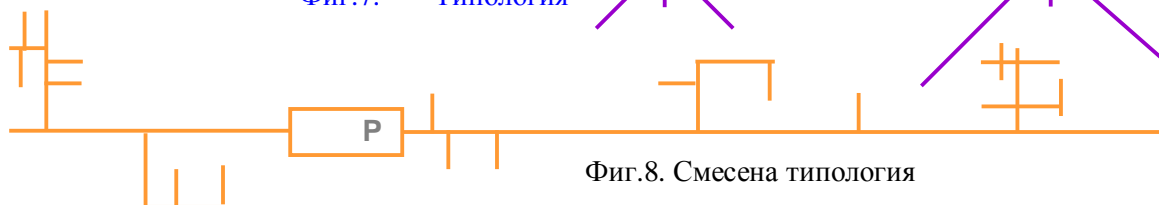
Разклоненията могат да бъдат поставени навсякъде по системата "BUS", само полярността трябва се спазва. Инсталацията може да следва условна типология (шинна - фиг.6., звезда – фиг.7., или комбинация от тях – фиг.8., като не се надвишава общата "BUS" – дължина (повече от 1000 m).



Фиг.6. Шинна типология



Фиг.7. Типология

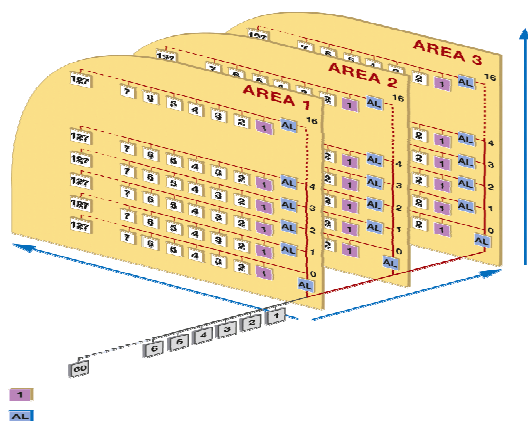


Фиг.8. Смесена типология

Максимум 128 разклонения (фиг.9.) (“BUS”-разклонения) могат да бъдат свързани към линията; като всяка линия изисква по един „Бу-Ме” контролен блок и според “BUS” дължината и необходимото напрежение (един или два захранващи блока).

При повече от 16 линии може да бъде комбинирано в един “ареал”, като се използват линейни съединителни устройства (coupler), които са свързани към главната линия.

При повече от 3 “ареала” може да бъде комбинирана в по-широк блок чрез основни носещи съединителни устройства (coupler), които са свързани към основната носеща линия.



Фиг.9. Типология

#### Приложение на системата в жилище

За приложението на интелигентна електрическа система е използван 3 стаен апартамент (фиг.12).

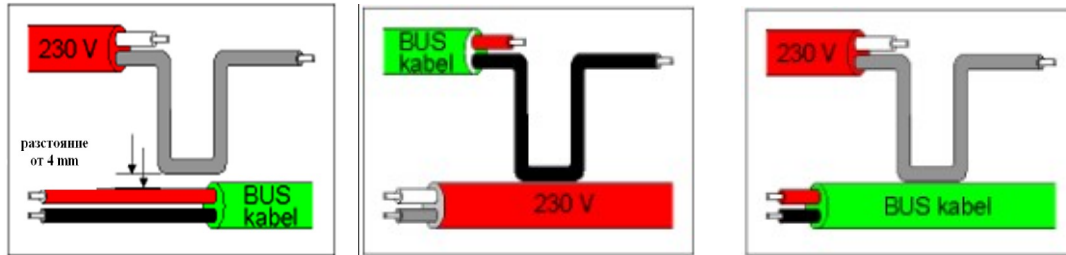
Силовата инсталация ще се изпълни с проводници ПВ изтеглени в PVC тръби, положени скрито под мазилката. В апартаментата са предвидени контакти тип “шуко”, като броят им е съобразен с архитектурното обзавеждане и съгласно Наредба №3, чл.1768 [4]. Контактите ще се захранват с ПВ 3x2,5mm<sup>2</sup>. Вентилаторите в санитарните възли ще се захранват с проводник ПВ 3x1,5 mm<sup>2</sup> и командват от ключа за осветление. Височината на монтаж на контактите ще се изпълнява на 30 mm от готов под.

В таблото на DIN шина (Фиг.10) се монтират следните устройства: а) Захранващ блок за 29V DC – 1бр.; б) Контролен блок за 8 адреса- управлява 8 коментиращи устройства – 1бр.; в) Контролен блок за 16 адреса - управлява 16 коментиращи устройства – 1бр.; г) GSM модул + Internet модул - поставя се в таблото на DIN шина. Чрез него може да се управлява през PC и през интернет; д) Системен програматор. Регулирането на компонентите на средата става чрез появяващи се изображения, съответстващи на функциите на инсталацията и може да съдържа осветления, щори, зони на терморегулиране и много други.



Фиг.10. Монтиране на устройства в таблото на DIN шина

При монтажа на захранващите и управляващи кабели да се спазват отстоянията между тях (фиг. 11).



