

# ИЗВЕСТИЯ

НА СЪЮЗА НА УЧЕНИТЕ - РУСЕ / ТОМ 16

ISSN 1311-106X

2022

СЕРИЯ 1

ТЕХНИЧЕСКИ  
НАУКИ

СЪЮЗ НА УЧЕНИТЕ - РУСЕ



# ИЗВЕСТИЯ

---

НА СЪЮЗА НА УЧЕНИТЕ - РУСЕ

---

Серия 1

ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ

Том 16, 2022





# **PROCEEDINGS**

**of the Union of Scientists Ruse**

**Book 1**

**TECHNICAL SCIENCES**

**Volume 16, 2022**



## ИЗВЕСТИЯ НА СЪЮЗА НА УЧЕНИТЕ - РУСЕ

**Известията на Съюза на учените - Русе** е научно списание, което се издава от 1998 г. Годишно списанието излиза във вид на няколко серии. Основни езици са български и английски, с тенденция постепенно да се премине към цялостното му отпечатване на английски.

Всяка серия се подготвя от съответния редакционен съвет, одобрен от Управителния съвет на СУ – Русе. **Редакционният съвет** урежда всички организационни и технически въпроси, свързани с издаването, одобряването на рецензентите и научната редакция на постъпващите материали.

За публикуване се приемат научни и научноприложни статии, съобщения, обзори с конкретни приноси в областта на физико-математическите, хуманитарните, технологичните, техническите и социалните науки.

**Авторите носят отговорност за своите материали.** Текстовете се представят в редакцията на електронен носител. Оформлението на материалите трябва да бъде съобразено с приложението на последната страница модел.

Всички материали се рецензират от хабилитирани специалисти в съответната научна област. Тези материали, неполучили положителна рецензия, няма да бъдат отпечатани. Ръкописи не се връщат. Хонорари на авторите не се изплащат.

След отпечатването на серията авторският колектив може да си закупи цялата книжка.

**Известията на Съюза на учените - Русе** се изпращат във всички големи библиотеки в страната и в редица български и чуждестранни университети.

**Главен редактор:** проф. д-р Златоживка Здравкова

**Отговорни редактори:** доц. д-р Теодор Илиев и проф. Владимир Хвърчилков

**Предпечат и техническа подготовка:** доц. д-р Ивайло Стоянов

**Дизайн на корицата:** д-р инж.-диз. Теодор Кючуков

**Адрес на редакцията:** Русе 7000, ул. "Константин Иречек" 16,

**Е-поща:** [suruse@uni-ruse.bg](mailto:suruse@uni-ruse.bg), **URL:** <http://suruse.uni-ruse.bg/>

© СЪЮЗ НА УЧЕНИТЕ – РУСЕ

**Печат:** Академично издателство „Русенски Университет“



## СЪДЪРЖАНИЕ / CONTENTS

|                                                                                                                                                          |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Управление скоростта на въртене на постояннотоков двигател с размит регулатор настроен чрез генетичен алгоритъм .....</b>                             | <b>7 – 12</b>  |
| Донка Иванова, Анка Кръстева                                                                                                                             |                |
| <b>Controlling the rotational speed of a DC motor with a fuzzy controller tuned by a genetic algorithm</b>                                               |                |
| Donka Ivanova, Anka Krasteva                                                                                                                             |                |
| <b>Проектиране на потребителския интерфейс на компютърна игра .....</b>                                                                                  | <b>13 – 28</b> |
| Лазар Хекимов                                                                                                                                            |                |
| <b>Designing the user interface of a computer game</b>                                                                                                   |                |
| Lazar Hekimov                                                                                                                                            |                |
| <b>Изследване влиянието на слънчевата радиация върху производителността на фотоволтаични модули.....</b>                                                 | <b>29 – 33</b> |
| Константин Коев                                                                                                                                          |                |
| <b>Investigation of the solar irradiance influence on electrical energy production by photovoltaic modules</b>                                           |                |
| Konstantin Koev                                                                                                                                          |                |
| <b>Изследване влиянието на температурата на фотоволтаични модули върху производителността им .....</b>                                                   | <b>34 – 38</b> |
| Константин Коев, Анка Кръстева                                                                                                                           |                |
| <b>Investigation of the influence of the temperature of photovoltaic modules on their electrical energy production</b>                                   |                |
| Konstantin Koev, Anka Krasteva                                                                                                                           |                |
| <b>Нормативни документи, определящи изискванията към асинхронни двигатели .....</b>                                                                      | <b>39 – 42</b> |
| Вяра Русева, Анка Кръстева                                                                                                                               |                |
| <b>Normative documents determining requirements for asynchronous motors</b>                                                                              |                |
| Vyara Ruseva Anka Krasteva                                                                                                                               |                |
| <b>Analysis of the potential of distance education types to offer a high-quality education process from the engineering education perspective.....</b>   | <b>43 – 49</b> |
| Ventsislav P. Keseev                                                                                                                                     |                |
| <b>Симулационен метод за подобряване ефективността на далекопроводите от електрическите мрежи .....</b>                                                  | <b>50 – 56</b> |
| Васил Иванов                                                                                                                                             |                |
| <b>A simulation method for improving the efficiency of power lines from electric networks</b>                                                            |                |
| Vasil Ivanov                                                                                                                                             |                |
| <b>Анализ на методите и политиките за зареждане на електрически превозни средства и тяхното влияние върху разпределителните електрически мрежи .....</b> | <b>57 – 63</b> |
| Росен Даскалов                                                                                                                                           |                |
| <b>Analysis of electric vehicle charging methods and their impacts on power distribution systems</b>                                                     |                |
| Rosen Daskalov                                                                                                                                           |                |





## УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТТА НА ВЪРТЕНЕ НА ПОСТОЯННОТОКОВ ДВИГАТЕЛ С РАЗМИТ РЕГУЛАТОР НАСТРОЕН ЧРЕЗ ГЕНЕТИЧЕН АЛГОРИТЪМ

Донка Иванова, Анка Кръстева  
Русенски университет „Ангел Кънчев“

### Controlling the rotational speed of a DC motor with a fuzzy controller tuned by a genetic algorithm

Donka Ivanova, Anka Krasteva  
Angel Kanchev University of Ruse

**Abstract:** In the present article, an optimal fuzzy PID controller is synthesized using a genetic algorithm for controlling the rotational speed of a DC motor. The proposed controller has a very simple structure - with one input, three rules and six tuning parameters. A classic PID controller is also been synthesized. The results of the study show that the system with the synthesized optimal fuzzy PID controller has better quality indicators compared to the system with a classic PID controller. The use of the genetic algorithm for the synthesis of fuzzy regulators allows to significantly reduce the base of fuzzy rules and easy tuning of the parameters of the regulator.

**Keywords:** Fuzzy controller, PID controller, Genetic algorithm, Optimal control.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Генетичният алгоритъм (ГА) е стохастичен метод за решаване на оптимизационни задачи с и без ограничения, основан на естествената селекция, процесът определящ биологичната еволюция. ГА променя на всяка стъпка популацията от индивиди, като избира тези от текущото поколение, които ще продължат развитието си, т.е. ще се използват за следващата генерация. Селекцията на най-добрите индивиди става въз основа на функционал или функционали (целеви функции), даващи оценка за близостта на индивида с желаното решение. Правилата по които става изборът на индивиди от текущата популация са:

- правила за селекция – избират се най-добрите индивиди, които да участват в създаването на следващото поколение или да бъдат прехвърлени без промяна в следващото поколение;

- правила за кръстосване – избраните чрез селекция индивиди се кръстосват, като се цели да се получат индивиди, които да наследят най-добрите характеристики на родителите си;

- правила за мутация – чрез случайна промяна на някои от гените се гарантира, дори и нито един от индивидите в текущото

поколение да не съдържа необходимия ген, пак да се достигне екстремум.

Генетичният алгоритъм може да се приложи за решаване на различни оптимизационни задачи, за решаването на които не са подходящи стандартните оптимизационни методи, включително и такива, при които целевата функция е прекъсната, недиференцируема, стохастична или силно нелинейна.

В много разработки се разглеждат хибридни системи, които комбинират различни интелигентни методи, а именно генетичен алгоритъм с размита логика [2, 3, 4, 5].

Размитата логика намира все по-голямо приложение при управление на различни технологични процеси. Проектирането на размити регулатори, в повечето случаи, се извършва чрез компютърна симулация. Много разработки се отнасят до реализацията на размито ПД, ПИ и ПИД управление, избор на структура и сравнение на размитите с класическите регулатори [1, 6]. Обособени са две групи параметри на размитите регулатори: структурни и параметри за настройка [3]. Към структурните параметри, определяни off-line, се отнасят входно-изходните променливи и



функциите им на принадлежност, базата от размити правила, механизмът за получаване на размити изводи и механизмът за де-размиване. Към параметрите за настройка, определяни on-line, се отнасят коефициентът на пропорционалност, коефициентите на интегралната и диференциалната съставки, параметрите на функциите на принадлежност и мащабните коефициенти. Следователно проектирането на размити ПИД регулатори може да се разглежда като оптимизационна задача, решението на която дава оптималните стойности на параметрите за настройка на регулаторите.

Целта на настоящата статия е да се синтезира оптимален размит ПИД регулатор чрез генетичен алгоритъм за управление на постояннооток двигател и се сравнят процесите с тези, получени в системата с класически ПИД регулатор.

### ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Обект на изследване е постояннооток електродвигател. Съгласно теорията на постояннооток електрически машини двигателят се описва с уравненията [6]

$$J \frac{d\omega}{dt} + B\omega = K_M i_a - M_C, \quad (1)$$

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a = u_a - K_e \omega, \quad (2)$$

където  $J$  е инерционният момент на ротора,  $[kg.m^2]$ ;

$B$  – коефициентът на триене,  $[N.m.s/rad]$ ;

$K_e$  – константата в обратната връзка по е.д.н.,  $\left[\frac{V}{rad/s}\right]$ ;

$K_M$  – константата,  $[N.m/A]$ ;

$R_a$  – активното съпротивление на котвената верига,  $[\Omega]$ ;

$L_a$  – индуктивността на котвената верига,  $[H]$ ;

$i_a$  – котвеният ток,  $[A]$ ;

$u_a$  – напрежението, захранващо котвената верига,  $[V]$ ;

$M_C$  – съпротивителният момент,  $[N.m]$ ;

$\omega$  – ъгловата скорост,  $[rad/s]$ .

За предавателната функция на постояннооток двигател се получава

$$W(s) = \frac{\omega(s)}{u_a(s)} = \frac{K_M}{L_a J s^2 + (R_a J + L_a B)s + R_a B + K_e K_M}. \quad (3)$$

Параметрите на постояннооток двигател са [6]:  $L_a = 0,1215H$ ,  $R_a = 11,2\Omega$ ,  $J = 0,02215kg.m^2$ ,  $B = 0,002953 N.m.s/rad$ ,  $K_M = 1,28 N.m/A$ ,  $K_e = 1,28 \frac{V}{rad/s}$ .

### РАЗМИТ ПИД РЕГУЛАТОР, НАСТРОЕН ЧРЕЗ ГЕНЕТИЧЕН АЛГОРИТЪМ

Целта при проектиране на размити ПИД регулатори е да се постигне желаното управление чрез регулатор с възможно най-проста структура и най-малко на брой параметри за настройка. На фиг. 1 е представена структурата на размит ПИД регулатор с една входна и една изходна променливи [3].

Входна променлива за размития регулатор е грешката  $e(n) = r(n) - y(n)$  ( $r(n)$  е задаващото въздействие,  $y(n)$  е изходната променлива на системата), а изходна променлива е  $u(n)$ . Нормализираното управляващо въздействие е  $\hat{u}(n) = \hat{K}_P \hat{u}_P(n) + \hat{K}_I \sum_{i=0}^n \hat{u}_P(i) \Delta t + \hat{K}_D \frac{\Delta \hat{u}_P(n)}{\Delta t}$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$ ,  $(4)$

където  $\hat{K}_P$ ,  $\hat{K}_I$  и  $\hat{K}_D$  са нормализираните коефициенти за пропорционалната, интегралната и диференциалната съставки.

Нормализираната грешка се определя като

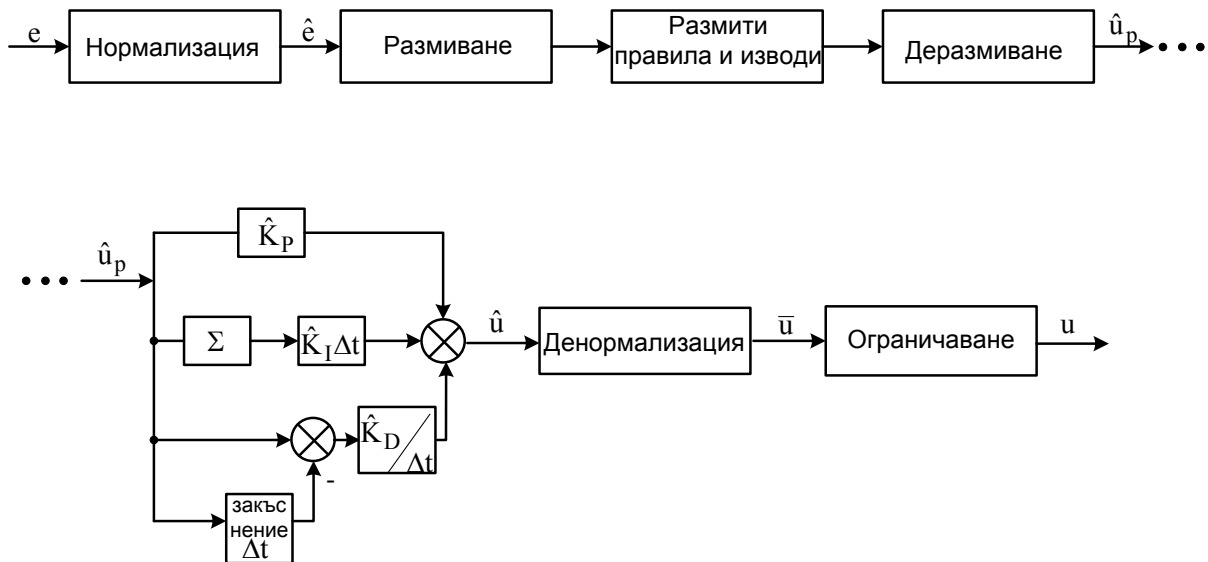
$$\hat{e}(n) = \begin{cases} 1, & s_e e(n) > 1 \\ s_e e(n), & |s_e e(n)| \leq 1 \\ -1, & s_e e(n) < -1, \end{cases} \quad (5)$$

където  $s_e = \left| \frac{1}{(r(0) - y(0))} \right|$ ,  $r(0)$  и  $y(0)$  са началните стойности на задаващото въздействие и на управляемата величина.

Денормализацията на управляващото въздействие  $\hat{u}$  е по

$$\bar{u}(n) = s_u \hat{u}(n),$$

където  $s_u$  е коефициентът на денормализация.



Фиг. 1. Структура на размит ПИД регулатор

За управляващото въздействие се записва

$$u(n) = \begin{cases} u_{max}(n), & \bar{u}(n) > u_{max} \\ \hat{u}(n), & u_{min} \leq \bar{u}(n) \leq u_{max} \\ u_{min}(n), & \bar{u}(n) \leq u_{min} \end{cases} \quad (6)$$

където  $u_{min}$  и  $u_{max}$  са възможните минимална и максимална стойности на входната променлива на обекта за управление.

Разглежданият размит регулатор е с три правила

П1: If ( $\hat{e}$  is NL) then ( $\hat{u}_p$  is NL)

П2: If ( $\hat{e}$  is PL) then ( $\hat{u}_p$  is PL)

П3: If ( $\hat{e}$  is AZ) then ( $\hat{u}_p$  is AZ),

като размитата променлива „NL” е за „отрицателно големи”, „PL” – за „положително големи” и „AZ” – за „приблизително нула” стойности. Функциите на принадлежност за променливите  $\hat{e}$  и  $\hat{u}_p$  са избрани триъгълни, като за  $\hat{e}$  са фиксирани параметрите, а за  $\hat{u}_p$  се търсят оптималните стойности, фиг. 2.

Следователно разглежданият размит регулатор има само три правила и шест параметъра за настройка, като

$$0 < \hat{K}_P \leq 1, 0 < \hat{K}_I \leq 1, 0 < \hat{K}_D \leq 1$$

$$0 < s_u \leq \max(|u_{min}|, |u_{max}|),$$

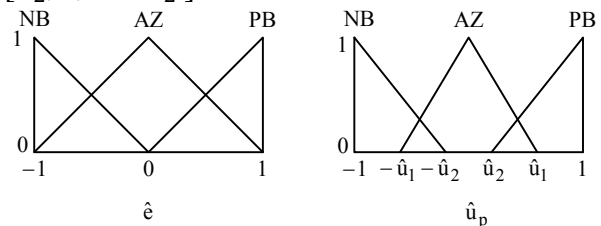
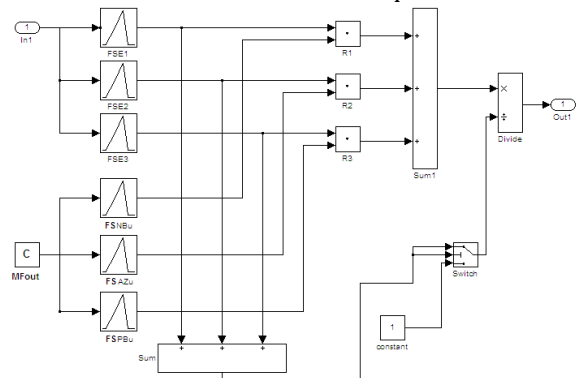
$$0 < u_1 \leq 1, 0 < u_2 \leq 1,$$

За реализиране на размития регулатор не може да се използва FIS редактора на Fuzzy Logic Toolbox на Matlab, защото там параметрите на функциите на принадлежност се въвеждат с конкретните си числени стойности. Затова размитият регулатор е

моделиран в MATLAB/SIMULINK, фиг. 3. На входа In1 се подава сигналът  $\hat{e}$ , а на изхода Out1 се получава  $\hat{u}_p$ .

Параметрите на триъгълните функции на принадлежност FSE1, FSE2 и FSE3 на входната променлива са  $[-2, -1, 0]$ ,  $[-1, 0, 1]$  и  $[0, 1, 2]$  (лява, връх и дясна стойност на триъгълната функция на принадлежност) за NL, AZ и PL съответно. Параметрите на функциите на принадлежност на изходната променлива са

$$[-2 + u_2, -1, -u_2], [-u_1, 0, u_1] \text{ и } [u_2, 1, 2 - u_2]$$

Фиг.2. Функции на принадлежност на променливите  $\hat{e}$  и  $\hat{u}_p$ 

Фиг. 3. SIMULINK модел на размития регулатор

за NL, AZ и PL съответно, като конкретните стойности на  $u_1$  и  $u_2$  се определят чрез оптимизационната процедура. Трите правила на размития регулатор са моделирани чрез блоковете R1, R2 и R3. След разделяне на сумата от изходите на блоковете R1, R2 и R3 със сумата от изходите на функциите на принадлежност FSE1, FSE2 и FSE3 се извършва деразмиване по метода на центъра на тежестта.

Настройката на размития ПИД регулатор се свежда до решаване на оптимизационна задача при зададен критерий  $J_T$ . Използването на критерии, основани само на сигнала на грешката в системата трудно биха удовлетворили противоречивите изисквания между точността в установен режим и динамичните показатели на системата – времетраене и пререгулиране. Затова все по-често се използват не един, а няколко критерия  $J_i$ , отчитащи особеностите и изискванията на съответната задача. Решаването на получената задача за векторна оптимизация може да стане по различни начини. Най-често се прилага тегловният метод, при който задачата се свежда до оптимизация при един критерий  $J_T = \sum_i \omega_i J_i$ . Тегловните коефициенти  $\omega_i$  се използват, ако има голяма разлика между стойностите на отделните критерии  $J_i$ , или ако желаем някой да има по-голяма тежест. Връзката между обобщения критерий  $J_T$  и параметрите за настройка на размития ПИД регулатор е нелинейна, което определя целесъобразността от прилагане на генетичния алгоритъм за настройката му.

В настоящата работа е използван критерият [3]

$$J_T = \omega_1 \frac{\int_0^T e^2(t) dt}{\max(e(n))} + \omega_2 \sigma + \omega_3 \frac{t_p}{T}, \quad (7)$$

където  $t_p$  е времетраенето на преходния процес, s;

$\sigma$  - пререгулирането, %;

$T$  - времето за симулация, s.

При единично стъпаловидно входно въздействие се предполага, че  $\max(e(n)) = 1$ .

Оптимизационната задача за настройка на размития ПИД регулатор е решена в MATLAB и SIMULINK. В SIMULINK е направен модел на затворената система за автоматично регулиране. Въведени са променливите  $u_1$ ,  $u_2$  за функциите на принадлежност на изходната променлива на размития регулатор, променливите  $\hat{K}_P$ ,  $\hat{K}_I$  и  $\hat{K}_D$ , определящи нормализираните пропорционална, интегрална и диференциална съставки и променливата  $s$ . Функцията, изчисляваща критерия за оптимизация е записана в M-file. В него са обявени глобалните променливи  $\hat{K}_P$ ,  $\hat{K}_I$ ,  $\hat{K}_D$ ,  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $s$ , чрез командата `sim` се извиква SIMULINK модела и се изчислява целевата функция. Генетичният алгоритъм се стартира чрез M-file или в команден режим на MATLAB чрез командата `GA`. Оптимизационната процедура се прекратява при достигане на зададения толеранс при изчисляване на целевата функция.

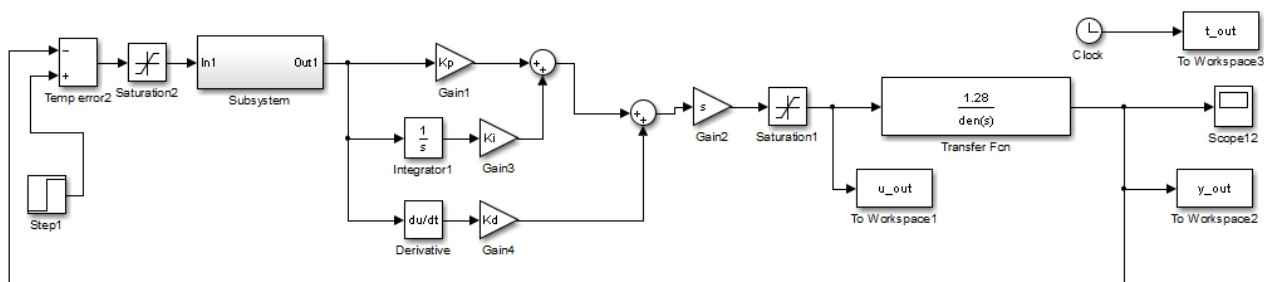
За оптималните параметри са получени:  $\hat{K}_P = 1$ ,  $\hat{K}_I = 8.3$ ,  $\hat{K}_D = 0.008$ ,  $u_1 = 0.990$ ,  $u_2 = 0.099$ ,  $s = 1.2$ .

На фиг. 4 е показан симулационният модел на системата за управление с оптималния размит ПИД регулатор.

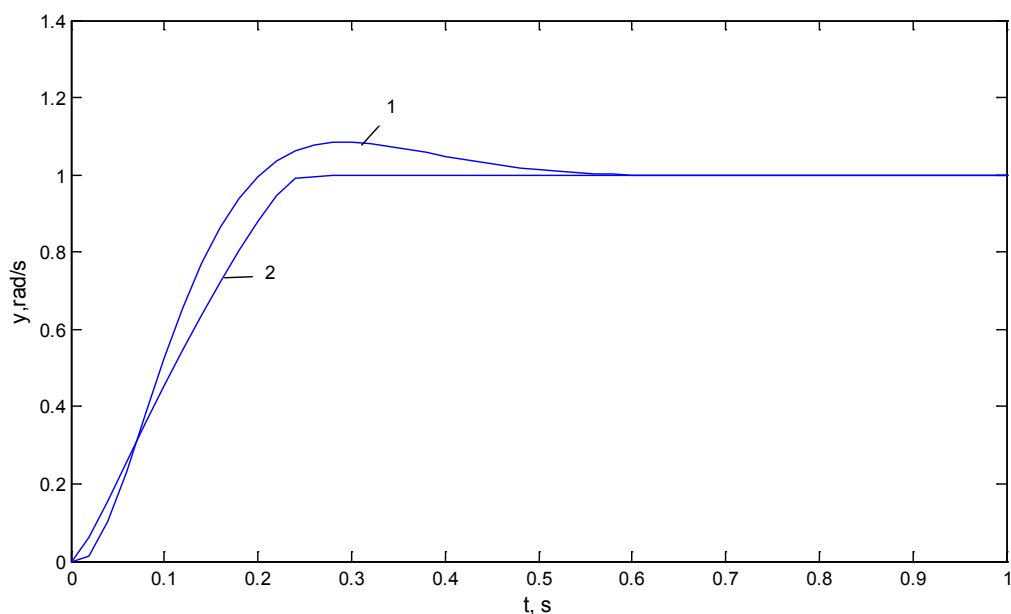
За сравнение е синтезирана и система за автоматично управление на скоростта на постоянноотоквия двигател с класически ПИД регулатор с Autotuning на Matlab. Преходният процес на системата е показан на фиг. 5 – крива 1. Получените показатели на качеството са пререгулиране  $\sigma = 8,53\%$  и времетраене  $t_p = 0,473$  s.

Преходният процес на системата за управление с оптималния размит ПИД регулатор е показан на фиг. 5 – крива 2. Той е апериодичен и със значително по-малко времетраене  $t_p = 0,22$  s.

Очевидно, преходният процес в системата за управление с оптималния размит ПИД регулатор е без пререгулиране и с високо бързодействие.



Фиг. 4. Модел на системата за управление с оптималния размит ПИД регулатор



Фиг. 5. Преходни процеси в САУ: 1- с класически ПИД регулатор;  
2 – с оптимален размит ПИД регулатор

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процеса на изследване е синтезирана система за управление скоростта на въртене на постояннотоков двигател с класически ПИД регулатор. Синтезиран е и оптимален размит ПИД регулатор с един вход и един изход, и само три правила и с шест параметъра за настройка. Оптималният регулатор е настроен в Matlab/Simulink. Проведените симулации показаха, че преходният процес в системата за управление с оптималния размит ПИД регулатор е аperiодичен и бързодействието на системата е по-голямо от това в системата с класически ПИД регулатор. По-добрите показатели на качеството в системата с размит ПИД регулатор позволява управление на системата с размит ПИД регулатор с проста структура и

само три правила за получаване на размития извод.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ahmed, H., Dr. Gagan Singh, Vikash Bhardwaj, S. Saurav, S. Agarwal. Controlling of DC Motor using Fuzzy Logic Controller. Conference on Advances in Communication & Control Systems, 2013, pp. 666-670.
2. Changliang Xia, P. Guo, Tingna Shi and M. Wang. Speed Control of Brushless DC Motor using Genetic Algorithm Based Fuzzy Controller. Proceedings of the 2004 Int. Conf. on Intelligent Mechatronics and Automation, Chegdu, China, 2004, pp. 460-464.
3. Hu, Baogang, G. K. I. Mann, R. G. Gosine. New Methodology for Analytical and Optimal Design of Fuzzy PID Controllers. IEE Trans-

actions on Fuzzy Systems, Vol.7, № 5, 1999, pp. 521 – 539.

4. Nemat Changizi, M. Moghadas, M. Dastranj, M. Farshad. Design a Fuzzy Logic Based Speed Controller for DC Motor with Genetic Algorithm Optimization, Applied Mechanics and Materials, Vol. 110-116, 2012, pp. 2324-2330.

5. Sheroz Khan, S. F. Abdulazeez, L.W. Adetunje et all. Design and Implementation of

an Optimal Fuzzy Logic Controller Using Genetic Algorithm, Journal of Computer Science 4(10), 2008, pp. 799-803.

6. Yaras, B., R. Huseynov, M. Namazov, I. Emre Celikkale, M. Seker. Fuzzy Control and Sliding Mode Fuzzy Control of DC Motor, Journal of Engineering and Natural Science, Vol. 32, 2014, pp. 97-108.

**За контакти:**

доц. д-р инж. Донка Илиева Иванова  
Катедра „Автоматика и мехатроника”  
Русенски университет “Ангел Кънчев”  
тел.: 082 - 888 266  
E-mail: divanova@uni-ruse.bg

доц. д-р инж. Анка Христова Кръстева  
Катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане”  
Русенски университет “Ангел Кънчев”  
тел.: 082 - 888 301  
E-mail: akrasteva@uni-ruse.bg

## ПРОЕКТИРАНЕ НА ПОТРЕБИТЕЛСКИЯ ИНТЕРФЕЙС НА КОМПЮТЪРНА ИГРА

Лазар Хекимов

Русенски университет „Ангел Кънчев“

---

### Designing the user interface of a computer game

Lazar Hekimov

Angel Kanchev University of Ruse

**Abstract:** The article presents the steps needed to build the user interface of the computer game "A tale of a Knight" using modern drawing techniques and programming technologies. The theme of the game is formulated, a choice of development environment is made, the game design features, as well as the creation of help views with Unity and Freephototool. A user guide for the developed prototype is included, including displaying different views of the game in different modes.

**Keywords:** Computer game, Unity3D, Freephototool, Audacity.

---

### ВЪВЕДЕНИЕ

Компютърните игри са изминали дълъг път от създаването си до вида, който познаваме днес [3]. Започнали като прости упражнения, които били създавани от студенти в университетите за подпомагане на научните си изследвания и прераснали в самостоятелна индустрия. Играта има цел, към която геймърът се стреми и която може да постигне стига да бъде достатъчно находчив, ловък или смел [3, 17]. Срещат се игри в най-разнообразни жанрове [9, 13, 21, 23]: екшън от първо лице, екшън от трето лице, ролеви игри, приключенски игри, симулационни игри, спортни игри, стратегически игри (походови стратегии и реално-времеви стратегии), platform игри, casual игри и др.

Човеко-машинната комуникация е интердисциплинарна задача, при която към практиките от компютърните науки трябва да се приложат например теории и принципи от психологията [1], социологията и антропологията, както и подходи в сферата на дизайна и индустриалния дизайн за създаване на интерактивни продукти.

Човеко-машинният интерфейс (ЧМИ) дефинира начина, по който хората и компютрите си взаимодействат. Визуално-базираната човеко-машинна комуникация буди най-голям интерес сред изследователската общност в сферата на ЧМИ. Типичен представител е разпознаването на жестове [10, 11, 12]. Те се използват за пряко взаи-

модействие човек–машина в релация на задаване на команда и последващо действие/реакция.

Сензорно-базираната човеко-машинна комуникация има широка област на приложение. Характеризира се с използването на поне един физически сензор за осъществяването на комуникация, като сензорите могат да бъдат както много примитивни, така и много сложни [8].

Интерфейсът човек-компютър чрез анализ на активността на мозъка (Brain-Computer Interaction Interface - BCII) е създаден през последните години [5, 6, 7]. Става дума за уникалното взаимодействие между човек и компютър, което се осъществява след регистриране и обработка на сигнали с произход от човешкия мозък (най-често това са електроенцефалографските сигнали - ЕЕГ). Основното им предназначение е за използване в игрите.

Целта на представената разработка е да се проектира потребителския интерфейс на играта „A tale of a Knight“, като се прилагат съвременни техники за рисуване и програмни технологии.

### Сценарии на играта

Представената игра с име „A tale of a Knight“ ни запознава с началото на историята на сина на градския ковач, чиято цел е да открие отдавна изгубеният магически кристал, изчезнал от върха на жезъла на стария кралски магьосник. След изковава-

нето на защитната си броня и меча си, той отива при магьосника, който използва малка част, останала от изчезналия кристал, чрез който дава на меча и неговият собственик, магически способности.

След дълъг път, младият ковач се сблъсква с крадеца на кристала, който вече е успял да отключи неговите магически свойства. С опита си да хване крадецът, синът на ковача бива заслепен от ярка светлина, след което се събужда на странно, непознато място, където неговото истинско приключение тепърва предстои.

Историята е представена под формата на двуизмерна игра, която в процеса си на разработка разкрива историята на сина на ковача, неговите прежеждия, приключения, разкриващи пътя на младо момче, което се превръща в умел рицар.

## ПРОЕКТИРАНЕ НА ОБЕКТИТЕ В ИГРАТА

Поредна стъпка, която трябва да предприемем преди започването на реалната имплементация на приложението е създаването на игровите обекти. Играта предоставя десет обекта, които потребителя може да контролира. Проектирането на всеки един обект може да се раздели на определяне на основните му характеристики и изработка на външния му вид (текстурите), като всеки обект притежава по няколко текстури в зависимост от състояние, в което се намира.

### Обекти, текстури, анимации и функции

#### Главен герой

Главният герой в играта, контролиран от играча, е изграден от 8 части, чрез които са създадени кадрите на анимациите, които той притежава.



Фиг. 1. Главен герой

Главния герой може да се движи, скача, стреля магия (огнена топка), атакува с меч, умира и стои неподвижно като зад всяко негово действие се изпълнява дадена анимация.

Чрез манипулацията на всеки елемент от тялото на героя са създадени кадрите изграждащи спрайт листа с отделни анимации.

Анимация на атаката на героя:



Фиг. 2. Анимация при атака

За управлението на героя, неговите анимации и действия са използвани множество елементи. За тяло на героя - два колайдера (Box и Circle Collider2D), като за ориентацията на посоката на героя се използва функцията `flip()` в скрипта на `PlayerController`, чрез която се манипулира координатата на X на героя между 1 и -1.

Оранжевият ромб е `groundCheck`, който представлява празен игрови обект, управляван от скрипта `PlayerController`, чрез който се изчертава малък кръг без физически атрибути и отчита слой, в който се намира той, като слой върху който може да стои героя е `Ground`. Ако `groundCheck` елемента се намира в слой от тип `Ground`, тогава се задава стойност `true` на булевата променлива `grounded`, която се използва от контролера на анимации, за определяне на активната анимация (`Idle`).

Лилавият ромб е празен обект, чийто координати се използват като точка за създаване на огнените кълба от скрипта `PlayerController`, като при натискане на десния бутон на мишката или `alt` се извиква функцията `fireBall()`, която проверява времето на последното извикване, и ако е по-голямо от зададената скорост за стрелба, се задава стойност на булевата променлива `spell` в `true`, чрез която аниматора изпълнява определената за тази стойност анимация, след което се намаля стойността на `ManaBar()` функцията с определената за



огнената топка стойност и се изпълнява проверка за ориентацията на героя и се определя ориентацията за създаване на огнената топка. Ако играчът няма мана, то функцията `fireball()` не може да бъде извикана. При създаването на обекта се изпълнява и звук за магия.



Фиг. 3. Елементи на героя

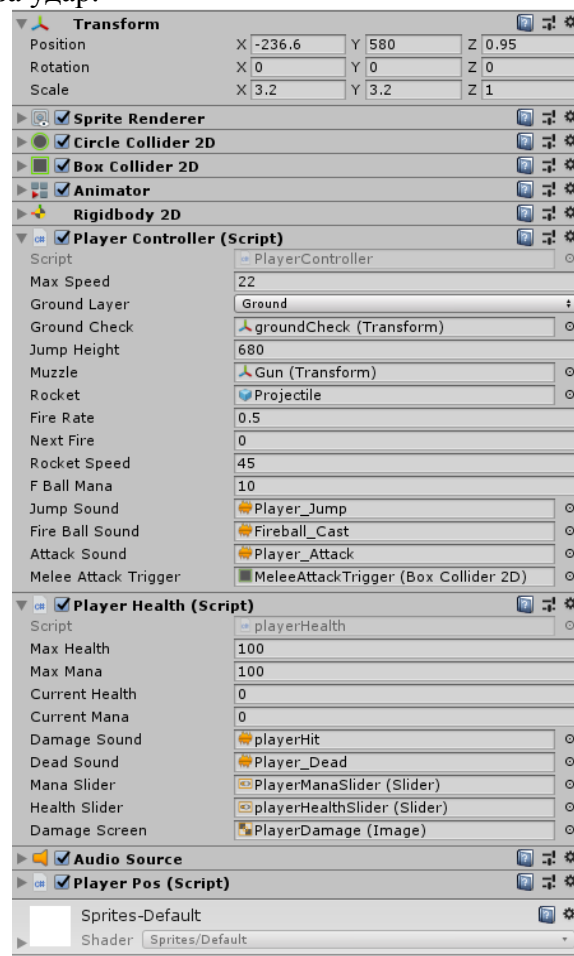


Фиг. 4. Йерархия на героя

За скок с героя при натискане на Space бутона се проверява стойността на булевата променлива `grounded`, като при `true` героят се изтласква в посока `Y` с дадена стойност и се изпълнява звука зададен за скок, а при `false` значи че той вече е във въздуха и следователно от контролера на анимациите вече се изпълнява анимацията `Jump`.

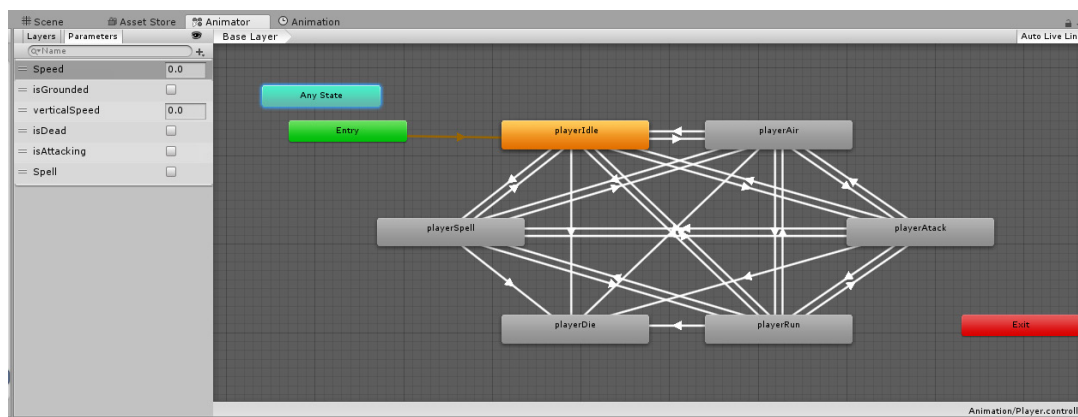
`MeleeAttackTrigger` е големият колайдер пред героя който по подразбиране е изключен и при натискане на ляв бутон се извършва проверка за времето на последната атака и ако е по-голямо от зададеното по условие време се изпълнява функцията `meleeAttack()`, която задава стойност на булевата променлива `attacking` в `true`, аниматора превключва анимацията и `BoxCollider2d`, който има стойност тригер се активира за единица време и се изпълнява скрипта `MeleeAttack`. Като при съществуващ обект с таг `Enemy`, `Loot` или `Boss` в колайдера се изпълняват функциите

`OnTriggerEnter2D()` и `OnTriggerStay2D()` които вземат настоящия живот на обекта в колайдера и прилагат функцията `addDamage(weaponDamage)` със стойността зададена на оръжието и се изпълнява звук за удар.