мин разстояние е 4 mm или

могат да се допират

могат да се

допират

допълнителна изолация



Фиг.12. Приложение на интелигентна електрическа инсталация в жилище

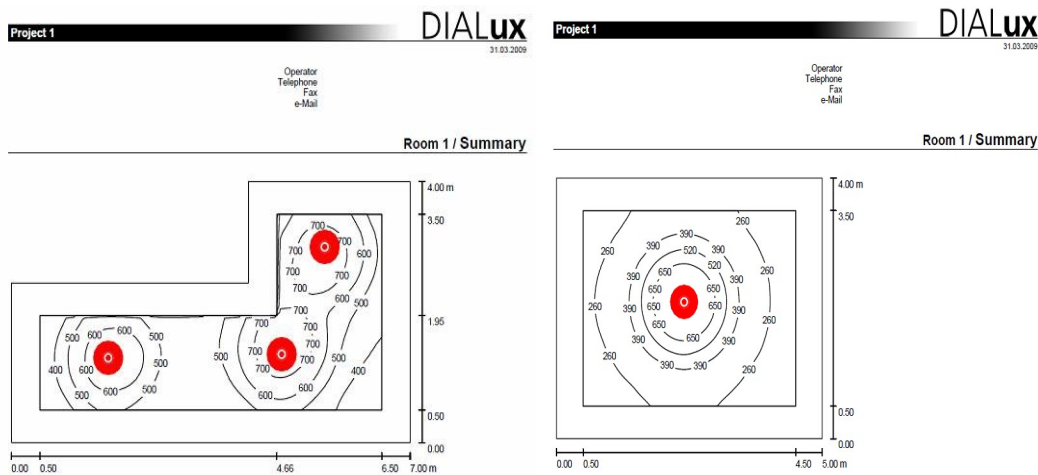
Управлението на температурата става чрез електрически пуско - спирателни вентили които са закрепени за всеки един от радиаторите. Вентилите се отварят и затварят на базата на измерената температура в дадено помещение на което е монтиран термодатчик на 1,5 m от пода. Термостата може да програмираме на 22 °C и толеранс на температурата 3 °C. При достигане на 22 °C вентила се затваря и парното спира, след спадане на температурата с 1 или повече градуса вентила се отваря и парното се активира. Термостата има допълнително програмиране на температурата за всяка част от денонощието и затова задаваме след 24:00 ч. температурата да се намали до 18 градуса (най-комфортната температура за спане), което допълнително ни спестява топлинна енергия, а от там и финансови разходи.

Всичко това се постига чрез програматора и електрическия вентил, който има следните характеристики [1]: а) максималното налягане което издържа е 10 bar; б) работната му среда



е при температури от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$  (външна); с) захранващото напрежение е 12V DC; d) мощност 13W.

След няколко години на използване на системата EIB в Германия организацията DIAL е изчислила, че при спестяване на един градус при отопляване на сградата, икономии в бюджета за климатизация на сградата достигат 6% [7].



Фиг.13. Изолукните криви на осветителните уредби за спалня и детска стая на фиг. 13 с дадени изолукните криви за спалня и детска с програмата Dialux [6]. Използвани са ЕПРА с димируеми от 3 до 100% DALI баласта [5].

Технико - икономически е изгодно използване на EIB инсталацията за сгради над два етажа. Тази инсталация изисква по-малко средства от обикновената и средствата се възвръщат след 3÷4 години от икономия на енергия и информация за състоянието на съоръженията.

### Литература

1. Vimar, Catalogue 2008
2. <http://www.elmah.hr/index.php>
3. <http://www.intelkey.ru/>
4. Наредба № 3 За устройството на електрическите уредби и електропроводните линии, ABC Техника 2004 г.
5. <http://www.dalicontrol.com/dali/>
6. <http://www.dialux.com/>
7. [www.dial.de](http://www.dial.de)

**Автор:** д-р инж. Захари Александров Иванов – доцент в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (ECEOET), email: [zai@tu-sofia.bg](mailto:zai@tu-sofia.bg);



## ОГРАНИЧАВАНЕ НА БЛУЖДАЕЩИТЕ ТОКОВЕ ПРИ ПОСТОЯННОТОКОВ РЕЛСОВ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСПОРТ

Полина Петкова

**Резюме:** В България в системата на електроснабдяване с постоянен ток на релсовите електрически транспортни средства за градски транспорт (метро и трамвай), ходовите релси се използват за обратен проводник (фидер).

При такъв вид захранване подземната инфраструктура и транспортните съоръжения са подложени на активна корозия под въздействието на блуждаещият ток, който се отклонява от релсите в земята.

В настоящия доклад се разглеждат факторите, които влияят върху големината на блуждаещите токове, както и методите за тяхното ограничаване.

При постояннотоковият електрифициран транспорт, ниското съпротивление между ходовите релси и земята позволява протичане на обратен ток в земята. Този ток се нарича блуждаещ. Блуждаещият ток протича паралелно в земята, като същевременно преминава и през подземните метални съоръжения, които на практика представляват електроди в среда на електролит. Точката в която токът влиза в съоръжението се нарича катодна зона, а точката в която то преминава отново в земята за да навлезе в друго метално съоръжение или да се върне обратно в подстанцията се нарича анодна зона. Рискова за подземните съоръжения представлява анодната зона. В тази зона те са подложени на активна електрокорозия.

Проблемът с блуждаещите токове е известен още при създаването на електрифицирания релсов транспорт. В края на 70-те и началото на 80-те години са предложени множество различни схеми на релсовият път за преодоляването на проблемите с електрокорозията. По това време са конструирани метросистемите, при които мотрисите са се придвижвали в усилен стоманобетонни тунели и виадукти, при които корозията на стоманените съоръжения се превръща в сериозен проблем.

Ефективните мерки, които се предвиждат за намаляване на блуждаещите токове са следните:

- Поддържане на добра изолация между релсите и земната повърхност;
- Осъществяване на ефективно паралелно свързване на релсите;
- Намаляване на съпротивлението на ходовите релси;
- Разполагане на захранващите подстанции на близко разстояние една от друга;
- Инсталиране на системи за събиране на блуждаещи токове;
- Изолиране на тези системи от останалите съоръжения на релсовия транспорт;
- Осигуряване на добро оттичане на водата от релсите. [1, 2]

### Изолиране на релсите от земята

Първата стъпка при ограничаването на блуждаещите токове, е свързана с осигуряването на добра изолация между релсите и земята, както и поддържането на определен потенциал на ходовите релси. Стандартните методи са свързани с осигуряването на определено ниво на съпротивление между релсите и траверсите или бетона. Изолацията обикновено се осигурява едновременно между фиксиращите елементи и релсата както и между фиксиращите елементи и траверсата. Въпреки всичко обаче, е важно да не се правят компромиси с фиксиращите елементи. Също така не трябва да се пренебрегва съпротивлението на самите траверси. Бетонните траверси осигуряват по – добра изолация отколкото дървените, които имат по голяма проводимост към земята. Съпротивлението релса – земя при новите инсталации не трябва да бъде по – малко от





100 $\Omega$ .km. Тази стойност се променя в течение на времето, както и в зависимост от условията на околната среда.

#### **Съпротивление на ходовите релси**

Следващият елемент при ограничаването на блуждаещите токове е изборът на такива ходови релси, които да осигурят минимално съпротивление на обратната верига на тока. Обикновено това се постига чрез подходящ избор на свързващи звена на отделните части на релсите. Тук трябва да се отбележи също, че износоустойчивите типове релси, имат по – голямо съпротивление.