Фиг. 5. Елементи, изграждащи функциите на героя

Героят притежава жизнени и магически точки, които определят неговото състояние, като при положителни жизнени точки героят е жив. При всеки удар нанесен върху героя се проверява стойността на моментният му живот и се изпълнява звуков сигнал както и визуален сигнал чрез премигване регулиране на прозрачността на картина зададена в `DamageScreen` от тип `image` върху екрана, а при достигането им до нула вследствие удари от противници или капани булевата променлива `dead` приема стойност `true` и аниматора изпълнява анимацията за смърт.



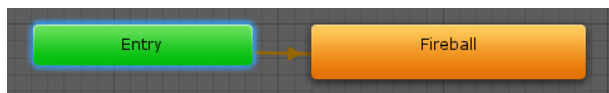
Фиг. 6. Състояния и действия на главния герой

### Огнена топка

Огнената топка е магията която играчът може да изстрелва при натискането на десния бутон на мишката. Тя е анимиран обект изграден от три кадъра изпълняващи се във цикъл, от създаването на обекта в игровата сцена до унищожаването му, контролиран от контролера на анимации на огнената топка.



Фиг. 7. Кадри на анимацията на огнената топка



Фиг. 8. Контролер на анимацията на огнената топка

При създаването на топката от играча в сцената се изпълнява и аудио индикация чрез `PlayOneShot()` функцията, а при сблъсък и унищожаване на обекта се изпълнява втори звук чрез функцията `PlayClipAtPoint()` чрез който се създава нов аудио източник на мястото на сблъсък на топката с друг игрови обект.

За определяне на посоката на обекта се взема стойността на X координатата на играча, по която се задава и позицията на топката, след което ѝ се задава стойност за движение по X.

Топката съдържа един колайдер от тип тригер, който се контролира от `fireballHit` скрипта, като при колизия се проверяват слоя и тагът на другия обект с чийто колайдер са се сблъскали. Ако слой на другия обект е от тип `Ground` или

`Shootable` тогава се изпълнява функцията `removeForce()`, топката се унищожава и се създава нов обект на мястото на колизията, представляващ система от частици (`particle system`) съставена от спрайт лист, съдържащ шест кадъра. Чрез системата за частици се контролира скоростта, позицията, преместването, цвета и честотата на изпълнявания лист (`particle system` е изградена от многобройни опции чрез които могат да бъдат създавани безкрай по вид ефекти).

Ако обектът, с който се е сблъскала огнената топка е с таг `Enemy`, `Loot` или `Boss`, се изпълнява функцията `addDamage` върху скрипта за живот на обекта, като намаля жизнените му точки с определената от `weaponDamage` променлива.



Фиг. 9. Ефект на експлозия

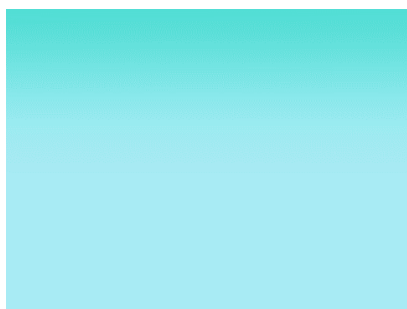
### Фон на играта

Фонът на играта е изграден от общо десет графични изображения. За основния фон се използва изображението на Фиг. 11. За постигане на паралакс ефект са използвани шест изображения (от Фиг. 12 до Фиг. 17) разделени на слоеве на различни координати по Z, което измества обектите на разстояние един от друг. По този начин при движение на героя или по-скоро камерата



Фиг. 10. Система за частици

прикрепена към героя, различните обекти на фона се движат по различен начин като по-близките обекти до камерата се изместват по-бързо, докато по-далечните се изместват по-бавно. Както земния фон, така и облачния е изграден от няколко слоя които се изместват с различна скорост при движение на камерата.



Фиг.11. Основен фон



Фиг. 12. Първи слой земя



Фиг. 13. Втори слой земя



Фиг. 14. Трети слой земя



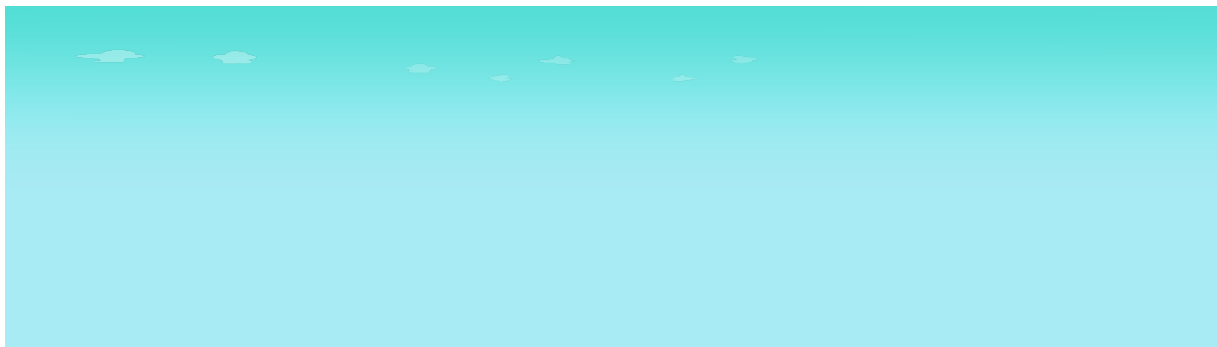
Фиг. 15. Четвърти слой земя



Фиг. 16. Пети слой земя



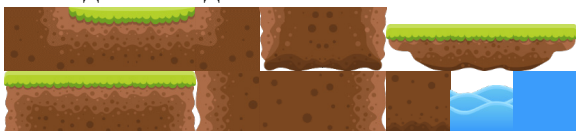
Фиг. 17. Шести слой земя



Фиг. 18. Първи слой облаци Фиг. 19. Втори слой облаци Фиг. 20. Трети слой облаци

### Терен на играта

Теренът на играта, по който може играчът да ходи е изграден от осемнадесет графични изображения като шестнадесет са земя и две са вода.



Към изображенията, по които може да се стъпва са добавени Box Collider2D чрез които за да не преминава героя през тях, им е зададен слой Ground за да може скрипта, отговарящ за движението на героя и по точно groundCheck обекта контролиран от скрипта, да отчита в кой слой се намира и да задава дадените стойности към аниматора с цел коректно изпълнение на анимациите Idle и Run, които изискват булевата променлива контролирана отgroundCheck да бъде true.

Водните елементи притежават два колайдера. Единият е за да не можем да преминем през нея, а вторият е тригер, контролиран от скрипта enemyDamage, който при допир с обект с таг играч му предава функцията addDamage() и pushBack(), чрез които нараняваме героя и го изблъскваме със зададена стойност по координатата Y.

### Противници

Както повечето игри, така и в тази, противниците и капаните са едни от основните елементи, чиято цел е да затруднят и дори да попречат на играча да постигне дадената си цел. В A tale of A knight присъстват четири вида противници, които съдържат различни елементи и стойности, чрез които те функционират и придават

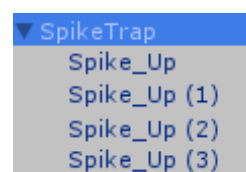
различни форми на интеракции между играча и заобикалящата го среда.

### Шипове

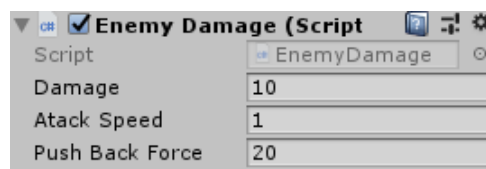
Първият капан в играта е под формата на шипове. Той е изграден от четири графични изображения, групирани и подредени под йерархична структура и обградени от квадратен колайдер, който служи за тригер на скрипта EnemyDamage. Чрез тях се задават стойности за функциите addDamage() и pushBack(). При навлизане на обект в колайдера с таг Player се изпълнява скрипта и се прилагат дадените функции върху стойностите на героя.



Фиг. 21. Шипове



Фиг. 22. Йерархия на шиповете



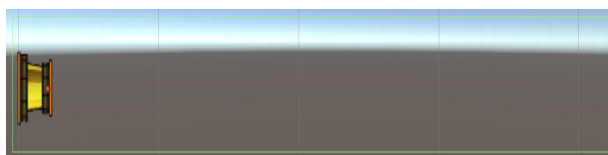
Фиг. 23. Стойности на скрипта

### Стрелящ капан

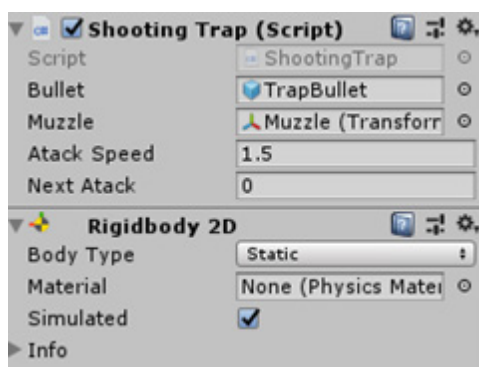
Вторият капан в играта е изграден от графичен елемент с формата на тръба и празен игрови обект чиято позиция се из-

ползва като точка за създаването на предварително създаден обект (TrapBullet).

Колайдера на капана е от тип тригер който непрекъснато проверява дали има игрови обект в него, и ако има, какъв е неговия таг. При навлизането на играча в колайдера, той отчита че тага на игровия обект е от тип Player и проверява кога е бил последния изстрел и ако той е бил преди повече време от зададеното ограничение се изпълнява функцията Shoot(), която пресмята следващото минимално време, след което може да се изпълни функцията за стрелба и проверява ротацията на Z координатата на капана чрез Rigidbody 2D за да определи позицията в която е насочен той, чрез което се определя и точката на създаване и ротацията на игровия обект който може да нарани играча.



Фиг. 24. Стрелящ капан

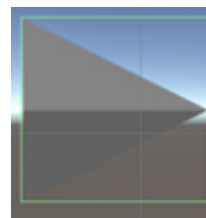


Фиг. 25. Елемент и стойности на капана

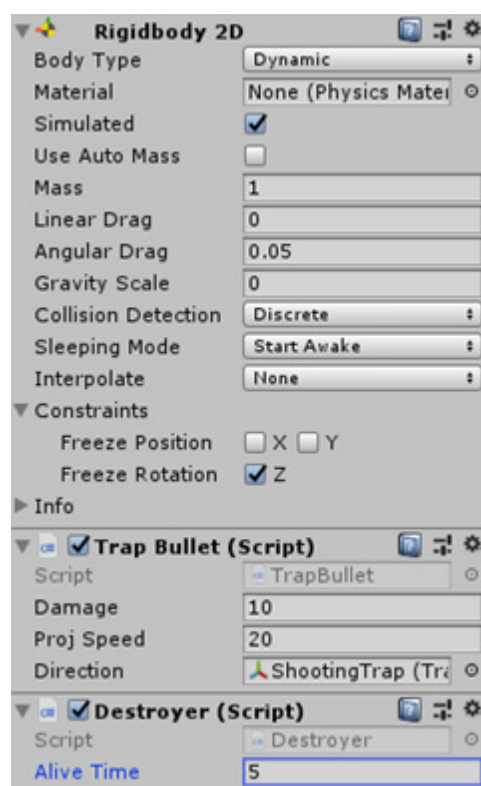
Патронът е изграден от графично изображение, обградено с колайдер от тип тригер. При създаването му от капана той взема стойността на Z ротацията на капана, при което се определя посоката му на движение по X координатата от 1 до -1 и се умножава с променливата ProjSpeed. При колизия проверява чрез функциите OnTriggerEnter2D и OnTriggerStay2D тага на обекта, с чийто колайдер се е сблъскал.

Ако тагът на обекта е от тип Player се изпълнява функцията removeForce(), която задава нови стойности за движение на обекта по X координатата да бъдат равни

на нула, след което се изпълнява функцията addDamage(), а игровия обект бива унищожен от функцията Destroy(). Патрона се унищожава и при сблъсък с колайдера на обект с таг Level или от скрипта Destroyer след определеното в него време за живот на обекта в дадената сцена.



Фиг. 26. Патрон



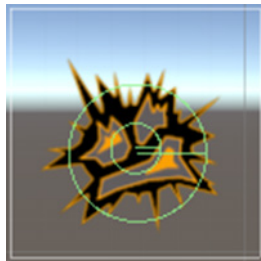
Фиг. 27. Елементи на патрона

### Бодлив камък

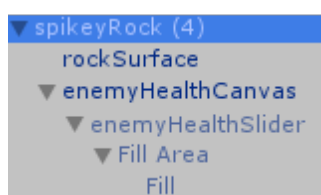
Бодливият камък е първия противник който може да бъде унищожен от играча. Той е изграден от два колайдера като единият е тригер, а другия служи като пречка на играча да преминава през него. При навлизането на игровия обект с таг Player в колайдера тригер се изпълняват функциите на скрипта EnemyDamage чрез които се задават стойности за функциите addDamage() и pushBack() които намалят жизнените точки на играча и изпълняват звук за нанесен удар от противника на иг-



рача, след което го отблъскват по Y координатата. Играчът може да нанесе удар на бодливия камък чрез удар с меч с левия бутон на мишката и чрез огнена топка чрез натискане на десния бутон на мишката, при условие че има нужните точки мана които изисква магията.



Фиг. 28. Бодлив камък



Фиг. 29. Йерархия на камъка

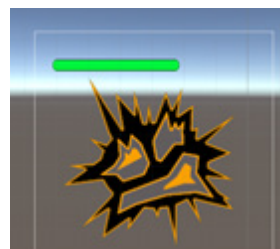
При натискане на ляв бутон на мишката в скрипта `PlayerController` се извършва проверка дали при натискането на бутона е минало дадено време от последната атака, и ако е, се изпълнява функцията `meleeAttack()`, която превключва контролера на анимации чрез булева променлива и включва неактивния колайдер пред играча за единица време. След това в скрипта `MeleeAttack` се проверява тагът на обекта, който се е намирал в колайдера през тази единица време, ако е имало обект. При наличието на обект с таг `Enemy` какъвто е бодливият камък се изпълнява функцията `addDamage` върху скрипта `enemyHealth`.



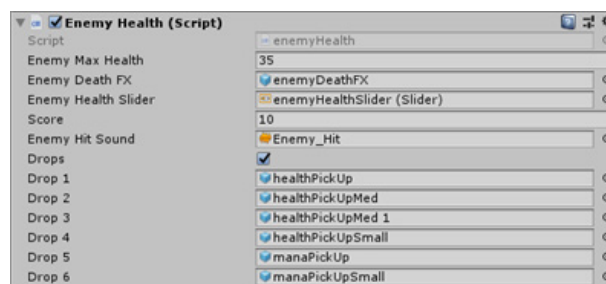
Фиг. 30. Стойности на скрипта `EnemyDamage`

При уцелване на камъка с огнената топка и изпълняването на скрипта `fireballHit` подобно на удъра с меч се изпълнява функцията `addDamage` в скрипта `enemyHealth` и жизнените точки на против-

ника се намаляват със зададените стойности в променливата `weaponDamage`.



Фиг. 31. Слайдер индикатор за живот

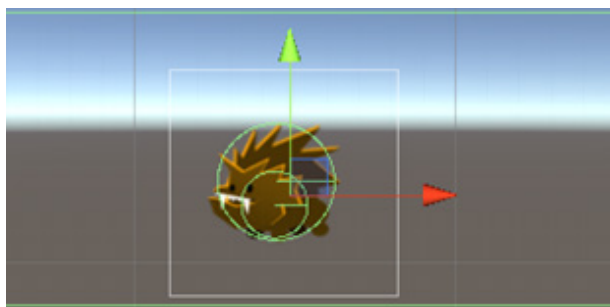


Фиг. 32. Стойности на скрипта `EnemyHealth`

При първото намаляване на жизнените точки на противника се активира игрови обект от тип слайдер, който има за стойност моментните жизнените точки на противника, като служи за индикация на играча колко оставащ живот има противника. Когато жизнените точки на противника станат по-малко или равни на нула се изпълнява функцията от скрипта `enemyHealth` `makeDead`, която добавя точки чрез `addScore` от скрипта `GameController` към текущите точки на играча, след което унищожава обекта и създава на неговото място предварително създадена система за частици като индикация за унищожаването на обекта и чрез функция за генериране на случайни числа се определя дали да се създаде нов обект от тип `drop`, който може да даде на играча определен брой точки живот или мана.

### Диво прасе

Дивото прасе е вторият противник, който може да бъде унищожен от играча. Той е изграден от три колайдера като два са тригери - единият е служещ на прасето за засичане на позицията на играча, а другият служи за отчитане на колизия с играча. Третият колайдер служи за пречка на играча да премине през тялото на прасето.



Фиг. 33. Диво прасе

Когато игровия обект е в празно състояние (idle), от контролера на анимации се изпълнява дадената анимация като чрез генератор на случайни числа прасето сменя позицията си в която гледа.



Фиг. 34. Стойности на enemyPigController скрипта

При навлизането на игровия обект с таг Player в големия колайдер тригер се изпълняват функциите на скрипта enemyPigController, определя се позицията, в която се намира играча, ако противника гледа в другата посока, се обръща към играча чрез функцията flipFacing(), след което със зададено закъснение се засилва към играча и изпълняваната анимация от контролера се сменя, като тича към него до напускането на играча от колайдера. Ако прасето се сблъска с играча се изпълняват функциите на скрипта EnemyDamage, чрез които се задават стойности за функциите addDamage() и pushBack(), които намалят жизнените точки на играча и изпълняват звук за нанесен удар от противника на играча, след което го отблъскват по Y координатата.



Фиг. 35. Анимация на бягащо прасе

Дивото прасе и бодливия камък споделят общи функции за нанасяне на щети върху играча и приемане на щети от него, като и при него се активира слайдера след първата атака от играча и при унищожаване

нето му се създава система от частици, индикираща неговото унищожение, както и шанс за създаване на игрови обект от тип drop, който може да даде на играча определен брой жизнени или мана точки.

### *ThePiggster/Прасето шеф*

Подобно на дивото прасе, прасето шеф е изградено от същите елементи като обикновеното прасе, но е по-голямо, по-силно, по-бързо и много по-опасно. То се намира в края на игровото ниво, като за да преминем успешно нивото ние трябва да го победим и да вземем звездата която то пази.

- **Звезда**- Звездата е уникален игрови обект изграден от два колайдера, като единият е тригер и един скрипт, който свързва звездата със скрипта GameController, като при вземане на звездата от играча се извиква функцията Victory, която спира времето в играта и активира екрана за победа.



Фиг. 36. Звезда

### *Kymuu/drop crates*

На места в игровото ниво има дървени кутии които са игрови обекти изградени от Rigidbody2D, колайдер и скрипт. Чрез колайдера и Rigidbody2D на кутията се придава вградената в юнити физика, която позволява при сблъсък с обекта, към който са прикачени, той да бъде преместен, въртян и повдиган. При нанасяне на удар с меч или огнена топка и намаляването на жизнените точки на кутията до нула, тя бива унищожена чрез скрипта DestructibleObject, който подобно на дивото прасе и бодливия камък, чрез генератор на случайни числа определя дали и какъв игрови обект може да бъде създаден на неговото място като награда за героя, която да му даде бонус жизнени или мана точки.





Фиг. 37. Кутия

### Колби за живот и мана

За презареждане на жизнените и магически точки на играча по време на преминаването на игровите нива, за намирането им е нужно играчът да унищожава кутии и противници, от които има шанс да бъдат създадени различните игрови обекти, даващи на героя определения брой жизнени или магически точки.

Колбите са изградени от два колайдера, като при сблъскването на обект от тип Player с колайдера тригер на някой от игровите обекти предназначени за добавяне на жизнени или магически точки се изпълнява функциите `addMana()` или `addHealth()` които се извикват съответно от скриптовите `manaPickUp` или `healthPickUp`, които са прикачени към дадените обекти.



Фиг. 38. Голяма, средна и малка колба за живот



Фиг. 39. Голяма, средна и малка колба за мана

### Монети

При преминаване на игровото ниво има поставени монети на различни места като при преминаването на играча през тях той ги взема и тяхната стойност се прибавя към общата стойност от точки на героя. Монетата е изградена от колайдер от вид тригер и контролер на анимациите, който

при стартиране на сцената се активира и стои във вечен цикъл. При навлизането на обект в колайдера на монетата се изпълнява функцията `OnTriggerEnter2D()`, която проверява дали дадения обект навлязъл в колайдера е от тип Player, и ако е, се изпълнява аудио звук, чрез създаването на аудио източник на мястото на монетата индикиращ вземането ѝ. След което стойността на точките на монетата се прибавят към стойността на `scoreValue` на `GameController` скрипта.



Фиг. 40. Анимация на монетите

### Стълби

За достигане на иначе недостъпни и високи места от игровото ниво, на места има поставени игрови обекти обозначени с графични изображения на стълба, като стълбата е изградена от две части - средна стълба и край на стълбата, които се различават по това, че средната стълба от двете си страни е права, а крайната стълба е заоблена от единия си край.



Фиг. 41. Крайна стълба



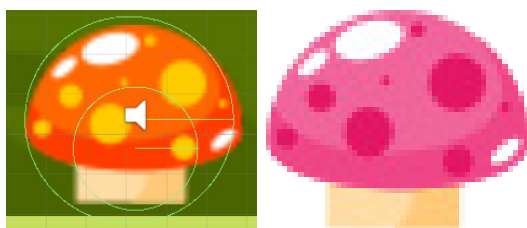
Фиг. 42. Средна стълба

Крайната и средната стълба имат едни и същи елементи, като се различават само по графичното си изобразяване. Те са изградени от колайдер от тип тригер, който се контролира от скрипта `Ladder` като при навлизането и престоя на игрови обект се проверява тагът на обекта. Ако той е Player чрез натискането на бутоните "W" или "S" героят може да се придвижва нагоре и надолу по стълбата до напускането на нейния колайдер.

### Гъба батут/JumpPad

Освен чрез стълби, играчът може да се изкачва до иначе недостижими за него места чрез поставените на определени места в играта батут, чрез които при приземя-

ване на играча върху батута, той скача по-високо от възможното за него.



Фиг. 43. Батут

Гъбата е изградена от колайдер от тип тригер, колайдер, скрипт и аудио източник като при колизия на игрови обект с колайдера тригер на гъбата се проверява тагът на обекта, който се сблъсква с гъбата, и ако той е с таг Player, то се изпълнява аудио сигнал, индикиращ колизията и се извиква функцията `pushBack()`, която подобно на противниците изблъсква героя в координатата Y.

### Декорации

Както всяка игра, така и тази се нуждае и от елементи без дадена интеракция, чиято цел е да създават у играча чувството за навлизане в игралния свят.

Декорационните обекти са изградени единствено от статични графични изображения, целящи да разнообразят игралната сцена. Играчът не може да се сблъсква с тях, както и да им взаимодейства по какъвто и да е начин. Декорационните обекти са:



Някои от декорациите служат на играча като упътвания и подсказки, които могат

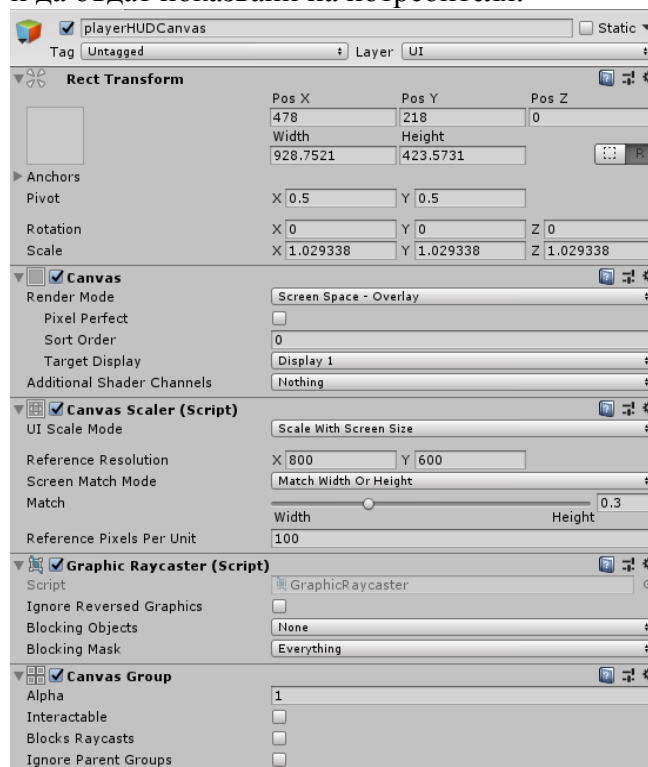
да му помогнат като му подсказват за дадена посока или тайна:



## GUI/HUD

### Потребителски интерфейс (HUD)

Системата в юнити за потребителски интерфейс позволява бързо и достъпно създаване и прикачане на графически елементи, чрез които могат да се следят и изобразяват стойностите на различни променливи и да бъдат показвани на потребителя.



Фиг. 44. Елементи на прозореца на потребителския интерфейс

Главният прозорец, съдържащ елементите, които следят променливите за живот, мана и игрови точки на играча по време на игра, е `playerHUDCanvas`, който е изграден от елементите по подразбиране при създаването на Canvas прозорец. За изобразяването на обектите в интерфейсия прозорец се използва опцията `ScreenSpace-Overlay`, който изобразява графическите елементи върху сцената. Ако резолюцията на екрана бъде променена или екранът бъде

преоразмерен, интерфейсният прозорец на екрана ще бъде преоразмерен и обектите които са в него, за да запазят същото си съотношение.



Фиг. 45. Иерархична структура на потребителския интерфейс

Елементите, изграждащи потребителския интерфейс по време на игра, са подредени в йерархична структура. Интерфейсът е създаден от два слайдера следящи и изобразяващи моментните жизненни и мана точки, една променлива от тип текст, чрез която се изобразява на екрана моментните игрови точки, които играчът е събрал по време на преминаването на игровото ниво. Също има и два екрана, като единият се активира от игровия контролер при достигане на жизнените точки на героя до нула, който отчита, че играчът е загубил, а другият - при вземане на игровия обект звезда от играча, който отчита че играчът е победил.

За позиционирането на различните елементи, изграждащи потребителския интерфейс са използвани котви (Anchors), чрез които се контролират различните елементи и тяхната позиция при оразмеряване на екрана или промени в резолюцията му.

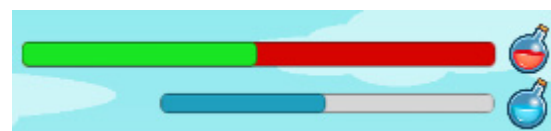
### ➤ Слайдери за живот и мана

При старт на играта скрипта `playerHealth` задава началните стойности на променливите, отговарящи за текущото състояние на жизнените и магически точки на героя да бъдат равни на максималните

възможни. След което задава и стойностите на двата слайдера да бъдат равни на максималните възможни за героя. Всеки път когато на героя в играта бива нанесен удар, който променя моментното състояние на жизнените му точки, функцията `addDamage()` променя стойността на слайдера, отговарящ за изобразяването на моментните жизненни точки с които играчът разполага. Когато играчът се сблъска с някоя от колбите за живот по време на игра се изпълнява функцията `addHealth()`, която взема стойността на дадения обект и я прибавя към променливата, отговаряща за моментните жизненни точки, като ако стойността на променливата на жизнените точки на героя ще прехвърли максималната си допустима стойност то тогава моментната стойност се приравнява на максималната, което позволява да не се преувеличава моментната стойност.



Фиг. 46. Слайдери за живот и мана на 100%



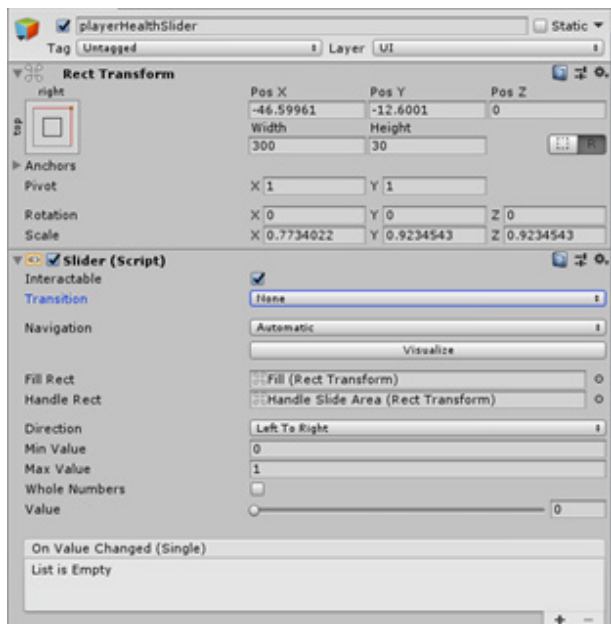
Фиг. 47. Слайдери за живот и мана на 100%



Фиг. 48. Слайдери за живот и мана на 100%

Мана слайдерът работи по подобие на слайдера за живот като при опит за изстрелване на магия се проверява дали има налични нужните точки, след което ако са налични се изстрелва магията и точките на моментната променлива, отговаряща за маната се намалят от скрипта `playerHealth` чрез функцията `ManaBar()` и се задава новата стойност на слайдера. При вземане на колба, която добавя точки мана се изпълнява функцията `addMana()`, която взема стойността на дадения обект и я прибавя към променливата отговаряща за моментните мана точки, като ако стойността на про-

менливата на мана точките на героя ще прехвърли максималната си допустима стойност то тогава моментната стойност се приравнява на максималната, което позволява да не се преувеличава моментната стойност.

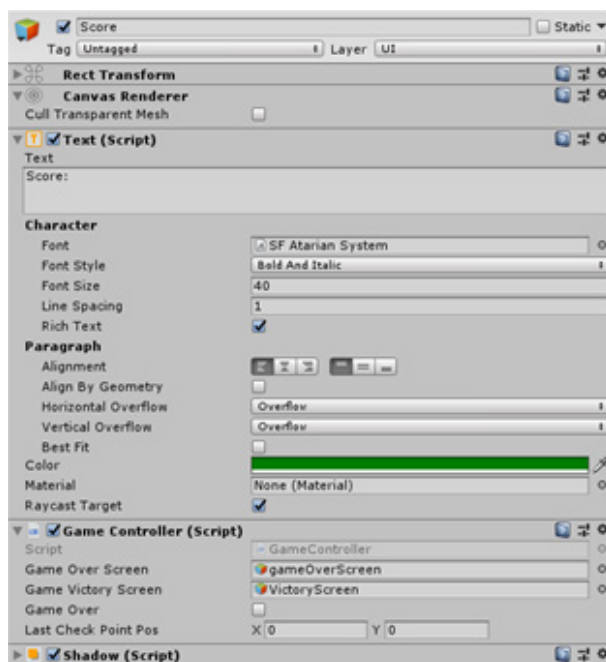


Фиг. 49. Елементи на слайдера

#### ➤ Поле за точки

За състоянието на точките отговаря скрипта GameController и неговата функция addScore(). При вземане на игрови обект или унищожаване на противник, който има променлива score се изпълнява функцията addScore(), която прибавя към текущата стойност на точките, стойността държана от игровия обект.

Обектът Score е изграден от елемент от тип текст който съдържа опциите зададени на обекта като надписа „Score:“, неговия шрифт, стил на изписване, размера на буквите, разстоянието между тях, както и цвета му. Съдържа още и скрипта GameController и елемент, чрез който се прилага сянка зад текста, която е добавена за по-добра четимост по време на игра.



Фиг. 50. Елементи на игровите точки

#### ➤ Екран при нанасяне на щети върху героя

Когато героят в играта бива ударен, освен чрез намаляването на неговия живот, като индикация се използва и невидим екран чиято прозрачност се намаля, след което се връща в нормалната си стойност плавно във времето.



Фиг. 51. Екран индикиращ нанасяне на щети върху героя



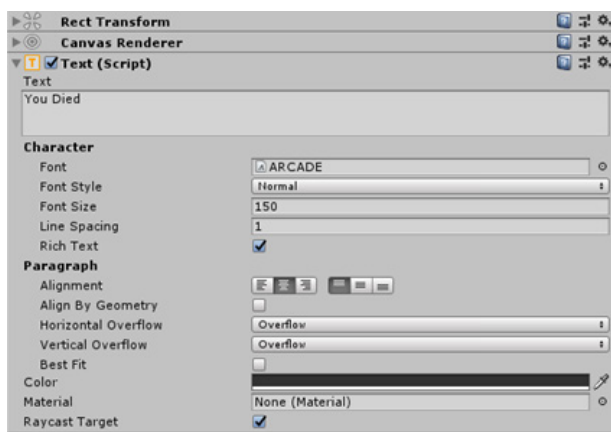
Фиг. 52. Екран при смърт на героя



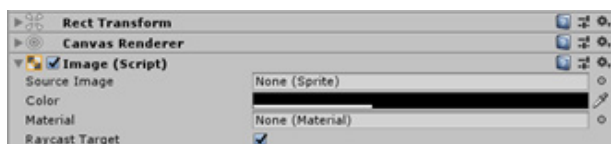
### ➤ Екран при смърт на героя

Когато моментните жизненни точки на героя станат равни на нула, героят умира и по време на изпълнението на анимацията изобразяваща това се активира и екрана, на който изписва на играчът, че жизнените точки на героя му са свършили и той е умрял.

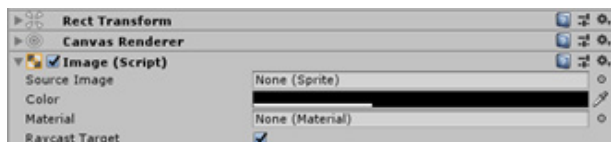
Когато жизнените точки на героя станат равни на нула в скрипта на `playerHealth` се изпълнява функцията `makeDead()`, която изпълнява дадената анимация чрез промяната на булевата променлива `dead`, след което със закъснение за да се изпълни анимацията се унищожава игровия обект, представляващ героя и се извиква функцията `PlayerDied()`, която се намира в скрипта `GameController`. Тя активира екрана в сцената `gameOverScreen` и спира времето в играта.



Фиг. 53. Елементи на текста на екрана



Фиг. 54. Елементи на фона на екрана



Фиг. 55. Елементи на фона на екрана

### ➤ Екран при победа

За да премине успешно нивото, играчът трябва да вземе звездата, която може да бъде намерена при побеждаването на голямото прасе „ThePiggster“, което е финалния

бос в края на нивото. При вземането на звездата, скрипта прикачен към нея извиква функцията `Victory()` от скрипта на `GameController` който спира времето в играта и активира екрана `gameVictoryScreen` в сцената на играта.



Фиг. 56. Екран при победа на героя

### Пауза екран



Фиг. 57. Пауза екран

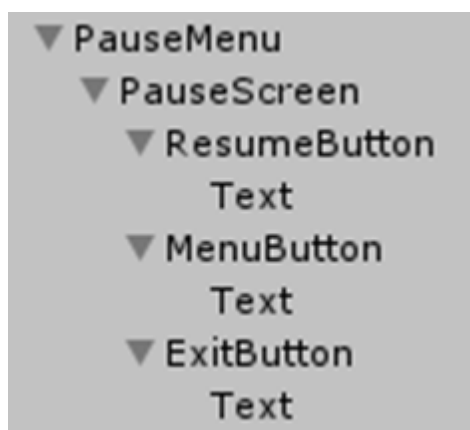
При натискането на бутона `Esc` (`Escape`) се отчита от скрипта `PauseMenu` и се извършва проверка чрез булева променлива за състоянието на активната сцена в играта. Ако булевата променлива е `false`, то се извиква функцията `Pause()`, която активира `PauseScreen` игровия обект и спира игровото време. Ако булевата променлива е `true`, се извиква функцията `Resume()`, която деактивира `PauseScreen` игровия обект и отново активира игровото време.

Когато пауза менюто е активно, на него има и три бутона като свойствата, които са им зададени са едни и същи, а единствената им разлика е тяхната функционалност.

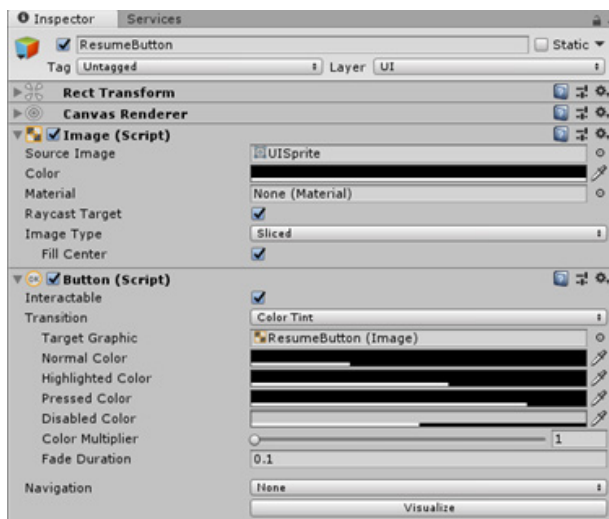
Бутоните на пауза менюто са изградени от UI изображение и бутон скрипт създаден от библиотеката на юнити за UI елементи, като за основата на бутона се използва изображението, което е с черен цвят, а скрипта на бутона е с включена отметка за разрешаване на интеракции.



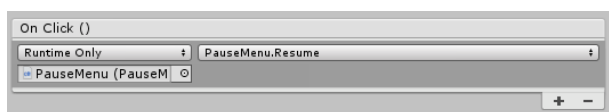
Фиг. 58. Бутони на пауза менюто



Фиг. 59. Йерархия на пауза менюто



Фиг. 60. Елементи на бутоните на пауза менюто



Фиг. 61. OnClick() на бутона Resume

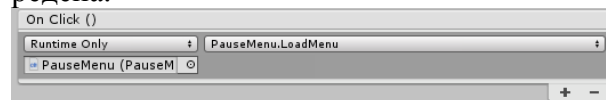
Като анимация на бутона е избрана функцията за изменение на фона на бутона, който в този случай е изображението, чийто

цвят е черен. За постигането на нормалния цвят на бутона е намалена неговата цветова плътност която го прави прозрачна, когато играчът премине с курсора върху него, неговата цветова плътност се увеличава и следователно той става с по-плътен и наситен цвят, а при натискането му с левия бутон на мишката, цветова му плътност се увеличава още като индикация за интеракция. И трите бутона на менюто имат едни и същи елементи. За текста на бутоните е зададен шрифт, размер, подравняване и цвят, както и сянка за по-голяма четливост.