#### **Местоположение на подстанциите**

За да се ограничат вредните влияния следствие на блуждаещите токове, е необходимо да се осигури минимално разстояние между захранващите подстанции. Ефекта от това е намаляване на потенциалната разлика релса – земя. Разходите за допълнителния брой подстанции могат да се компенсират, чрез използването на по – малки токоизправителни блокове, както и стандартно оборудване за по – малки мощности. Изборът на местоположение на подстанциите обаче може да бъде направен само при проектирането на нови трасета. При по – близко проектирани подстанции не е необходимо да се осигурява 100 процента резервна мощност, защото железопътния транспорт би продължил да функционира макар и с понижена производителност, при отпадането на една подстанция.

#### **Системи за събиране на блуждаещи токове**

Колкото и да е добра изолацията на релсите от земята, част от товарният ток се отклонява от релсите и преминава през алтернативни вериги достигайки обратно до подстанцията. За да се предпазят уязвимите подземни съоръжения, е все по – разпространено „събирането” на блуждаещите токове посредством полагането на „събирателна мрежа” под ходовата релса или чрез използването на усилена стомана в бетонния път. Вместо събирателните мрежи да бъдат електрически непрекъснати да се свързват с минусовата шина на тяговата подстанция, по – добрият вариант е разделянето и на части от по 300 метра средно и свързването на всяка една част с кабел, който е положен паралелно на ходовата релса и е свързан с минусовата шина на подстанцията през диод. Това разделяне на отделни секции има няколко предимства:

- улесняване на инсталацията на системите за защита от блуждаещи токове;
- осигуряване на възможността да се правят проверки за състоянието на тези системи през определен период от време;
- позволява се да се следи надеждността им и лесно да се определят местата на авария;
- улеснява се подмяната на повредени елементи на системата;
- минимизира се възможността от индукционни смущения между системите за защита от блуждаещи токове и системите за сигнализация.

#### **Заземяване и връзка между системите**

При постояннотоковите релсови системи ходовите релси, системите за събиране на блуждаещи токове и фиксираните съоръжения имат различен потенциал спрямо земята и съответно не трябва да има електрическа връзка между тях. Релсите не трябва да се свързват директно със съоръжения, които са заземени. Изолацията на съоръженията, които имат връзка с релсите трябва да бъде не по – малка от 10k $\Omega$ .km, дори и при наличие на висока влажност.

#### **Заземени системи**



При повечето постояннотокови системи в Англия, САЩ и близкия изток ходовите релси са заземени в подстанцията през диод. При много системи в Европа обаче ходовата релса няма никаква връзка със земята. В този случай потенциалът на релсите спрямо земята варира в определени граници и има както положителни така и отрицателни стойности.

Използването на обща земя за всички съоръжения в подстанцията опростява схемата за заземяване и осигурява минимално крачно напрежение в случай на авария. Релсите са изолирани и са свързани с отрицателната шина чрез кабели. Съоръженията за събиране на блуждаещи токове (ако има такива), са електрически отделени от всички останали заземители и са свързани към отрицателната шина на подстанцията посредством кабели и диод. Много важен елемент в случая е, разделението на заземителната инсталация от системата за защита от блуждаещи токове. При никакви обстоятелства оборудването в подстанцията, както и каквито и да е външни метални съоръжения не трябва да бъдат свързани към системата за събиране на блуждаещи токове.

#### **Не заземени системи**

При този вид системи, отрицателната шина в подстанцията не е свързана със заземителната инсталация, но също така няма изолация между релсите и земята. При тези системи се осигурява много по – малък потенциал на релсата спрямо земята отколкото при заземените и по – ниски нива на блуждаещи токове.

Недостатък при тези системи е, че при повредата земно съединение на контактния проводник, е по – трудно откриваема, следствие на което може да се получи недопустимо висок потенциал на релсата спрямо земята, който е опасен за персонала.

#### **Заземяване при депата**

Голяма част от проблемите свързани с блуждаещите токове са в районите на депата и ремонтните цехове, където стандартите изискват директно заземяване на релсите с цел осигуряване на безопасността на обслужващият персонал. [2, 3]

#### **Защита на металните съоръжения от електророзия следствие на блуждаещите токове**

Мероприятията за защита от блуждаещи токове се делят на две групи:

Първата група намаляват проникването на тези токове в металните съоръжения. Този вид защита е винаги първична и се нарича пасивна защита. Към пасивните мерки за защита се отнасят различни видове изолационни покрития (шайби, подложки, дюбели и др.) както и рационален избор на трасетата в които се полагат съоръженията.

Към втората група се отнася активна защита. Тя бива два вида. Към първият вид спадат мероприятията, които са свързани с електроснабдителната система на релсовото транспортно средство. На фиг. 1 са показани методите за защита от блуждаещи токове, които се отнасят за самите източници.



фиг.1

Предимството на прилагането на тези защити е това, че в този случай се защитават всички метални съоръжения намиращи се в близост до източника на блуждаещи токове [1].

Към активните защити също така спадат и електрическите противокорозионни защити.

Действащите правилници забраняват приемането в експлоатация на подземни метални съоръжения без осъществяването на мерки за защита от корозия.

Този вид защити са инсталирането на защитни съоръжения, които неутрализират в определен периметър действието на блуждаещите токове. Те са катодна защита, дренажна защита и протекторна защита. При активните защити се включва резервен блок, освен това едновременно се правят контролни измервания. Трите вида се различават според ефективността им. Това включва ефективност при защита на съоръженията, негативно въздействие върху съседни съоръжения, икономичност при инсталиране на установките и при експлоатация, дълговечност, надеждност.

Електрическият дренаж се свързва към защитаваното подземно съоръжение на мястото с отрицателен електрически потенциал спрямо земя. При обикновения, наричан още прав, дренаж няма защити срещу промяната на потенциала, не се контролира големината на протичащия ток. От гледна точка на управлението на параметрите на защитата такава липсва. Тъй като той има двустранна проводимост се използва само на места, където няма опасност за протичане на ток от релсите към подземното съоръжение. В противен случай се използва поляризован дренаж, който има едностранна проводимост.

Усиленият дренаж се използва, когато потенциалът на защитаваното съоръжение е знакопроменлив и има няколко източника на блуждаещ ток. Във веригата се включва допълнителен източник на постоянен ток, което повишава ефективността на действието му. Контролира се големината на тока протичащ от защитаваното съоръжение и защитният потенциал в по-големи граници от другите два вида дренажи. При евентуална промяна на потенциала, защитата изключва т.е. тази защита е по-надеждна. [4]

Протекторната защита се състои от протектор, който се свързва към защитаваното съоръжение в знакопроменливите зони. Използва се при защита на тръбопроводи и електропроводи в градски условия на малки разстояния при ниско специфично съпротивление на почвите. При протекторната защита липсва външен източник на ток и няма разход на електроенергия. Токът необходим за защитата се създава изкуствен



галваничен елемент. При тези защиты се контролира тока на протектора, за да се осигури необходимият защитен потенциал.

#### **Заклучение**

- Електрифицирането на нови участъци трябва да се проектира, така че да се ограничи максимално негативното въздействие на блуждаещите токове;
- Компанияте осигуряващи комунални услуги трябва да се консултират преди определяне на трасетата за полагане на подземните си съоръжения;
- Трябва да се осигури мониторинг на блуждаещите токове през определен период от време при електрифицираните участъци;
- Защитата от поражения следствие на блуждаещите токове от икономическа гледна точка, може да бъде разделена между компанията собственик на електрифицирания участък и собственик на подземните съоръжения.

#### **Използвана литература**

1. Котельников А.В., Блуждающие токи электрифицированного транспорта. М., Транспорт, 1986.
2. K. S. Bahra and R. E. Catlow, Mott MacDonald Limited, CONTROL OF STRAY CURRENTS FOR D.C. TRACTION SYSTEMS.
3. C. Charalambous, I. Cotton, Influence of soil structures on corrosion performance of floating-DC transit systems.
4. 4. И. Данев, Г. Анев "Блуждаещите токове и тяхното влияние върху подземните метални съоръжения в откритите рудници" – изд. Техника, София, 1981г.

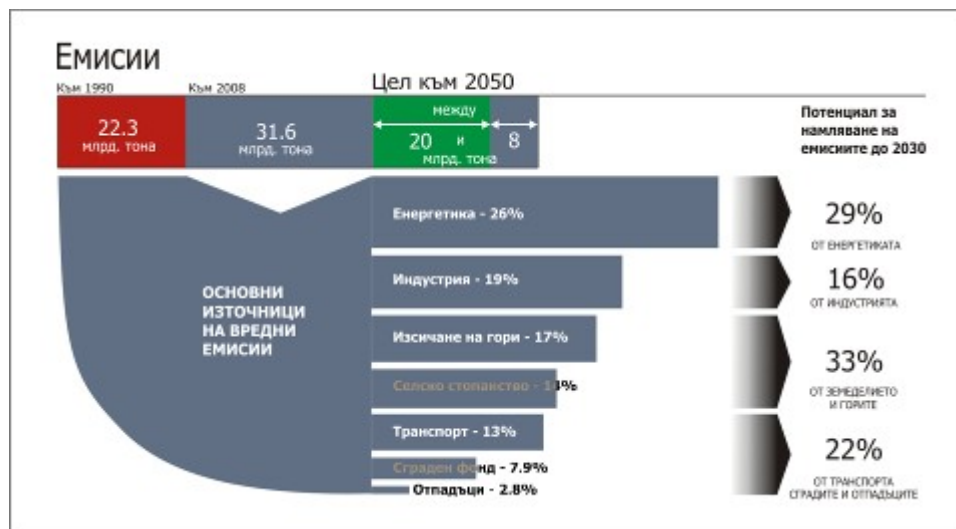
**ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ И СВЕТЛИННИ ТЕХНОЛОГИИ**

Христо Василев

**Резюме:** В статията са разгледани модерните тенденции в осветителната техника и енергийната ефективност в осветлението. Направен е обзор на проблемите в областта в световен и национален мащаб, предприетите мерки и тяхното отражение върху методиките и оборудването на осветителните уредби. Оценени са и ефектите от новите мерки като намаляване на консумацията на ел. енергия и светлинното замърсяване.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

През 1992 г. конференцията на ООН за околната среда и развитието приема Рамкова конвенция по изменението на климата, чиято цел е да стабилизира и ограничи изхвърлянето на парникови газове в атмосферата. През 1997 г. в гр. Киото (Япония) се подписва протокол към Рамковата конвенция, съгласно който ЕС и 37 страни се задължават в периода 2008-2012 г. да намалят емисиите на парникови газове средно с 5%. За периода след 2012 г. е необходима нова договореност, която да определи как държавите по света ще продължат да намаляват своите емисии. Това трябва да се случи на срещата в Копенхаген.



Вече е ясно, че крайните цели на протокола от Киото няма да бъдат достигнати, освен в няколко европейски държави. Протокола не подписаха основните замърсители с парникови газове, а именно САЩ и Китай. В следствие от протокола бяха изключени два от големите замърсители, а именно - авиацията и корабоплаването. Въпреки това самото му наличие беше подготвителен етап към крайната цел.

Изчислено е, че превключването от мръсна към чиста енергия ще струва на световната икономика между 350 и 500 млрд. \$, което е около 1% от световния БВП и е в пъти по-малко от глобалните годишни разходи за изграждане на инфраструктура.

**Какво представлява търговията с парникови газове?**

Квотите от емисии на CO<sub>2</sub> трябва да бъдат разпределени между отделните фирми в ЕС, които изхвърлят в атмосферата парникови газове.

Така например ТЕЦ "Марица-Изток 2" за една година изхвърля 10,7 Mt CO<sub>2</sub>. Европейската квота, разпределена, чрез екоминистерството е 9,1 Mt.



Това означава, че ТЕЦ трябва да закупи 1,6 Mt редуцирани емисии от CO<sub>2</sub>, за което трябва да плати 24 мил. € (т.е. по 15 €/t.), които в крайна сметка ще бъдат платени от потребителите на ел. енергия в страната.

Редуцираните CO<sub>2</sub> ще се купят от производителите на възобновяема енергия или редукция чрез енергийна ефективност.

### **Състояние на проблема в България**

Всички правителства до момента декларираха, че ще подобряват енергийната ефективност в страната. Брутния вътрешен продукт в Р. България е около 3 пъти по-енергоемък в сравнение със средната стойност в ЕС. До 2020 г. страните от ЕС имат за цел да повишат общата си енергийна ефективност с 20%. При огромните загуби на енергия в Р. България, националната цел трябва да бъде по-амбициозна от европейската. По изчисления на МИЕТ, повишаването на енергийната ефективност с 50% означава спестени разходи за енергиен внос от около 6 млрд. € годишно.