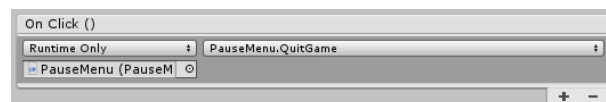
При натискането на даден бутон се изпълнява неговата функционалност, вложена в скрипта като функция вградена в UI библиотеката на юнити, `OnClick()`, чрез която задаваме какво искаме да се случи при натискането на дадения бутон като можем да изберем функционалност вложена от юнити, или да се изпълни функция, която сме написали в скрипт, указваща на бутона какво да се случи.

➤ **Resume-** При натискането на бутона Resume се извиква функцията `Resume()` от скрипта `PauseMenu`, която подобно на натискането на бутона `Escape` по време на паузата на играта деактивира пауза менюто и активира игралното време.

➤ **Menu-** Когато бъде натиснат бутона Menu се извиква функцията `LoadMenu()` от скрипта `PauseMenu`, при което се извиква функцията `LoadScene()` в която е зададена целевата сцена която трябва да бъде заредена.



Фиг. 62. OnClick() на бутона Menu



Фиг. 63. OnClick() на бутона Quit

➤ **Quit-** При натискането на бутона Quit се извиква функцията `QuitGame()` от скрипта `PauseMenu`, при което се излиза от приложението чрез функцията `Quit()`



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработката е в начален стадий и са реализирани базовите функционалности на играта от този вид. Предоставяйки една добра отправна точка за развиване на продукта. Създадена е с помощта на Unity и Freerhototool, с некомерсиална цел.

За подобряване на играта се предвижда разработване на: увеличаване на броя на обектите в играта; добавяне на звук; добавяне на повече нива и добавяне на инсталатор.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Динева, В. За валидността на диагностичните критерии при компютърна зависимост и дисфункционална употреба на Интернет. Научни трудове, т. 54, сер. 6. Русенски университет, 2015, с. 74-78.
2. Кръстев, Г., М. Теодосиева. Структури от данни, използвани при програмиране на игри за мобилни информационни устройства. НС, РУ „А. Кънчев“, Научни трудове, т. 46, серия 3.1. Комуникационна и компютърна техника и технологии, Русе, 2007.
3. Кръстев, Г. Методика за създаване на компютърни игри. Печатна база при Русенски университет, 2014.
4. Кръстев, Г., В. Динева. Създаване на компютърни игри с Unity 3D. Печатна база при Русенски университет, 2015.
5. Кръстев, Г. Технически решения за човеко-машинен интерфейс чрез анализ на активността на мозъка. Научни трудове, т. 53, сер. 3. 2. Русенски университет, 2014, с. 54-58.
6. Кръстев, Г., В. Динева. Програмно осигуряване за неврофийдбек. Комуникация със слушалки MindSet. Научни трудове, т. 54, сер. 3. 2. Русенски университет, 2015, с. 47-51.
7. Кръстев, Г., В. Динева. Визуализация на мозъчни вълни получени от слушалки MindSet. Научни трудове, т. 54, сер. 3. 2. Русенски университет, 2015, с. 62-66.
8. Кръстев, Г., В. Динева. Човеко-машинен интерфейс с ръкавица Peregrine. Известия на съюза на учените, т. 13, с. 1. Русе, 2016, с. 48-55.
9. Кръстев, Г., В. Динева. Web базирано приложение за обучение по ролевата игра „The Quest Adventurer“. Известия на съюза на учените, т.13, с. 1. Русе, 2016, с. 56-65.
10. Кръстев, Г., В. Динева. Човеко-машинен интерфейс с Leap Motion. Известия на съюза на учените, т. 14, сер. 1. Русе, 2017, с. 38-46.
11. Krastev, G., Magdalena Andreeva. A Software Tool for Experimental Study Leap Motion.// International Journal of Computer Science & Information Technologies (IJCSIT), 2015, No6, vol.7.
12. Krastev, G., V. Voinohovska, S. Tsankov, V. Dineva. Controlling a 2D computer game with a Leap Motion. IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE), Vol. 19, Iss. 6, Ver. II, 2017, pp. 81-93.
13. Krastev, G., V. Voinohovska. Designing Educational Computer Games to Enhance Teaching and Learning.// IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR - JCE), 2016, No Volume 18, I, pp. 01-10.
14. Krastev, G., V. Voinohovska, Sv. Tsankov. Web Based Reality With Structure Sensor.// International Journal of Computer Science and Technology - IJCST, 2016, No 7, Issue 4, pp. 90-93.
15. Krastev, G., V. Voinohovska, Sv. Tsankov. Designing the User Interface of a Logic Game.// IOSR Journal of Research & Method in Education (IOSR-JRME), 2016, No 6, Issue 4 V.
16. <https://docs.unity3d.com/Manual/Unity2D.html>
17. <http://brackeys.com/>
18. <https://assetstore.unity.com/>
19. <https://itch.io/game-assets/tag-2d>
20. <https://kenney.nl/assets?q=2d>
21. <https://lifestyle.bg/archive/kratka-istoriya-na-elektronnite-igri-chast-1-galeriya.html>
22. <https://www.youtube.com/>
23. <https://en.wikipedia.org>
24. <https://www.audacityteam.org/>
25. <https://freesound.org/>
26. <https://stackoverflow.com>

## ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА СЛЪНЧЕВАТА РАДИАЦИЯ ВЪРХУ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ФОТОВОЛТАИЧНИ МОДУЛИ

Константин Коев

Русенски университет „Ангел Кънчев“

### Investigation of the solar irradiance influence on electrical energy production by photovoltaic modules

Konstantin Koev

Angel Kanchev University of Ruse

**Abstract:** A photovoltaic system on the roof of a manufacture building, is investigated. The total system pick power is 117.24 kWp by poly- and monocrystalline modules. The electrical energy production of the modules and solar irradiance are analyzed for 8 years and 9 months. The quantity of electric energy is increased such as increasing of the solar irradiance for local climatic conditions.

**Keywords:** photovoltaic modules, solar irradiance, electrical power generation.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Една от широко използваните съвременни технологии за производство на електрическа енергия от възобновяеми енергийни източници е преобразуването на слънчевата радиация чрез фотоволтаични модули. Интересът към този метод непрекъснато нараства, което се потвърждава от трайната тенденция за увеличаване на общата инсталирана мощност на системите [5].

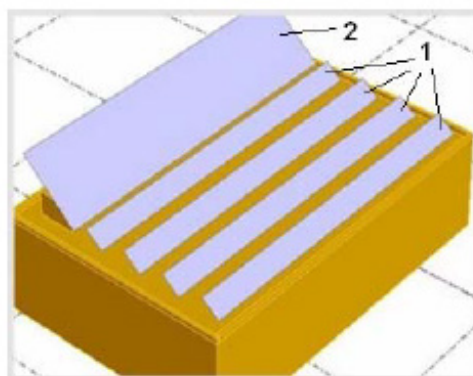
Основният фактор, който влияе върху производството на електрическа енергия (производителност) от фотоволтаичните модули, е слънчевата радиация [4,6]. Проведени са изследвания, които анализират влиянието на този и други фактори върху производителността на модулите и тяхното техническо състояние, като са установени определени зависимости. Резултатите се използват за оценка на действителното състояние и за прогнозиране на стареенето и надеждността на модулите [1,3].

Целта на изследването е да се анализира изменението на производителността на фотоволтаични модули, монтирани на покрив на индустриална сграда, в зависимост от интензитета на слънчевата радиация, за продължителен период на експлоатация, при конкретни географски условия.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

#### Обект на изследването

Изследваният обект е фотоволтаична система с обща максимална мощност 117,24 kWp. Системата е разположена на покрив на производствена сграда, в промишлен район, извън населено място, с надморска височина 76 m. Монтирани са общо 852 броя модули (фиг.1), като 528 от тях са поликристални, тип Kyocera KC130GH-2, а останалите 324 – монокристални, тип Solar Swiss SSM- 150/24M [7,9]. Поликристалните модули са с максимална мощност 130 Wp и са разположени в 4 реда (фиг.1).



Фиг. 1. Разположение на модулите върху покривната конструкция: 1 – поликристални модули; 2 – монокристални модули.

Всеки от монокристалните модули е с максимална мощност 150 Wp и всички са разположени в северната част на покрива,

като образуват широк ред. Той се състои от 54 броя модули, подредени в 6 реда. Всичките 852 броя модули са ориентирани в посока юг, стационарно монтирани под наклон от 32° спрямо земната повърхност. Големината на този ъгъл се определя от условието за максимално целогодишно производство на електрическа енергия в разглежданото географско местоположение [4,6,10].

### Методика и средства за изследването

В специализирана метеорологична станция Sunny Sensor Box, производство на SMA (Germany), е вграден преобразувател за измерване стойностите на интензитета на слънчевата радиация. Грешката на преобразувателя е  $\pm 8\%$ , при обхват на измерване (0...1500) W/m<sup>2</sup>. Измерените стойности се записват на определени интервали от време чрез модул Sunny Web Box. Записаната информация се представя в удобен за анализ вид чрез специализиран софтуер [8]. Количеството произведена електрическа енергия се определя чрез информацията, получаваща от инверторите. Максималните и средни стойности на интензитета на слънчевата радиация, а също и произведената от модулите електрическа енергия, се записват на всеки 15 min.

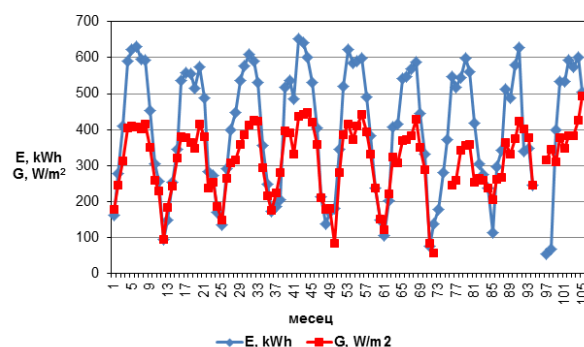
### Резултати от изследването

Двете измервани величини - интензитетът на слънчевата радиация и произведената електрическа енергия са представени със средните си месечни стойности. Те се получават от средните стойности за всеки ден от разглежданите 8 години и 9 месеца, като се отчита продължителността на светлата част от денонощието. Началото на периода на наблюдение съвпада с началото на експлоатацията на фотоволтаичната система.

Стойностите на слънчевата радиация и произведената електрическа енергия липсват за някои от часовете и дните. Причините са прекъсване в работата на измервателните преобразуватели и/или информационната система.

Измененията на средните стойности на интензитета на слънчевата радиация  $G$

върху фотоволтаичните модули и произведената електрическа енергия  $E$  са представени за всеки месец на фиг.2. Стойностите се променят годишно циклично, което е характерно за разглежданите географски ширини и се дължи на годишното движение на Земята около Слънцето [4,6]. По тази причина в графиките ясно се забелязват максимуми през летните месеци и минимуми – през зимните.



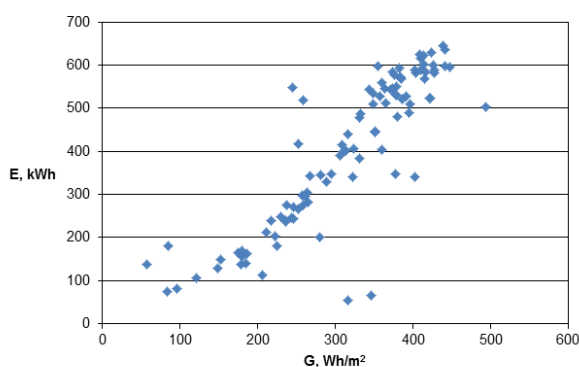
Фиг. 2. Изменения на интензитета на слънчевата радиация  $G$ , W/m<sup>2</sup>, и произведената електрическа енергия  $E$ , kWh, по месеци.

Забелязва се, че стойностите на интензитета на слънчевата радиация  $G$  и произведената електрическа енергия  $E$  липсват през зимните периоди на седмата и осмата години. Интензитетът на слънчевата радиация  $G$  за тези периоди е 0 или няколко единици W/m<sup>2</sup>, а произведената електрическа енергия  $E$  е 0 kWh. Това вероятно се дължи на прекъсване в работата на измервателния преобразувател за слънчевата радиация или в работата на съответната част от информационната система.

На фиг.3 графично е представена зависимостта на средните стойности на произведената електрическа енергия  $E$  от интензитета на слънчевата радиация  $G$ , за всеки месец, за период от 8 години и 9 месеца от началото на експлоатацията на фотоволтаичната система.

Стойностите на интензитета на слънчевата радиация  $G$  се изменят в интервала (57,5...493,5) W/m<sup>2</sup>, а на произведената електрическа енергия  $E$  – (53,3...645,3) kWh. Следователно, при изменение на слънчевата радиация  $G$  с 1 W/m<sup>2</sup> електрическата енергия  $E$  се изменя с 1,4 kWh. Графиката се доближава до линейна, но се наблюдава разсейване на стойностите на

произведената електрическа енергия  $E$ . Това се дължи на изменения в климатичните условия, които са характерни за преходните и за зимните месеци. Фотоволтаичните модули се охлаждат по-добре през преходните месеци от годината – пролетни и есенни. Причината е, че интензитетът на слънчевата радиация  $G$  и продължителността на деня са по-големи, в сравнение със зимните месеци, а температурите на атмосферния въздух и на модулите не са високи, както през лятото. Добри

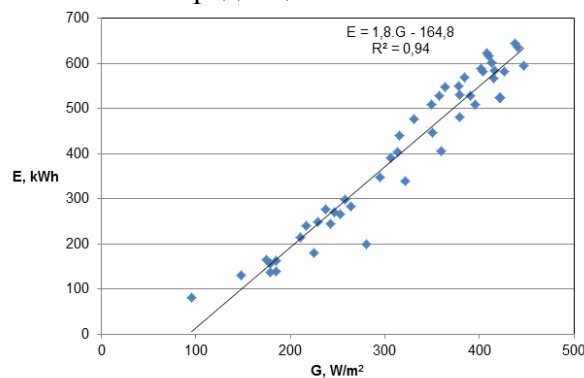


Фиг. 3. Изменение на произведената електрическа енергия  $E$ , kWh, в зависимост от слънчевата радиация  $G$ ,  $W/m^2$ .

условия за охлаждане се получават и през някои летни месеци, ако температурите не са особено високи. Например, за месеците юни на четвъртата и юли на осмата година от началото на експлоатацията на системата, са получени едни от най-големите количества електроенергия – 645,2 kWh и 628,7 kWh, съответно. В някои случаи, условията за охлаждане на фотоволтаичните модули през преходните месеци на годината не са много добри, например месец март на осмата година. Тогава средните стойности на температурите на атмосферния въздух и на модулите са били сравнително високи, съответно 22,5°C и 27,1°C, а произведената електрическа енергия средно за месеца е сравнително малко 342,2 kWh.

Графиката на фиг.3 обхваща целия разглеждан период, с разсейване на стойностите на произведената електрическа енергия  $E$ . Проверено е съответствието между теоретичните и измерените стойности за няколко математически функции – линейна, експоненциална, логаритмична,

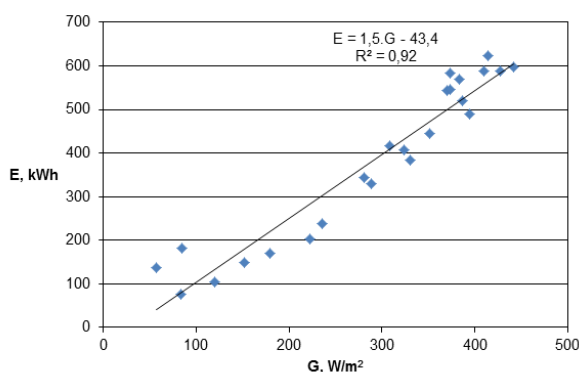
степенна, полиноми от 2-ра до 6-та степени, включително. Установено е, че за всяка от изследваните функции коефициентът на детерминация  $R^2$  е по-малък от 0,78, което доказва, че анализираният аналитични зависимости не са подходящи за представяне на измерените стойности [2]. За да се анализират по-добре зависимостите между величините, техните стойности са представени по години (фиг.4, фиг.5, фиг.6). За целта са изключени стойностите при интензитет на слънчевата радиация  $G = 0 W/m^2$  и близки до 0, както на фиг.2. Зависимостите между изследваните величини са оформени много добре в линейни графики, което може да се установи и аналитично от стойностите на коефициента на детерминация  $R^2$ . Те са близки до 1, което е доказателство за много добро съгласуване между теоретичните и измерените стойности [2]. Коефициентите на уравненията, с които се описват данните, са близки по стойност. Графиката на фиг.4 е с по-голям наклон от тази на фиг.5, което се потвърждава от коефициентите на интензитета на слънчевата радиация  $G$ . По-големият наклон на линейната графика показва, че количеството произведена електрическа енергия  $E$  е по-голямо, при една и съща стойност на интензитета на слънчевата радиация  $G$ .



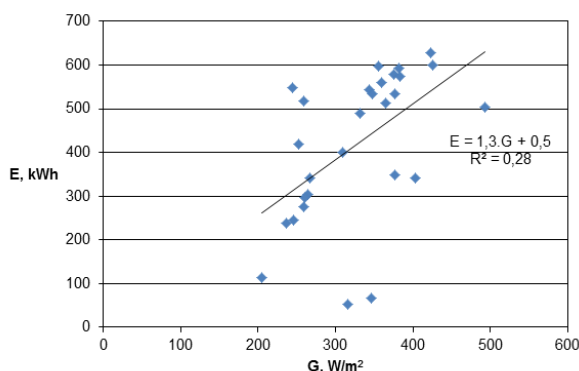
Фиг. 4. Изменение на произведената електрическа енергия  $E$ , kWh, в зависимост от интензитета на слънчевата радиация  $G$ ,  $W/m^2$  за първите 4 години.

Графиката за последните години от наблюдавания период (фиг.6) се характеризира с голямо разсейване на стойностите. То се дължи на измененията на климатичните условия, както е отбелязано по-горе. По тези причини линейната графика не се съгласува добре с измерените стойности.

Аналитично това се потвърждава от стойността на показателя  $R^2$ , която съществено се различава от 1 и е по-малка, в сравнение със стойностите за графиките на фиг.4 и фиг.5.



Фиг. 5. Изменение на произведената електрическа енергия  $E$ , kWh, в зависимост от интензитета на слънчевата радиация  $G$ ,  $W/m^2$  за петата и шестата години.



Фиг. 6. Изменение на произведената електрическа енергия  $E$ , kWh, в зависимост от на слънчевата радиация  $G$ ,  $W/m^2$  за седмата, осмата и непълната девета години.