На практика 70% от енергията се консумира от производството. Много е важно енергийната ефективност да се подобри именно там. От това на първо място ще спечелят самите фирми. Спестените средства могат да отиват за подобряване качеството на продуктите, за по-високи заплати и за по-атрактивни цени за клиентите. От друга страна се развиват технологиите и се увеличава обема на производството. Всичко това се нуждае от високо квалифицирани специалисти в тази област (преподаватели, проектанți, конструктори, технолози, монтажници, мениджъри и др.).

Не без значение е ефективността и на останалите 30%, а именно домакинствата и публичния сектор. Освен, че след санирането ще се намалят разходите за електричество и отопление, ще се създаде обем за работа на много фирми при самото саниране, а също така производството на интелигентни енергийно ефективни изделия, следствие на което ще се генерира допълнителна заетост.

За всичко това е необходимо специално обучение.

Хората имат право да вярват или не в климатичните промени (а такива, които не вярват, все още има много). Бизнесът, ако иска да оцелее, трябва да приеме климатичните промени като факт и да гради своето развитие на тази база !!!

### **МАКРОРАМКА НА ИЗКУСТВЕНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ В СВЕТА**

През 2006 г. изкуственото осветление е произвело 138 Пlm.h

$$1\text{Пlm.h} = 10^{15}\text{lm.h}$$

Средно един жител на планетата годишно изразходва около 20 Mlm.h светлинна енергия (САЩ – 101 Mlm.h на жител, Африка и Индия 8 ÷ 10 Mlm.h на жител)

Годишното световно потребление на ел.енергия за осветление е 2650 TWh (19 % от глобалното потребление т.е. повече от ел.енергията, която произвеждат АЕЦ в света.)

Стойността на годишно консумираната ел.енергия за осветление в света е 460 млрд. USD или повече от 1% от световния брутен вътрешен продукт.

Около 1,6 милиарда души от населението на Земята нямат електричество и използват за осветление петромасови керосинови лампи.

В страните от EU и България изкуственото осветление консумира около 14% от общо консумираната ел. енергия.

### **Директива на EU от 19.10.2006**

Енергийното потребление в страните от EU до 2020г. Трябва да намалее с 20% !

За реализацията на европейската директива, трябва да се повиши енергийната ефективност в: изделията; сградите; технологиите и производствата.



Различните отрасли на икономиката разработиха свои програми за редуциране на парниковите газове. Сектора „Осветителна техника“ в страните от ЕС разработи пакет от европейски директиви за намаляване на вредите от „осветителната техника“.

Изкуственото осветление в страните от ЕС консумира 14% от общото количество на употребявана ел. енергия. Основната част от изхвърлянето на парникови газове се получава при производството на горепосочените 14% ел. енергия. Чрез намаляване на консумираната ел. енергия се намаляват от една страна парниковите газове, а от друга - разходите за ел. енергия. А в болшинството случаи се намалява и светлинното замърсяване.

Тук „екологичните интереси“ на обществото съвпадат с икономическите интереси на собствениците на осветителните уредби.

В EU има 1 милиард инсталирани газоразрядни светлинни източници, 35 милиона живачни лампи от 2010 г. трябва да бъдат подменени с високоефективни лампи

### Енергийна класификация на ПРА за луминесцентните лампи



### Изисквания към осветителните тела

Комплектуване с разрешените лампи и ПРА.

Минимални степени на защита (IP) за различните осветители.

На фигурата е показан Енергийно - ефективен етикет за светлинни източници

Енергийно-ефективен клас	ТИП НА ЛАМПИТЕ
A	Триивични луминесцентни лампи или енергоспестяващи КЛЛ
B	Кръгли луминесцентни лампи (ЛЛ), триивични ЛЛ с много добро цвето предаване, стандартни ЛЛ и КЛЛ с вградена ПРА
C	Други типове лампи
D	Халогенни НЛ
E	Обикновени НЛ
F	Декоративни НЛ със свецообразна и капкообразна форма
G	Други декоративни и цветни НЛ

### Забранителни мерки в ЕС за лампи високо налягане

1. Забрана за употреба на живачни лампи	01.01.2010
---	------------

2. Забрана за употреба на натриеви лампи високо налягане I-во поколение	01.01.2012
3. Забрана за употреба на метал-халогенни лампи I-во поколение	01.01.2012
4. Забрана за употреба на натриеви лампи високо налягане с вградено запално устройство с баласт за живачна лампа	01.01.2014
5. Забрана за употреба на метал-халогенни лампи II-ро поколение	01.01.2017

ФАКТОРИ ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ОСВЕТИТЕЛНАТА УРЕДБА

$$E_{год} = N * (P_{от} + \Delta P_{пра}) * T_{год} [kWh / год]$$

$$N \downarrow_1 \downarrow_2 \downarrow_3 \downarrow_4 = \frac{E_m * S}{P_{л} * \eta_{л} \uparrow_1 * MF \uparrow_2 * h \uparrow_3 * K_u \uparrow_4}$$

$E_m$  – експлоатационна осветеност [lx]

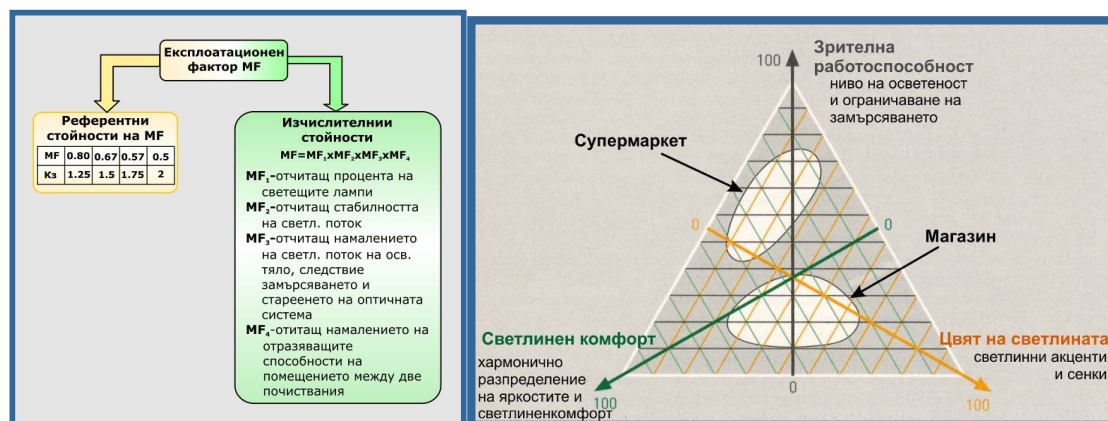
$S$  - площ на помещението [m<sup>2</sup>]

$\eta_{л}$  – светлинен добив [lm/W]

$MF$  – експлоатационен фактор

$\eta$  – К.П.Д. на осветителното тяло

$K_u$  – коефициент на използване на светлинния поток в помещението



1. Таванно осв. тяло 2x58W с пластмасов разсейвател

2. Таванно осв. тяло 2x58W с бяла растерна решетка

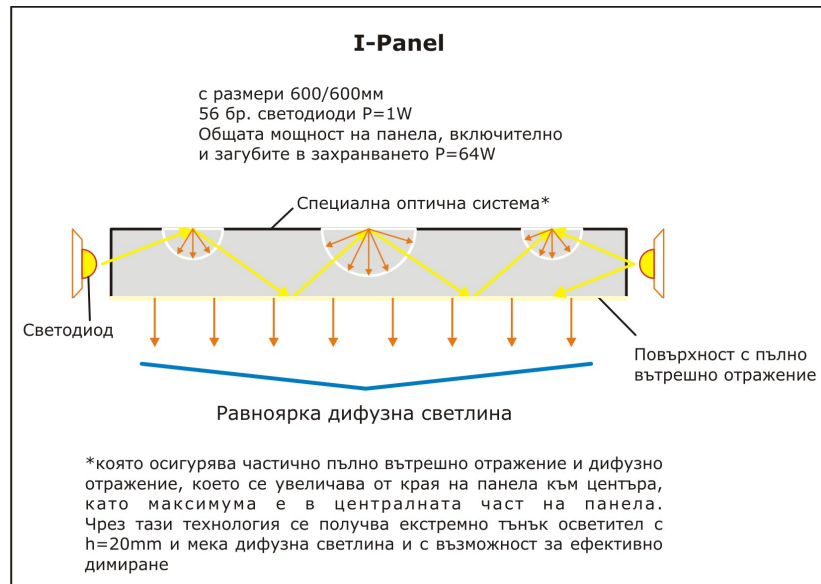
3. Таванно осв. тяло 2x58W с призматичен пластмасов разсейвател и огледален

рефлектор

4. Таванно осв. тяло с огледална растерна решетка от лентово елуксиран Al тип MIRO за лампи T5

5. Осв. тяло с директно-индиректно излъчване с огледална растерна решетка от лентово елуксиран Al тип MIRO за лампи T5





### Уличното осветление в България

За улично осветление се изразходват около 7,9% от общата консумирана електроенергия за осветление, това са приблизително 400 млн. kWh/год.

За реализиране на икономии на електроенергия са възможни различни мерки:

Ограничаване на използването на стари типове лампи (в България процесът на подмяна на ЖЛ е почти завършил),

Въвеждане на нови осветители и ефективни ПРА (например светодиодни осветители, космолайт и ЕПРА),

Рационално управление – чрез модерни системи за телеуправление.

### Икономии чрез използване на ЕПРА

Намаляване на загубите в ПРА.

Премахване на загубите дължащи се на постояннотоковата съставка на тока през лампата, (породена от вентилния ефект вследствие износването на електродите)

Намаляване на инвестициите заради намалените сечения на кабелите (при новоизграждащи се уредби цената на кабелите е съизмерима с тази на осветителите).

### Икономия на електроенергия чрез системите за управление

Регулиране на интензитета съобразно интензитета на автомобилния трафик. В момента се разрешава намаляване на светлинния поток до 50%, но нови изследвания показват, че може да се намали и повече и се очакват нови норми в това направление.

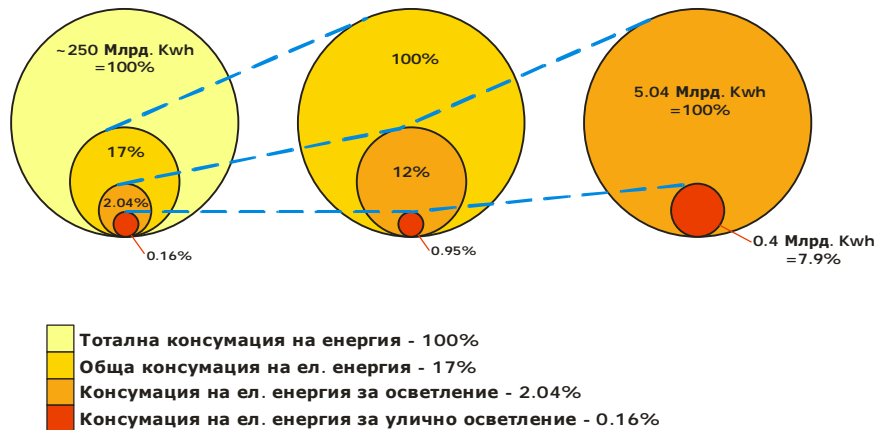
Допълнителен ефект от тази мярка може да се получи поради факта, че автомобилния трафик намалява не само след полунощ, а много по-рано.

Димируемите балласти отстраняват влиянието на вентилния ефект, което води до икономия на енергия.

Намаляване на интензитета в периода след подмяна на лампите, когато уредбата е преоразмерена заради експлоатационния фактор (аналогичен на използвания в миналото коефициент на запаса).



### Разпределение на енергийното потребление в България за 2007 г.



### Икономия заради експлоатационния фактор

Експлоатационният фактор отчита намаляването на потока на лампата в процеса на експлоатация, както и стареенето и замърсяването на осветителя

### Начини за регулиране на потока на лампите в УО

Изключване през стълб – не се допуска от стандарта;

Два осветителя на стълб, един от които се изключва полунощно – икономически неизгодно;

Осветител с две лампи, една от които се изключва – 50W лампа има добив 70 lm/W, а една 150W лампа има добив 100 lm/W;

Осветител със сдвоен дросел;

Групови системи за регулиране на напрежението:

Групов автотрансформатор,

Групово повишаване на честотата,

Регулиране на напрежението с ШИМ;

Осветител с димируема ЕПРА (с НЛВН или СД).