По тези причини не е предложена математическа функция за по-точно описване зависимостта между величините. Общата тенденция на графиката от фиг.6 е подобна, като за другите две графики (фиг.4, фиг.5) - произведената електрическа енергия  $E$  зависи пропорционално от интензитета на слънчевата радиация  $G$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведеното изследване за производството на електрическа енергия от фотоволтаични модули, монтирани на покрив на индустриална сграда, в зависимост от интензитета на слънчевата радиация, за про-

дължителен период на експлоатация, при конкретни географски условия, дава основание да се направят следните изводи:

1. Интензитетът на слънчевата радиация влияе значително върху производството на електрическа енергия, като специфичното ѝ изменение е  $1,6 \text{ kWh}/(W/m^2)$ , при правопрпорционална обща тенденция на зависимостта. Измененията на двете величини във времето са периодични и се характеризират с ясно изразени максимуми през летните месеци и минимуми – през зимните.

2. Зависимостите на произведената електрическа енергия от интензитета на слънчевата радиация, за първите четири и за петата и шестата години от началото на експлоатацията на системата, се представят много добре с линейни функции. Стойностите на коефициента пред аргумента (интензитета на слънчевата радиация), за двата периода, се различават малко - с 0,3. Специфичното изменение на електрическата енергия, за първите четири години е  $1,6 \text{ kWh}/(W/m^2)$ , а за петата и шестата години -  $1,5 \text{ kWh}/(W/m^2)$ .

3. Влиянието на интензитета на слънчевата радиация върху произведената електрическа енергия, за седмата, осмата и непълната девета години от началото на експлоатацията на системата, се характеризира с голямо разсейване.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Коев К., Н. Недев, К. Андонов, Кр. Мартев. Изследване влиянието на някои фактори върху производството на електрическа енергия от фотоволтаични модули.// Енергетика, 2011, брой 6, стр. 27-30.
- [2] Митков, Ат. Теория на експеримента. Печатна база на Русенски университет "Ангел Кънчев", Русе, 2010, стр. 228.
- [3] Jahn U., et al. International energy agency pvps task 2: analysis of the operational performance of the iea database pv systems. 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, May 2000, p. 5.
- [4] Markvart, T., L. Castañer. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications. Elsevier Ltd., 2003, p. 984.



[5] Photovoltaics report. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE with support of PSE Projects GmbH, [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

[6] Şen, Z. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques. London: Springer, 2008.

[7] [www.kyocerasolar.de](http://www.kyocerasolar.de)

[8] [www.sma.de](http://www.sma.de).

[9] [www.solar-swiss.ch](http://www.solar-swiss.ch)

[10] [www.sunsys.info](http://www.sunsys.info)

**За контакти:**

доц. д-р инж. Константин Коев

Катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”

Русенски университет “Ангел Кънчев”

тел.: +359 82 888 661

e-mail: [kkoev@uni-ruse.bg](mailto:kkoev@uni-ruse.bg)

## ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА ФОТОВОЛТАИЧНИ МОДУЛИ ВЪРХУ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА ИМ

Константин Коев, Анка Кръстева  
Русенски университет „Ангел Кънчев“

### Investigation of the influence of the temperature of photovoltaic modules on their electrical energy production

Konstantin Koev, Anka Krasteva  
Angel Kanchev University of Ruse

**Abstract:** A photovoltaic system on the roof of a manufacture building is investigated. The total system pick power is 117.24 kWp by poly- and monocrystalline modules. The electrical energy production of these modules and their temperature are analyzed for 8 years and 9 months. The quantity of electric energy is increased in proportion of the temperature of photovoltaic modules for local climatic conditions.

**Keywords:** photovoltaic modules, solar irradiance, temperature of photovoltaic modules, electrical power generation.

#### ВЪВЕДЕНИЕ

Фотоволтаичните модули са съвременните технически средства, чрез които слънчевата енергия се преобразува в електрическа [7].

Един от факторите, които влияят върху производството на електрическа енергия (производителност) от фотоволтаичните модули, е тяхната температура [6,8]. Изследвано и анализирано е влиянието на този и други фактори върху производителността на модулите, с цел определяне текущото и прогнозиране на бъдещото състояние на модулите [2,3,6].

Целта на изследването е да се анализира изменението на производителността на фотоволтаични модули, монтирани на покрив на индустриална сграда, в зависимост от температурата им, за продължителен период на експлоатация, при конкретни географски условия.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ

##### Обект на изследването

Изследваният обект е фотоволтаична система с обща максимална мощност 117,24 kWp. Подробно описание на системата е представено в [2].

#### Методика и средства за изследването

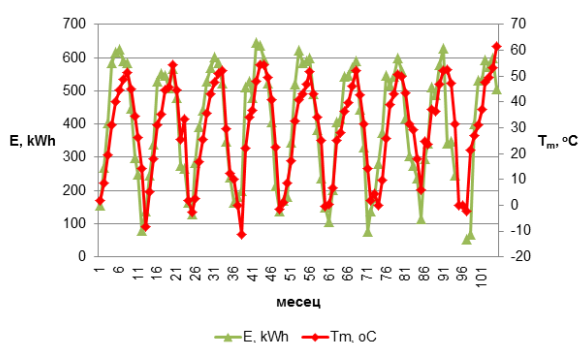
Измерването на температурата на фотоволтаичните модули се извършва чрез измервателни преобразуватели (сензори) Pt 100. Те променят електрическото си съпротивление под въздействие на температурата [1]. Сензорите се свързват към модул SMA Sensor, който се монтира в инверторите. Интервалът на измерваните стойности е  $(-40...+85)^{\circ}\text{C}$ . Грешката при измерване с четирипроводна схема на свързване е  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ , а максималната ѝ стойност при същата схема е  $\pm 1,7^{\circ}\text{C}$  [9].

Измерените стойности се записват на определени интервали от време чрез модул Sunny Web Box. Записаната информация може да се анализира чрез специализиран софтуер [10]. Количеството произведена електрическа енергия се определя чрез информацията, получавана от инверторите. Максималните и средните стойности на температурата на модулите, а също и произведената от модулите електрическа енергия, се записват на всеки 15 min.

#### Резултати от изследването

Измерваните величини температурата на фотоволтаичните модули и произведената електрическа енергия са представени със средните си месечни стойности. Те се получават от средните стойности за всеки ден

от разглежданите 8 години и 9 месеца, при отчитане продължителността на светлата част от денонощието. Началото на периода на наблюдение и началото на експлоатацията на фотоволтаичната система съвпадат. Измененията на средните стойности на температурата на модулите  $T_m$  и произведената електрическа енергия  $E$  са представени за всеки месец на фиг.1. Стойностите се променят годишно циклично, подобно на интензитета на слънчевата радиация  $G$  [2,5]. Това е причината за наличие в графиките на максимуми през летните месеци и минимуми – през зимните.

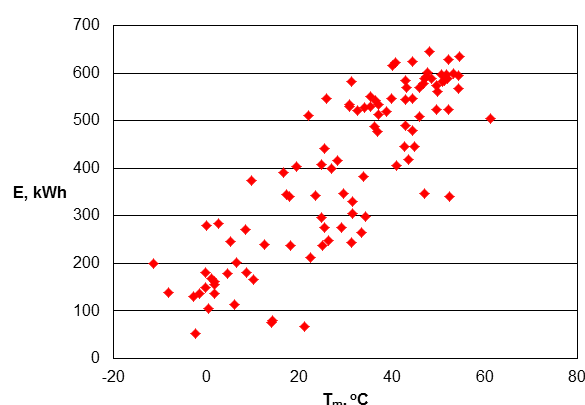


Фиг.1. Изменения на температурата на фотоволтаичните модули  $T_m, ^\circ\text{C}$ , и произведената електрическа енергия  $E, \text{kWh}$ , по месеци.

В края на разглеждания период, през зимния сезон между последните две години, липсват някои стойности на произведената електрическа енергия  $E$ . В процеса на експлоатация на фотоволтаичната система са регистрирани прекъсвания в работата на измервателните преобразуватели и/или информационната система. По тази причина липсват стойностите на температурата на модулите и произведената електрическа енергия за някои от часовете и дните.

Зависимостта на произведената електрическа енергия  $E$  от температурата на фотоволтаичните модули  $T_m$  е представена на фиг.2. Показани са средните стойности за всеки месец, за период от 8 години и 9 месеца от началото на експлоатация на фотоволтаичната система. Стойностите на температурата  $T_m$  се изменят в интервала  $(-11,3...+61,4)^\circ\text{C}$ , а на произведената електрическа енергия  $E - (53,3...645,3) \text{kWh}$ . Следователно, при изменение на температурата  $T_m$  с  $1^\circ\text{C}$  електрическата енергия  $E$  се изменя с  $8,1 \text{kWh}$ . Графиката не е линия, а об-

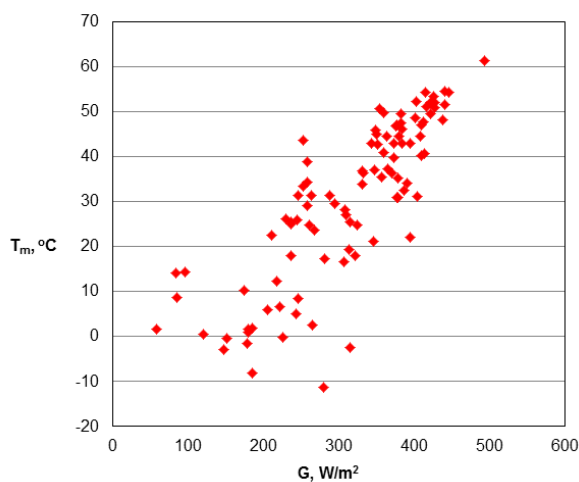
ласт от точки, които са разположени така, че се оформя правопрпорционална зависимост на произведената електрическа енергия  $E$  от температурата на модулите  $T_m$ . Областта от точките е сравнително еднакво широка в целия интервал на изменение на температурата  $T_m$ . Графиката показва, че зависимостта между величините не е еднозначна, т.е. за голяма част от стойностите на температурата  $T_m$  съответстват повече от една стойности на произведената електрическа енергия  $E$ . Това разсейване на стойностите на енергията е по-голямо за температури в интервала  $(0...+46)^\circ\text{C}$ .



Фиг.2. Изменение на произведената електрическа енергия  $E, \text{kWh}$ , в зависимост от температурата на фотоволтаичните модули  $T_m, ^\circ\text{C}$ .

Разсейването на стойностите на произведената електрическа енергия  $E$  се дължи на изменения в климатичните условия. Основният фактор, който определя температурата на модулите  $T_m$ , е интензитетът на слънчевата радиация  $G$  [8]. Това може да се види на графиката на фиг.3. Забелязва се разсейване на стойностите, което е по-голямо при интензитет на слънчевата радиация  $G < 350 \text{W/m}^2$ . Причина за това е, че при по-ниски стойности на интензитета  $G$  през по-топли дни и месеци температурата  $T_m$  е положителна, а през по-студен период – температурата на модулите  $T_m$  може да бъде по-ниска или дори отрицателна. По-големите стойности на интензитета  $G$  се наблюдават през по-топли месеци, когато температурите са положителни и сравнително високи (над  $30^\circ\text{C}$ ). Тогава, при  $G > 350 \text{W/m}^2$ , разсейването на стойностите на температурата  $T_m$  е по-малко (фиг.3).

Зависимостта на произведената електрическа енергия  $E$  от интензитета на слънчевата радиация  $G$   $E = f(G)$  е разглеждана за същия период [2]. За голяма част от него е установено, че енергията  $E$  зависи линейно пропорционално от интензитета  $G$ . Неговите стойности могат да се изменят в някакъв интервал, при дадена постоянна температура  $T_m$  (фиг.3). Ако тя е сравнително висока, по-малките стойности на интензитета  $G$  в даден негов интервал на изменение, най-често се дължат на временно увеличение на облачността.



Фиг.3. Изменение на температурата на фотоволтаичните модули  $T_m$ , °C, в зависимост от интензитета на слънчевата радиация  $G$ ,  $W/m^2$ .

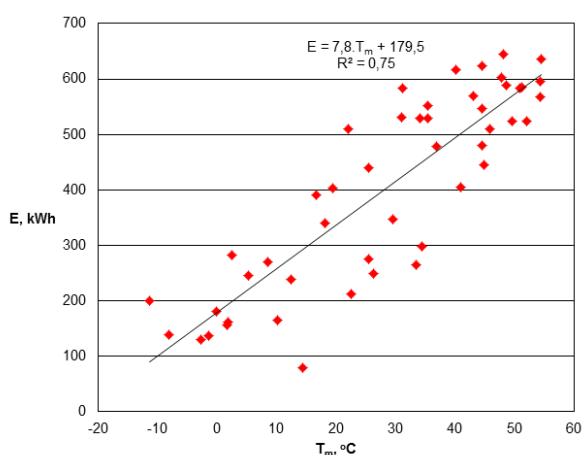
Фотоволтаичните модули работят по-ефективно, ако се охлаждат по-добре. Причината е влиянието на температурата  $T_m$  върху волт-амперните характеристики на основните елементи, от които са изградени модулите – полупроводникови фотоволтаични клетки [5,8]. Скоростта, посоката и характера на вятъра определят температурата на модулите  $T_m$  и така влияят на охлаждането на модулите [5,8].

Климатичните условия през преходните месеци от годината – пролетни и есенни се характеризират с по-умерени температури, в сравнение с летните месеци. Интензитетът на слънчевата радиация  $G$  и продължителността на деня са по-големи през преходните месеци, в сравнение със зимните. Тези условия повишават ефективността на фотоволтаичните модули, която може да бъде висока и през летните месеци,

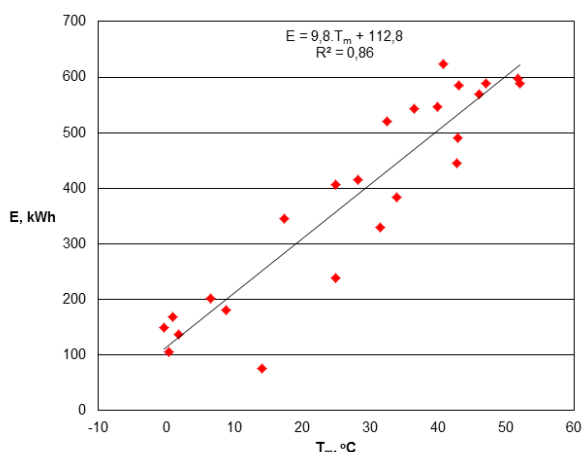
ако температурите не са особено високи. Например, за месеците юни на четвъртата и юли на осмата година от началото на експлоатацията на системата са получени едни от най-големите количества електроенергия - 645,2 kWh и 628,7 kWh, съответно. Тогава средномесечните стойности на температурите на атмосферния въздух  $T_a$  и на модулите  $T_m$  са били, съответно, за месец юни 36,2°C и 44,6°C, и за месец юли 41,9°C и 52,2°C. В други случаи, за типично летни месеци климатичните условия не са били подходящи и ефективността на модулите е по-малка. Например месец август на осмата година, когато температурите  $T_a$  и  $T_m$  са със съответни стойности 43,4°C и 52,4°C, а средното количество произведена електрическа енергия за месеца е само 340,9 kWh. Подобна стойност (342,2 kWh) се получава през същата година и за месец март, който е от преходния период. За други месеци от същия период условията за охлаждане на фотоволтаичните модули не са много добри и ефективността им е по-малка, например месец септември на осмата година. Тогава средномесечните стойности на температурите на атмосферния въздух  $T_a$  и на модулите  $T_m$  са били сравнително високи, съответно 39°C и 47,2°C, а произведената електрическа енергия средно за месеца е 347,9 kWh.

Графиката на фиг.2 е за целия разглеждан период, но стойностите на произведената електрическа енергия  $E$  са повече от една за дадена температура  $T_m$ , т.е. наблюдава се значително разсейване. Анализирано е съответствието между теоретичните и измерените стойности за няколко математически функции - линейна, експоненциална, степенна, полиноми от 2-ра до 6-та степени, включително. За всяка от тях коефициентът на детерминация  $R^2$  е по-малък от 0,78 и по тази причина разглежданите функции не са подходящи за представяне на измерените стойности [4]. Възможност за по-точно анализиране зависимостите между величините е да се провери изменението им по години (фиг.4, фиг.5, фиг.6). Графиката за петата и шестата години (фиг.5) се доближава най-много до права линия, което се потвърждава от стойността на коефициента на детерминация  $R^2$ . Тя е 0,86 и показ-

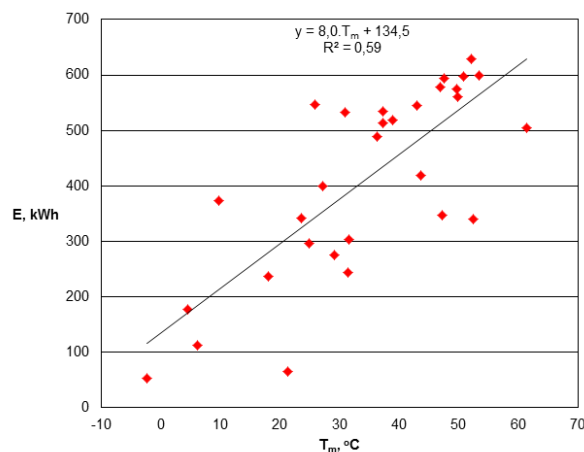
ва добро съгласуване между аналитичните и измерените стойности. Графиката за първите четири години (фиг.4) се характеризира със сравнително голямо разсейване, както показва стойността на коефициента на детерминация  $R^2 = 0,75$ . Тя определя, че 75% от измененията на стойностите на електрическата енергия  $E$  зависят от температурата  $T_m$  и се описват с представената линейна математическа функция, а останалите 25% от измененията на  $E$  се дължат на влиянието на други фактори, които не са отчетени.



Фиг.4. Изменение на произведената електрическа енергия  $E$ , kWh, в зависимост от температурата на фотоволтаичните модули  $T_m$ , °C, за първите 4 години.



Фиг.5. Изменение на произведената електрическа енергия  $E$ , kWh, в зависимост от температурата на фотоволтаичните модули  $T_m$ , °C, за петата и шестата години.



Фиг.6. Изменение на произведената електрическа енергия  $E$ , kWh, в зависимост от температурата на фотоволтаичните модули  $T_m$ , °C, за седмата, осмата и непълната девета години.

Графиката за последната част от изследвания период – седмата, осмата и непълната девета години (фиг.6) в най-голяма степен от разглежданите (фиг.4, фиг.5, фиг.6) се различава от права линия. Разсейването на стойностите също е най-голямо, както показва стойността на коефициента  $R^2 = 0,59$ . По тази причина не е предложена математическа функция за по-точно описание зависимостта между величините.

Проведени са допълнителни проучвания за степента на съгласуване, поотделно за всяка година от разглеждания период. Установено е, че само за три години – третата, петата и шестата, стойностите на коефициента на детерминация  $R^2$  са по-големи от 0,85 и съответно са 0,85, 0,87, 0,86. Те показват, че разсейването на стойностите е сравнително малко, а съгласуването между аналитичните и измерените стойности на величините е много добро. Коефициентите на уравненията, с които се описват данните, са близки по стойност.

Общата тенденция на графиките (фиг.4, фиг.5, фиг.6), както и на тези от допълнителното проучване за всяка година, е подобна – произведената електрическа енергия  $E$  от фотоволтаичните модули зависи пропорционално от температурата им  $T_m$ .

Наклонът на линейните графики (фиг.4, фиг.5, фиг.6) е подобен, което се определя от близките стойности на коефициентите пред температурата на модулите



$T_m$ . Най-голям е наклонът на графиката на фиг.5, което показва, че количеството произведена електрическа енергия  $E$  е най-голямото, при дадена стойност на температурата на модулите  $T_m$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследването за влиянието на температурата на фотоволтаичните модули върху произведената от тях електрическа енергия от фотоволтаични модули, монтирани на покрив на индустриална сграда, за продължителен период на експлоатация, при конкретни географски условия, дава основание да се направят следните изводи:

1. Температурата на фотоволтаичните модули влияе значително върху производството на електрическа енергия, като специфичното й изменение е  $8,1 \text{ kWh/}^\circ\text{C}$ , а общата тенденция на зависимостта е право пропорционална. Измененията на двете величини във времето са периодични и се характеризират с ясно изразени максимуми през летните месеци и минимуми – през зимните.

2. Влиянието на температурата на фотоволтаичните модули върху произведената електрическа енергия, за петата и шестата години от началото на експлоатацията на системата, се представя много добре с линейна функция. Специфичното изменение на електрическата енергия е  $14,4 \text{ kWh/}^\circ\text{C}$ .

3. Зависимостта на произведената електрическа енергия от температурата на фотоволтаичните модули, за първите четири години и за седмата, осмата и непълната девета години от началото на експлоатацията на системата, се характеризира с голямо разсейване.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Динолов О., И. Стоянов, Н. Михайлов. Електротехнически материали, Учебен курс за обучение, 2020, <http://e-learning.uni-ruse.bg>, стр. 120
- [2] Коев, К. Изследване влиянието на слънчевата радиация върху производителността на фотоволтаични модули.// Известия на Съюза на учените – Русе, Серия: Технически науки, 2022, стр. 16-20, ISSN 1311-106X.
- [3] Коев К., Н. Недев, К. Андонов, Кр. Мартев. Изследване влиянието на някои фактори върху производството на електрическа енергия от фотоволтаични модули.// Енергетика, 2011, брой 6, стр. 27-30.
- [4] Митков, Ат. Теория на експеримента. Печатна база на Русенски университет “Ангел Кънчев”, Русе, 2010, стр. 228.
- [5] Markvart T., L. Castañer. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications. Elsevier Ltd., 2003, p. 984.
- [6] Machacek, J., Z. Prochazka, J. Drapela. The Temperature Dependant Efficiency of Photovoltaic Modules - a Long Term Evaluation of Experimental Measurements, Renewable Energy, T. J. Hammons (Ed.), InTech, [www.intechopen.com/books/](http://www.intechopen.com/books/). 2009.
- [7] Photovoltaics report. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE with support of PSE Projects GmbH, [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)
- [8] Şen, Z. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques. London: Springer, 2008.
- [9] SMA Sensor module, SMA Solar Technology AG <https://files.sma.de/downloads/MDSSEN-40-IA-en-11.pdf>
- [10] [www.sma.de](http://www.sma.de).

### За контакти:

доц. д-р инж. Константин Коев  
Катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”  
Русенски университет “Ангел Кънчев”  
тел.: 082-888 661,  
e-mail: [kkoev@uni-ruse.bg](mailto:kkoev@uni-ruse.bg)

## НОРМАТИВНИ ДОКУМЕНТИ, ОПРЕДЕЛЯЩИ ИЗИСКВАНИЯТА КЪМ АСИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ

Вяра Русева, Анка Кръстева  
Русенски университет „Ангел Кънчев“

---

### Normative documents determining requirements for asynchronous motors

Vyara Ruseva Anka Krasteva  
Angel Kanchev University of Ruse

**Abstract:** The paper indicates the main energy parameters of the induction motors. An analysis of normative documents, defining the different energy classes for induction motors, has been made. Obtained is the analytical dependence for calculating the power losses which have to be reduced in order the engines of class IE2 to reach energy efficiency class IE3. The results of the calculated power losses for a specific type of engines are presented in graphical form.

**Keywords:** energy efficiency, induction motor.

---

### ВЪВЕДЕНИЕ

Основните енергийни показатели на асинхронните двигатели (АД) са коефициентът на полезно действие (к.п.д.) и факторът на мощността [2]. Коефициентът на полезно действие е мярка за ефективността, с която асинхронният двигател преобразува електрическата енергия в механична, докато факторът на мощността ( $\cos\varphi$  при синусоидални токове) е мярка за ефективното потребление на електрическата енергия от мрежата. Много изследвания и научни разработки [4, 8] са насочени към повишаване на енергийната ефективност на асинхронните електродвигатели, които са едни от най-големите консуматори на електрическа енергия. Световните и европейски действащи стандарти за изпитване и определяне к.п.д. на асинхронни електродвигатели дават информация за енергийните показатели, но по тях не могат да се правят сравнения за енергийната ефективност на отделните АД, защото к.п.д. се определя по различни начини [3].

За намаляване консумацията на електрическа енергия от асинхронните двигатели се приемат нормативни документи, чрез които се дефинират минимални нива за ефективността им.

Целта на разработката е да се направи анализ на действащите нормативни документи, дефиниращи различните енергийни класове при асинхронните двигатели.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Преобразуването на електрическата енергия в механична в асинхронните двигатели е свързано с отделяне на загуби в различните части на машината. Загубите в електрическите машини са определящ фактор за енергийната ефективност (коефициента на полезно действие). Затова за проектиране и произвеждане на енергийно ефективни двигатели е необходимо добре да се познава мястото на възникване на отделните загуби и причините, които ги предизвикват. Повишаването на енергийните показатели, в това число за сметка на увеличаване на цената и разхода на активни материали, излиза на преден план. Електротехническите фирми разработват нови серии двигатели, които да отговарят на изискванията за по-висок енергиен клас. Повишаването на к.п.д. на асинхронните двигатели изисква оптимизиране на проектирането, въвеждане на иновативни технологии и използване на нови материали.

Енергоефективните двигатели консумират по-малко мощност отколкото стандартните двигатели за получаване на една и съща механична мощност. Те имат ниски относителни загуби в основните части, които се получават за сметка на намаляване на електромагнитните натоварвания. Енергоефективните двигатели се произвеждат с висококачествени материали и нови технологии, поради което имат по-голям срок на служба на изолацията и лагерите, имат по-

ниско ниво на вибрации и шум, което ги прави по-надеждни и с по-дълъг живот.

По статистически данни, цената на двигателя е само 2% [1] от сумарните разходи за целия жизнен цикъл на двигателя. Енергоефективните двигатели са по-скъпи с 10...30% [1], но повишената цена се откупва сравнително бързо за сметка на спестената електрическа енергия. Времето за откупуване зависи от броя на отработените часове за година.

Инсталирането на енергоефективни електрически двигатели е свързано с допълнителен разход от 20 - 30%, но води до по-висока ефективност и съответно значителни енергоспестявания. Периодът на възвръщаемост в инвестиране в енергоефективни задвижващи системи е обикновено до 3 години [9].

Енергоефективните двигатели освен, че са по-скъпи, обикновено са с по-голяма маса и по-голям пусков ток. Затова обикновено отстъпват по динамични показатели на стандартните. С цел намаляване консумацията на електрическа енергия от асинхронните двигатели се приемат нормативни документи, които въвеждат задължителни изисквания за минимални нива на ефективност за електродвигателите.

Чрез стандарт IEC 60034-30:2008 [5] са определени три класа енергийна ефективност IE (International Efficiency) за едноскоростните, трифазни асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор: IE1 - нормален к.п.д; IE2 - висок к.п.д и IE3 - Premium к.п.д. В същия стандарт е отбелязан и клас Super-Premium, IE4. Загубите при него са по-малки с около 15%, в сравнение с клас IE3.

По-късно стандарт IEC 60034-30:2008 е отменен с IEC 60034-30-1:2014 [7], който се отнася за едноскоростни електродвигатели с по-голям диапазон на мощностите (0,12...1000kW), които работят със синусоидално захранващо напрежение в диапазона 50...1000V. В него са посочени номинални стойности за к.п.д. за електродвигатели клас IE4 с 2, 4, 6 и 8 полюса. Освен това стандарт IEC 60034-30 определя, че двигателите трябва да се изпитват, съгласно стандарт 60034-2-1:2014 [6], в който се дават подробни инструкции как коректно

да се определят и измерят загубите и к.п.д на двигателите.

Регламент (ЕО) № 640/2009 [2] на Европейската Комисия определя изискванията за едноскоростните трифазни асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор с номинална мощност на вала между 0,75 kW и 375 kW и посочва график за въвеждане изискванията на регламента. От 1 януари 2015 г. двигателите с номинална мощност на вала между 7,5 и 375 kW не трябва да са с к.п.д., по-нисък от този за ниво на ефективност IE3 или трябва да отговарят на ниво на ефективност IE2 и да бъдат оборудвани с регулатор на оборотите. В началото на 2017 г. обхватът на действие на регламента се разширява и върху двигателите с номинална мощност между 0,75 и 7,5 kW. В приложението на регламента са посочени минимални стойности за к.п.д. - за ниво на ефективност IE2 и IE3.

Регламент на Европейския съюз за екодизайна (ЕС) 2019/1781 отменя Регламент (ЕО) № 640/2009 и определя нови изисквания за енергийните характеристики на разширяващата се гама от двигатели за ниско напрежение от 2021 г. [10]. Новият регламент има по-широк обхват, който включва безчеткови асинхронни електродвигатели, без колектори, контактни пръстени или електрически връзки с ротор, които са предназначени да работят със синусоидално напрежение с честота 50 Hz, 60 Hz и които са с два, четири, шест или осем полюса.

Нивото на енергийна ефективност се изразява в международен клас на енергийна ефективност (IE), като IE1 е най-ниският клас, а IE5 е най-високият. Съгласно действащите регламенти, двигателите трябва да достигнат ниво на ефективност IE2, IE3 или IE4 в зависимост от тяхната номинална мощност и други характеристики, подробно описани в [10]. От 1 юли 2021г. трифазните двигатели с номинална мощност между, равна или по-голяма от 0,75 kW и равна или по-малка от 1000 kW, които са с 2, 4, 6 или 8 полюса, трябва да достигнат клас на ефективност IE3 до юли 2021 г. Енергийната ефективност на трифазни двигатели с обявена изходна мощност, по-голяма или равна на 0,12 kW и по-малка от 0,75 kW, с

2, 4, 6 или 8 полюса, трябва да съответства най-малкото на ниво на ефективност IE2.

От 1 юли 2023 г. енергийната ефективност на двигатели с мощност по-голяма или равна на 0,12 kW и по-малка или равна на 1000 kW, с 2, 4, 6 или 8 полюса и еднофазни двигатели с обявена изходна мощност, по-голяма или равна на 0,12 kW, трябва да съответства най-малкото на ниво на ефективност IE2, а на трифазни двигатели, които не са двигатели със спирачка, с обявена мощност, по-голяма или равна на 75 kW и по-малка или равна на 200 kW, с 2, 4 или 6 полюса, трябва да съответства най-малкото на ниво на ефективност IE4. Стандартът дефинира изискваната продуктова информация, която да бъде посочвана от производителите за конкретен двигател. От 1 юли 2021 г. се изисква обявяване на к.п.д. при пълн, 75 % и 50 % от обявения товар и номинално напрежение, определен на базата на работа при 50 Hz и 25 °C стандартна температура на заобикалящата среда, както и загубите на мощност, изразени като процент (%) от обявената мощност. Енергийно ефективни асинхронни двигатели с нахъс-соединен ротор с клас (ниво) на ефективност IE3 имат к.п.д. с 0,8...3,3% по-висок, отколкото електродвигателите с клас IE2.

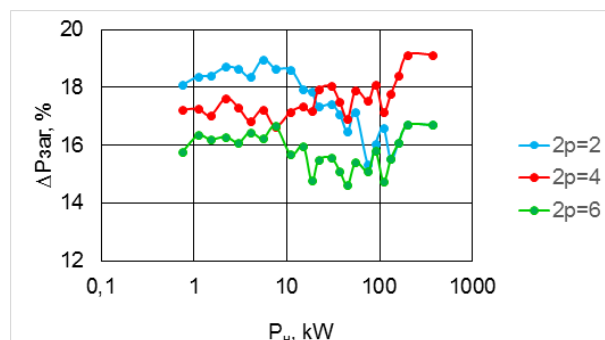
За достигане клас на енергийна ефективност IE3, за асинхронните двигатели с мощност 0,75...375kW, е необходимо да се редуцират загубите. С колко трябва да се намалят загубите  $\Delta P_{\text{заг}}$  спрямо загубите за двигателите с клас IE2 може да се изчисли, като се използва формулата:

$$\Delta P_{\text{заг}} = \frac{100(\eta_{\text{IE3}} - \eta_{\text{IE2}})}{\eta_{\text{IE3}}(100 - \eta_{\text{IE2}})} 100, \% \quad (1)$$

където  $\eta_{\text{IE2}}$  е к.п.д. на асинхронен двигател с определена номинална мощност и брой полюси с енергиен клас IE2 съгласно таблица 1 [10], в %;

$\eta_{\text{IE3}}$  - к.п.д. на същия асинхронен двигател с енергиен клас IE3, съгласно [10], в %.

Получените резултати са представени на фиг. 1.



Фиг. 1. Намаляване на загубите в асинхронните двигатели за преминаване от енергиен клас IE2 в клас IE3

От графиката се вижда, че не може да се говори за някаква строга зависимост между номиналната мощност и намаляването на общите загуби на АД за достигане на енергиен клас IE3. Средната стойност на намаляването на общите загуби за преминаване от клас IE2 в клас IE3 за асинхронните двигатели с брой полюси  $2p=2$  е 17,44%, за  $2p=4$  – 17,58% и за  $2p=6$  – 15,8%. Това поставя въпроса как може да постигне това.

Общите загуби, при двуполусните двигатели клас IE3, с мощност до 11kW, трябва да се намалят с над 18%, спрямо загубите на същите двигатели с клас IE2. Също и при четириполусните двигатели с мощност над 160kW, загубите трябва да се намалят с над 18%. При двигателите с мощност в диапазона 200...375kW загубите трябва да се намалят с еднакъв процент за двуполусните и шестполусните двигатели.

Дори малко повишаване на ефективността (к.п.д.) може да доведе до значително спестяване на електрическа енергия и намаляване на разходите за експлоатация по време на целия жизнен цикъл на електродвигателите.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направен е анализ на нормативните документи, дефиниращи различните класове на енергийна ефективност при електрическите двигатели. Посочени са изискванията за енергийна ефективност на двигателите, които да бъдат постигнати в съответствие с графика на действащия Регламент на Европейския съюз (ЕС) 2019/1781.

Получена е аналитичната зависимост за пресмятане на загубите на мощност, кои-

то трябва да се намалят, за да достигнат асинхронните двигатели с мощност 0,75...375kW от клас IE2, клас на енергийна ефективност IE3. IE3. Средната стойност на намаляването на общите загуби за преминаване от клас IE2 в клас IE3 за асинхронните двигатели с различен брой полюси и мощност варира между 15% и 18%.

Постигането на изискванията за енергийна ефективност на двигателите, посочени в Регламент на Европейския съюз (ЕС) 2019/1781, е предпоставка за повишаване на коефициента им на полезно действие.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Альбертъян Н. А., В. А. Безрученко, Резервы повышения коэффициента полезного действия электродвигателей, Электро, 3/2004, стр. 44-48.
2. Регламент (ЕО) №640/2009 на Комисията от 22 юли за прилагане на Директива 2005/32/ЕО на Европейския парламент и на Съвета по отношение на изискванията за екопроектиране на электродвигатели, Официален вестник на Европейския съюз, 23.07.2009, стр. 26-34.
3. Христова, М., В. Русева, 2013. Сравнителен анализ на нормативни документи за енергийна ефективност на асинхронните электродвигатели, Научни трудове на РУ, том 52, серия 3.1, Русе, Издателски център на Русенския университет, 48-55.
4. Boglietti A., A. Cavagnino, L. Ferraris, M. Lazzari, and G. Luparia, No Tooling Costs Process for Induction Motors Energy Efficiency Improvements, IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 41, no. 3, May-June 2005, pp. 808-816.
5. IEC 60034-30:2008 Rotating electrical machines - Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code), 2008, p.35.
6. IEC 60034-2-1:2014 Rotating electrical machines - Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles), Edition 2.0, p. 186.
7. IEC 60034-30-1:2014 Rotating electrical machines - Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code), 2014, p. 50.
8. Manoharan S., N. Devarajan, M. Deivasahayam, G. Ranganathan, Review on efficiency improvement in squirrel cage induction motor by using dcr technology, Electrical Engineering, vol. 60, no. 4, 2009, 227-236.
9. Tudorache T., Melcescu L., Petre V., High Efficiency Squirrel Cage Induction Machines, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09), p. 239-244, 2009.
10. [www.damtn.government.bg/wp-content/uploads/2021/09/regulation\\_1781\\_2021](http://www.damtn.government.bg/wp-content/uploads/2021/09/regulation_1781_2021)

### За контакти:

доц. д-р инж. Вера Събова Русева  
Катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане”  
Русенски университет “Ангел Кънчев”  
тел.: 082-888 616  
e-mail: [vruseva@uni-ruse.bg](mailto:vruseva@uni-ruse.bg)

доц. д-р инж. Анка Христова Кръстева  
Катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане”  
Русенски университет “Ангел Кънчев”  
тел.: 082-888 301  
e-mail: [akrasteva@uni-ruse.bg](mailto:akrasteva@uni-ruse.bg)

## Analysis of the Potential of Distance Education Types to Offer a High-Quality Education Process from the Engineering Education Perspective

Ventsislav P. Keseev  
*Angel Kanchev University of Ruse*

**Abstract:** The different distance learning types are analyzed, based on practical requirements, advantages, disadvantages and based on our new experience with them, in order to be clarified which distance learning type is best for certain education field. The beneficial sides of the different distance learning variants could add value and improve the regular present face to face education. The information aims to save time to teachers and to help them create an efficient and useful distance learning education process that could improve even the regular face-to-face one.

**Keywords:** distance, learning, education, synchronous, asynchronous.

---

### Introduction

The Covid-19 pandemics suddenly required all schools and universities to make transition towards distance learning education process. This fast transition process has led to many problems and many questions arose concerning what type of distance learning is the most appropriate option for certain study subject, how much time is needed for certain transition, do we have everything needed for this to happen, how is that distance education process going to be reported as work done by the teacher as well as work done by each student. There are many problems on both sides, the teachers' and the students' one. Different parents faced different types of barriers, as personal, technical, logistical, and financial, in their endeavors to assist their children with distance learning during the pandemic, [1]. Another question is if the distance education actually could be as good as the common face-to-face education process. There are studies showing that the students who used problem-based distance learning tutorials exhibited lower levels of proficiency in key areas than students who utilized the conventional face-to-face approach, [2].

From the point of view of students, advantages of distance learning are time and place independences, repetition opportunity of virtual classroom sections, but at the same time some students do not prefer distance learning, [3-5]. Other studies report that most students are positive about their online course experiences and found the interaction during the course useful, [6, 7]. There are studies which concluded that teachers and students do

not have sufficient knowledge about the distance education, [8]. We have noticed this to be true at least at the beginning of this pandemic, but still there are many colleagues that don't have enough information and are wondering which way to take.

The potentials of the different distance learning types to offer a high-quality education process and to improve even the regular face-to-face education processes are analyzed. This initial analysis is needed in order the appropriate high quality distance education form to be chosen from teachers for certain education cases. The right distance learning education form might be connected with a long term strategy for present face-to-face education process improvements which integrates the newly created distance learning materials and education forms. In such a way the heavy work done for the development of distance learning materials and work methodologies won't be lost after the pandemic end.