### Съществуващи и новоизграждани се осветителни уредби

Необходимо е разграничаване на мерките за икономия на електроенергия:

- съществуващи уредби;

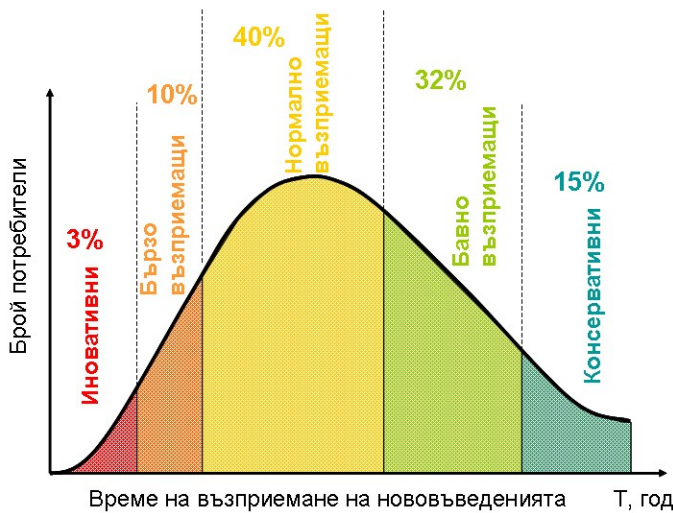
- новоизграждани се:

- изцяло нови,

- реконструкция с подмяна на електрическата мрежа.

За да има инвестиционен интерес към тези нови технологии, времето за откупуване на инвестициите трябва да е не по-голямо от 5 години.

### Възприемане на нововъведенията



Пълният набор от мерки изисква въвеждането в експлоатация на нови типове осветители с димируеми ПРА.

Ако се приеме, че най-иновативните 3% от пазара ще са готови за такива инвестиции, следователно става въпрос за:

3% от 12 млн лв. = 360 хил. лв.- възможна пазарна ниша за свръхиновативни решения в областта на уличното осветление.

**Типичен случай на нова уредба  
ЧЕТИРИ ВАРИАНТА ЗА  
ОСВЕТЯВАНЕ НА ТАЗИ УЛИЦА:**

I. Вариант – конвенционален

осветител с НЛВН и магнитен баласт;

II. Вариант – осветител с НЛВН и сдвоен дросел;

III. Вариант - осветител с МХЛ и ЕПРА (Cosmopolis – Philips);

IV. Вариант - осветител с НЛВН и ЕПРА;

V. Вариант – светодиоден (СД) осветител – ЕПРА е задължително.

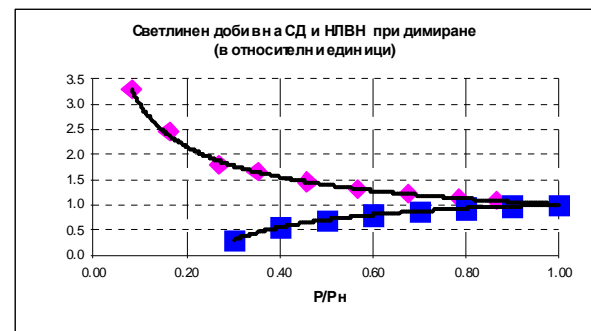
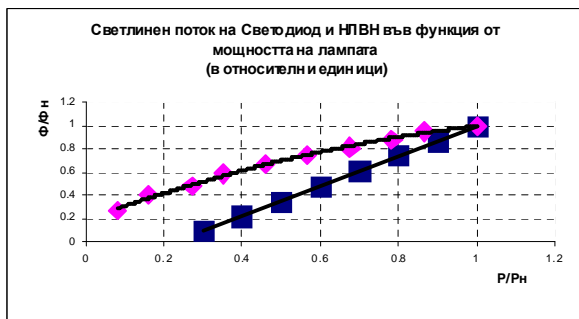
**СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ МЕЖДУ УЛИЧЕН ОСВЕТИТЕЛ С НЛВН 70 W И УЛИЧЕН  
СВЕТОДИОДЕН ОСВЕТИТЕЛ 24 W**

ТИП ОСВЕТИТЕЛ	ДИМЕНСИЯ	УЛИЧЕН ОСВЕТИТЕЛ С НЛВН С МОЩНОСТ 70 W	СВЕТОДИОДЕН УЛИЧЕН ОСВЕТИТЕЛ С 24 БРОЯ LED И СПЕЦИАЛНИ ЛЕЩИ
МОЩНОСТ	W	$P_{от} = P_{л} + \Delta P_{пра} = 70 + 14 = 84 \text{ W}$	$P_{от} = 24 \text{ W} + 6 \text{ W} = 30 \text{ W}$
СВЕТЛИНЕН ПОТОК НА ЛАМПАТА	lm	6000	24 бр. X 110 lm = 2640 lm
КПД НА ОСВЕТИТЕЛЯ	%	67	90
ЕКСПЛОАТАЦИОНЕН ФАКТОР		0,67	0,9
СВЕТЛОРАЗПРЕДЕЛЕНИЕ		I max при $\gamma = 58 \text{ grad}$	I max при $\gamma = 65 \text{ grad}$
ПОТОК ОТ ОСВЕТИТЕЛЯ ПАДАЩ ВЪРХУ ПЪТНОТО ПЛАТНО	%	55	85



ПЕРИОД НА ПОДМЯНА НА ЛАМПАТА	ГОД.	4	12
ГОДИШНА КОНСУМАЦИЯ НА ЕЛ. ЕНЕРГИЯ ПРИ $T_{\tau}=4000$ h	kWh	336	120
ГОДИШНИ РАЗХОДИ ЗА ЕЛ. ЕНЕРГИЯ ПРИ ЦЕНА $C_e = 0,20$ лв./ kWh	лв	$C1 = 67$	$C2 = 24$
ЦЕНА НА ОСВЕТИТЕЛ КОМПЛЕКТ С ЛАМПА	лв	$K1 = 144$	$K2 = 240$
СРОК НА ОТКУПУВАНЕ			$T_{отк.} = K2 - K1 / C1 - C2 = 240 - 144 / 67 - 24 = 2,2$ год

### Предимства на СД пред НЛВН при димиране



При НЛВН светлинният поток намалява по-бързо от мощността на лампата при димиране. Казано по друг начин, светлинният добив на НЛВН намалява при димиране – при излъчване на 50% от номиналния поток, ще се консумира 65% от номиналната мощност.

При СД светлинният добив расте с намаляване на мощността. Затова, за да се получи 50% от светлинния поток е необходима едва 1/3 от номиналната мощност

#### Управление на СД осветител

При светодиоден осветител:

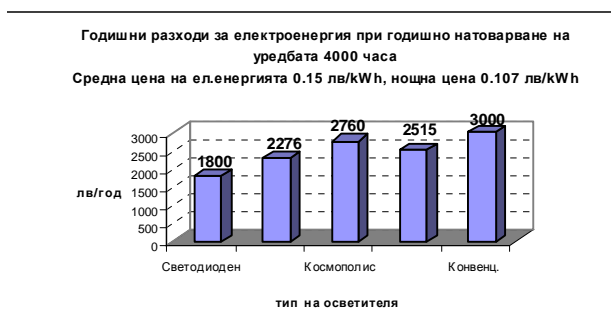
Икономия поради полунощен режим при намален трафик – 31 %

Икономия поради MF - 15%

(светлинният добив расте при намаляване на мощността, затова процентите са много големи отколкото при НЛВН дори с ЕПРА)

Следователно икономия само от управление от 46% или средна консумирана мощност  $P_{ср}=2,55$  kW

#### Годишни разходи при различните примерни варианти

**Конвенционален осветител:**

Цена на кабели– 22 000 лв.

Год. разход на електроенергия- 3000 лв

Цена на осветителя 200 лв (30x200=6000 лв.)

Инвестиции: 28000 лв., год. разходи за енергия 3000 лв.

**Светодиоден осветител**

Цена на кабели– 6 000 лв.

Год. разход на електроенергия- 1800 лв

Цена на осветителя 600 лв (30x600=18000 лв.)

Инвестиции: 24000 лв., год. разходи за енергия 1800 лв.

В близко бъдеще може да се очаква едновременно намаляване на цената на светодиодните осветители и увеличаване на техния светлинен добив, което ще ги направи най-изгодния вариант.

**Сравнение между вариантите**

	КОН ВЕНЦ.	СДВОЕН ДР.	МХЛ Космоп олис	ЕПРА	СВЕТОДИ- ОДЕН
единична цена на осветител, лв.	200	260	340	300	600
общо осветители, лв.	6000	7800	10200	9000	18000
кабели, лв.	22000	22000	6000	6000	6000
общо инвестиции, лв.	<b>28000</b>	<b>29800</b>	<b>16200</b>	<b>15000</b>	<b>24000</b>
год. разх. за ел.енергия, лв.	<b>3000</b>	<b>2500</b>	<b>2760</b>	<b>2300</b>	<b>1800</b>

**Светлинно замърсяване и енергийна ефективност**

Като деца, в едно много далечно време, нашите майки, бащи и дядовци насочваха вечер нашите погледи към небето, когато се прибирахме по тъмно от нивата, и за да не заспим, ни показваха голямата и малката мечка, луната и образите по нея и безброй звезди от небесната шир. Случваше се да падне звезда и те бързо шепнеха „Намисли си нещо и то ще се сбъдне”. Интересът беше огромен. Очите ни ставаха ей такива от



интерес... Това беше на село, на полето... Опитайте се сега в осветена София да видите звезди. Доста трудно ще бъде.

Светлинното замърсяване отнема тъмнината от нощта и драстично променя светлинния ритъм, към който са привикнали много форми на живот, включително и ние самите. Нощем почти цяла Европа и Япония представляват мъглявина от светлини; същото се отнася и за по-голяма част от САЩ. Популярни са сателитните снимки на нощна Европа, Япония, Америка, Австралия... Много ясно личи разпределението на светлинната емисия в различните части на света. В повечето градове небето изглежда, сякаш звездите са изчезнали на тяхно място е останала само пуста сивота, като изобщо не виждаме и не помним първичната красота на безлунната нощ.

Тъмнината е също толкова значима за нашето биологично благополучие и вътрешният ни часовник, колкото и светлината. В течение на последните стотина години ние извършихме експеримент върху себе си с неизвестен край. Светлинното замърсяване може би нанася биологични вреди и на хората? В това направление се правят различни научни изследвания. Едно ново изследване показва пряка взаимозависимост между високата заболяемост от рак на гърдата сред жените и яркото нощно осветление в кварталите, където живеят. Очаква се в близко време да се появят множество научни факти за негативното въздействие на светлинното замърсяване върху хората.

Експлоатационният срок на един уличен осветител се приема 25 години.

За изградени осветителни уредби се използва регулатор на захранващото напрежение (автотрансформатор) или групов честотен регулатор, като се повишава захранващата честота до 200-300 Hz.

Показатели		Вид на уличните осветители		
		Конвенционален уличен осветител	Уличен осветител с оптимално светлоразпределение	LED уличен осветител
Мощност на лампата/осветителя	W	100/115	70/84	60/70
Междустълбие	м.	30	40	40
Брой стълбове и осветители на 1 км.	бр.	33	25	25
Инсталирана мощност	kW	3,8	2,1	1,75
Годишна консумация на ел. енергия	kWh	15200	8400	7000
Разходи за ел. енергия за период от 25 години	лв	76000	42000	35000
Капитални разходи за изграждане на осв. уредба (осв. тела + стълбове+монтаж)	лв	13860	15000	16250
Светлинно замърсяване Qгод.	Mlm.h	78,5	32	25

От представените в табл. 2 резултати се вижда, че приложението на светодиодни и улични осветители с оптимално светлоразпределение и IP66 води до незначително увеличение на първоначалните инвестиции от 10% до 20%, но създава предпоставки за чувствителни икономии на ел. енергия в размер от 45% до 55% и намаляване на светлинното замърсяване от 2 до 3 пъти.



Нека всички заедно направим така, че отново да можем да виждаме Млечният път,  
Малката и Голямата мечка, Зорницата и падащите звезди!

**Автор:**

д-р инж. Христо Николов Василев, професор в катедра „Електроснабдяване,  
електрообзавеждане и електротранспорт“, Денима 2001 ООД, e-mail:  
[h.vasilev@denima2001.com](mailto:h.vasilev@denima2001.com); Тел.+3592 962 35 81;