### METHODOLOGY

The potential of the different distance learning types is analyzed through comparison with the requirements for the common high quality face-to-face education process. The practical concerns and aspects of the different distance education processes are investigated and some solutions of different problems are presented, based on our experience with them. For greater accuracy and more structured approach, the advantages and disadvantages of the different distance learning types are analyzed separately. The analysis conclusions



are drawn in contrast to requirements for high quality education process and our vision about the correct education process methodology. The main aspects of distance learning that could add value and improve the quality of the regular present face-to-face education process are underlined.

### **DISTANCE LEARNING TYPES**

The main types of distance learning are synchronous, asynchronous and hybrid. In order all of them to be successful a special training system should be created based on the principle of completeness of training, the principle of non-delayed feedback, the principle of closed control of the educational process, the principle of directed information flow and the principle of diagnostics of goal formation, [9]. The problem is that not all components of the traditional educational process remain effective when transferred to the online environment, [10]. From another point of view, not all courses offered by the university are suitable for distance learning courses, and not all students are adept at distance learning, [11]. The teachers need to recognize and account for different types of learners and adapt their curricula and learning environment to them and at the same time they should guide the learning process towards goals that emphasize the successful acquisition of skills and knowledge, [12].

#### ***A. Synchronous Distance Learning***

Synchronous means that the education process happens at the same time for all students in certain group. It could be done in different ways but the most appropriate ones seem to be through virtual classrooms or teleconferencing. The synchronous distance learning, done with the help of certain teleconference systems, seems to have become the most popular one nowadays or at least in Bulgaria. This is probably due to its easiness, versatility and comparatively fast implementation, which was required by the sudden Covid-19 emergence situation. Other reasons for its wide applications are that there are already developed professional software cloud-based instruments that offer immediately most of the needed functionalities. It is close to the common face-

to-face education process and the studying materials could be comparatively easy transformed and applied for this type of learning. It requires regular appointments as well as good scheduling of the deadlines for the different tasks. Usually a more powerful computer, multimedia equipment and good internet are required.

#### ***B. Asynchronous Distance Learning***

Asynchronous means that the education process is not done at the same time with all students and everyone works when it is convenient for him. This type of education process does not require regular appointments, but it requires good scheduling of tasks and pre-designed learning materials which may include explanatory video files and freely available software, if needed for the students work. It requires a strict set of deadlines however, it allows learners to learn at their own pace. It may require initial and final synchronous meetings with all students. It may require a more powerful computer if videos need to be recorded and directed, cloud-based platform for its wide dissemination as well as multimedia and good internet.

#### ***C. Hybrid Distance Learning***

The hybrid distance learning is a combination of the synchronous and asynchronous ones so it has all their requirements.

### **SYNCHRONOUS DISTANCE LEARNING**

#### ***A. Advantages of synchronous distance learning***

The main advantage of this type of distance learning is that the direct contacts between teachers and students are not lost. The education process, although being conducted online, is still face-to-face. The teacher talks directly to students and can help them and direct them in real time. He could lead courses in an interactive manner by involving students in the lectures which is important for their development because the ones working are the ones who learn. A teamwork atmosphere could be created which is also important for all students' development. All developed education materials could be easily digitized

and presented. Students may not need to possess special expensive software and probably powerful expensive computers in order to complete their tasks, because in such a case the teacher could make them work in team and he could apply and present their solutions through the software available on his computer, by screen sharing. An online reachable powerful server could be setup which allows student through its resources to use expensive and overwhelming software with less powerful computers. In such a case they will work on their own which is the best case scenario. The teacher could also do practical setups with the available equipment in front of students eyes, based on their team work, so they could test their solutions in real time and in such way to learn their lessons on the principle of trial and error. In case of problems he could see what is not well known and to clarify it for students through direct example. He could also take notes who of the students is working by himself more diligently and succeeds on his own with the given tasks. In such a way the teacher could better evaluate the students work at the end of the semester.

From the students perspective some of them need regular appointments in order to be stimulated to study evenly throughout the semester, to work diligently and on their own on the different tasks they must complete. Some of them need support and someone to confirm that they are on the right track in order they to feel confident in what they are doing. Students are acquainted and attached to the face-to-face education process and like many others they do not like much and don't expect to accept immediately the change.

### ***B. Disadvantages of synchronous distance learning***

The main disadvantages of this learning process is that often it requires comparatively powerful computer equipment, good internet connection and probably proprietary powerful servers. Often computer screen sharing is needed for the education process, but it overwhelms weaker computers, eats up the internet connection resources and overcharges the common widely available servers.

Usually, the different online presentation systems allow screen sharing but for this to work properly the schools may need to setup

their own powerful servers and even may need more than one. All of them must be connected to a strong internet connections. Our experience is that different widely available cloud-based software solutions get comparatively easy overwhelmed, which could make the education process a nightmare.

This education process is prone to failures due to technical problems on either side, the students or teacher one. This inherent weakness raises certain questions.

What happens if because of a technical problems the teacher cannot conduct classes with students? Many schools, at least in Bulgaria, can't afford to buy powerful and expensive computer equipment, while some of them don't even have access to a strong internet connection. The lack of opportunities makes the learning process susceptible to breakdowns. If such failures are many during the semester who is to blame for the poor education process and how students could be expected to pass the exams?

What happens if students constantly report that they cannot afford powerful computer equipment and don't have access to good internet connection? In such a case, do they really have a problem or are they just looking for the easy way around the commitments they have in the education process? Luckily, we haven't noticed many such problems, but there are such cases. How are those students going to pass the semester and who is to blame for these situations in such a case?

What happens if students are usually attending classes, but from time to time because of technical problems, as they report, they are missing from certain class? Should the teacher in this case make a second class just for them, because they miss? How are those students going to pass the semester and who is to blame for these situations in such a case?

The face-to-face education process through an online conference system is a slower process compared to the standard present learning process. Switching the screen view mode and displaying different learning materials takes time and the specified study hours are very likely to be insufficient for full transmission of the study material. This

problem can force the teacher to teach faster, which will further worsen the learning process.

## **ASYNCHRONOUS DISTANCE LEARNING**

### ***A. Advantages of asynchronous distance learning***

This type of distance learning process doesn't require appointments on a regular basis. All studying materials should be passed on to the students at the beginning of the semester, which we believe is the better option, but they may be presented in certain time intervals too. In this case everyone works in his convenient time, but they must report their activities over certain periods of time, because the evenly distributed work during the semester is very important for students' development. The problem is that the human brain has limitations concerning how much information it could acquire for certain period of time and when they work on a regular basis during the semesters they have time to understand the studying material and to acquire certain level of experience.

This education process is not prone to failures because there aren't initially scheduled appointments for education materials presentations that are mandatory for students to attend. Weekly distance consultation meetings might be helpful but they are usually for those students who need to ask something in real time, something that requires a longer and complicated answer from the teacher. Students can always ask questions by e-mail or a face-to-face distance virtual meeting could be arranged in a convenient time, if needed.

In this case, the students don't need very powerful computer equipment and strong internet connection. No one could be missing from classes because there aren't mandatory meetings. Students learn to independently allocate their time between different tasks, which is important for their growth as individuals.

The teachers may spend less time in direct face-to-face work with students, but they may need a lot of time to check the work of students and to give corrective guidance and recommendations. A lot of time is also needed for written answers of the many questions students ask on a daily basis. In order those

questions to be minimized the teacher must arrange very well the whole education process and the creation of explanatory video files help a lot in this regard. The video lectures and other explanatory video files could add value to all types of education processes. Video lectures create order and are good transition option between different generations of teachers. They save the knowledge and allow future improvements in the education process over time, concerning its correct, full and understandable presentation to students. They could always be used in uncommon and emergency situations. They are always available to answer questions and allow teachers to do their scientific work, instead of answering the same questions many times.

One of the main problems of the regular present face-to-face education process is that the lectures and other verbal explanations come and go no matter if the students have or have not understood the whole material. Often students don't have enough time to realize all aspects of the study material because their minds have limitations concerning the quantity of information they can acquire for certain period of time. Different people have different levels of limitations, so the education process should move forward with the speed of the slowest minds in the group. This problem is readily solved with the video lectures because with them everyone moves with his own pace. The unknown usually shows up during the exercises and then students need to hear again all related lectures in order to clear up some of the misunderstandings and in order to upgrade their own skills. They may need to listen to the same lecture a couple of times in different time periods in order to acquire all aspects of the presented knowledge. Students have textbooks but not every aspect becomes clear enough from the textbook. The learning by example is the easiest and more effective way for them to acquire new knowledge.

From the teachers' point of view, if they arrange the education process well with the help of video materials, they might have more time for other scientific work or additional education process development. When the teachers present lectures in front of an audience, they often make verbal mistakes, they miss to explain certain aspects of the

presented knowledge clearly and they even forget to say something important or say it in a completely wrong ways, which is normal because they are not machines. They make mistakes and if they realize them on time, they will correct themselves, but if not, then some aspects of the knowledge will remain unclear for some students. Everyone is prone to mistakes and they are part of a live broadcast.

When teachers record a video lecture, after that they listen to their creation and they see all of its shortcomings. Then they improve their work and record the same lecture again and again until it is close to perfect because they are as critical of themselves as they are of students. The teachers know that this lecture will be listen by many and they will all see its shortcomings if they don't clear them well enough, so they will give their best in this regard and this improves the whole education process and adds value to it.

The useful applications of video files are practically unlimited. When the students solve certain given task the teacher could apply their solution on available research model and he could record the final result and send it to students as prove that they have succeeded with the task or as reference pointing what they need to improve.

All study materials the teachers develop for this type of education could be supplemental and could add value to the regular present and synchronous distance education processes.

### ***B. Disadvantages of asynchronous distance learning***

The asynchronous distance learning is not face-to-face learning process and the teachers' connection with students is somehow weaker, although this doesn't seem to be a big problem. The bigger problem is that teachers don't have a direct view of the students' work and they cannot correctly evaluate it. The problem is that usually they cannot afford to prepare different tasks for all of the students. Endless number of tasks is equal to infinite time for their preparation and a lot more time for the students' work checking afterwards. Nowadays technology allows the existence of distance learning but at the same time the same technology undermines it. Students have very good connections between each other and often the lazier and weaker ones take the

solutions from their better classmates. They don't understand that this is not good for anyone. Besides that, there are online sites where other current or past students post similar materials, so they have some type of close to their task solution available online. Many students use those readily available solutions because they are like the electrons – they move along the path of least resistance. If there is such a path, many of them take it and this undermines the education process. This disadvantage is actually valid for all distance learning types. It could be overcome through direct communication with all students and evaluation based on their own level of understanding of the study material and presented solutions.

The teacher still needs a comparatively powerful computer and a good multimedia equipment.

Some type of distance learning presentation system for the large memory consuming study materials is needed. Fortunately there are still many freely available software products and resources on the markets that could handle this issue.

The development process of high quality distance learning materials takes a lot of time and effort, [13, 14]. A study reports that the provision of high-quality education in higher education institutions can be undermined by the poor or haphazard use of support technologies like podcasts for teaching and learning, [15]. Technology is neutral until it delivers content and loses its effectiveness if it is not applied in a planned and systematic manner, [16]. Careful reflection and research are needed to find the best ways to leverage emerging support technologies like podcasts so that they can boost teaching and learning productivity, foster better communities of practice and support continuous learning, [15].

## **HYBRID DISTANCE LEARNING**

### ***A. Advantages of hybrid distance learning***

The hybrid distance learning is a combination of the synchronous and asynchronous ones and has all of their advantages and disadvantages. Not every subject is entirely good for one or another type of distance learning process. Some of the

lectures and exercises might be better for synchronous while others for asynchronous teaching. Although the synchronous type might be the better option, additional asynchronous video and other study materials might be helpful too, at least in case of failure of the synchronous education system or missing from class students. Our experience points out that the hybrid version is appropriate for most of the subjects, it is the most versatile and effective one.

### ***B. Disadvantages of hybrid distance learning***

The hybrid distance learning has most of the disadvantages of the other ones. Its biggest disadvantage is that often teachers need to duplicate their work. They have to prepare materials for the synchronous and asynchronous distance learnings which is a very time consuming work especially if they have to lead real time courses in parallel. Most likely, at least during the first one-two years, they won't be able to do good work in both fields because they will be overwhelmed.

### **CONCLUSION**

The different distance learning education processes have their important role in time of emergency, but they could also add value to the regular present education processes. Our experience points out that the present face-to-face education process is surely the best option but the asynchronous study materials could add a lot of value to it, [17]. Those materials could help a lot in a case of sudden emergency when there is need for distance education, but they could also create a solid foundation for diligent and organized development of a high quality learning process.

University of Ruse is already taking steps towards digitalization of the study materials and this seems to be the future, but it is important to underline that the distance education is not better than the present face-to-face one and those digital materials cannot replace it entirely at the same quality level. Practical based courses under open and distance learning system bear inferior status in comparison to practical based courses under conventional college/institutes, [18, 19]. This is especially true for all engineering education spheres, but for the others too. The real time

present face-to-face work of students on practical real-life cases with real models and machines is the best teaching method because who works he learns. The students need practical lectures and practices in an ambiance as close as possible to real life. Other studies report that they have achieved equal results comparing distance learning to traditional classroom teaching [7, 10, 14, 20-23].

During this pandemic we have applied the hybrid distance learning method for studies in the fields of automation and electronics. For the automation field the studying process was closer to the synchronous one, while for the electronics field a lot closer to the asynchronous one. The time was limited and the development of the asynchronous study materials difficult, but while others had a lot of initial problems, we succeeded to avoid them. At the end of the semester students stated that the education process was well arranged and the asynchronous study materials very understandable and useful.

### **REFERENCES**

- [1] S. Abuhammad, "Barriers to distance learning during the COVID-19 outbreak: A qualitative review from parents' perspective", *Heliyon*, Volume 6, Issue 11, CellPress, November 2020.
- [2] Ch. Foo, B. Cheung, and K. Chu, "A comparative study regarding distance learning and the conventional face-to-face approach conducted problem-based learning tutorial during the COVID-19 pandemic", *BMC Medical Education*, March 2021.
- [3] A. Işık, I. Güler, "Comprehensive comparison of traditional and distance learning master programs", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 31, 2012, pp. 120-123.
- [4] U. Langegård, K. Kiani, S. Nielsen, P. Svensson, "Nursing students' experiences of a pedagogical transition from campus learning to distance learning using digital tools", *BMC Nursing*, 2021.
- [5] S. Fallatah, "Senior interior design students' perceptions about distance learning in the shadow of COVID-19", *Journal of Public Health Research*, Vol 9, 2020.
- [6] G. Berg, "Context matters: student experiences of interaction in open distance

learning”, Turkish Online Journal of Distance Education, 21 (4), pp. 223 – 236, 2020.

[7] U. Teichgräber, M. Ingwersen, F. Bürckenmeyer, A. Malouhi, C. Arndt, A. Herzog, T. Franiel, H. Mentzel, R. Aschenbach, “Structured work-based learning in undergraduate clinical radiology immersion experience”, BMC Medical Education, 2021.

[8] S. Kanbul, N. Zaitseva, A. Ikonnikov, O. Kalugina, T. Savina, O. Evgrafova, “Determining Expert Opinions of the Faculty of Education on the Development of Distance Learning Course”, International Journal of Emerging Technologies in Learning, 15, 2020.

[9] L. Kvashko, L. Aleksandrova, V. Shesternina, L. Erdakova, V. Kvashko, “Distance learning during self-isolation: comparative analysis”, Journal of Physics: Conference Series, Vol 1691, 2020.

[10] I. Poluekhtova, O. Vikhrova, E. Vartanova, “Effectiveness of Online Education for the Professional Training of Journalists: Students’ Distance Learning During the COVID-19 Pandemic”, Psychology in Russia, Vol 13, 2020.

[11] Y. Hsiao, “Impacts of course type and student gender on distance learning performance: A case study in Taiwan”, Education and Information Technologies, Springer, 2021.

[12] D. Alt, L. Naamati-Schneider, “Health management students’ selfregulation and digital concept mapping in online learning environments”, BMC Medical Education, 2021.

[13] S. Davila, D. Bolliger, “Instructor Utilization Of Podcasts In The Online Learning Environment”, MERLOT Journal of Online Learning and Teaching, Vol 10, 2014.

[14] T. Shkil, T. Belikova, “Organization of distance learning on the base of information and digital technologies”, E3S Web Conference, Vol 210, 2020.

[15] A. Makina, “Investigating the use of podcasts in an open, distance and e-learning

environment”, Perspectives in Education, 2020.

[16] K. Boulos, I. Maramba, S. Wheeler, “Wikis, blogs and podcasts: a new generation of Web-based tools for virtual collaborative clinical practice and education”, BMC Medical, 2006.

[17] F. Karakoyun, M. Kavak, “The opinions of academicians regarding distance learning: a sample of Dicle University”, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Elsevier, 2009.

[18] T. Basantia, “Implementing practical based courses under open and distance learning system: a study of the perception of learners and counsellors”, Turkish Online Journal of Distance Education, Vol 19, 2018

[19] K. Mehdar, “Students' Attitudes as Regard to Distance Learning of Anatomy Courses throughout COVID-19 Pandemic Lockdown Period among Medicine and Paramedical Faculties of Najran University, Saudi Arabia”, Universal Journal of Educational Research, 2020.

[20] N. Ødegaard, H. Myrhaug, T. Dahl-Michelsen, Y. Røe, “Digital learning designs in physiotherapy education: a systematic review and metaanalysis”, BMC Medical Education, 2021.

[21] M. Kretovcis, J. McCambridge, “Measuring MBA Student Learning: Does distance make a difference?”, International Review of Research in Open and Distance Learning, Vol 3, 2002.

[22] A. Alamer, F. Alharbi, “Synchronous distance teaching of radiology clerkship promotes medical students’ learning and engagement”, Insights into Imaging, Springer, 2021.

[23] R. Ramadhan, Suhendra, “The effect of distance learning during Covid-19 pandemics on the mathematical learning result”, International Conference on Mathematics and Science Education, IOP, 2020.

#### **For contact:**

Assist. Prof. Ventsislav P. Keseev, PhD

Department of Telecommunications

University of Ruse”Angel Kanchev”, Ruse, Bulgaria

e- mail: vkeseev@uni-ruse.bg



## СИМУЛАЦИОНЕН МЕТОД ЗА ПОДОБРЯВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ДАЛЕКОПРОВОДИТЕ ОТ ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ МРЕЖИ

Васил Иванов

Университет „Проф. д-р Асен Златаров“ – Бургас

### A simulation method for improving the efficiency of power lines from electric networks

Vasil Ivanov

University "Prof. Dr. Asen Zlatarov" - Burgas

**Abstract:** Electric networks are the main unit in the transmission and distribution of electrical energy along transmission lines. The efficiency of their operation is related to low energy losses and high quality of the supplied current and voltage during their operation.

Modern modelling, monitoring and recording methods are used to control and manage network parameters. The purpose of modelling is the selection of the most effective option for reducing losses and optimizing the operation of the specific network..

**Keywords:** power system, efficiency, quality control.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Качествените показатели на електрическите мрежи са свързани с поддържане фактора на мощността близък до единица. Компютърните системи се включват в измерването и мониторинга, като управляват автоматично включването или изключването на устройствата за компенсация на реактивна мощност. В по-слабо натоварени участъци на мрежата реактивната мощност е в повече и компенсацията ѝ се изключва автоматично. При натоварените мрежи има недостиг и трябва да бъде добавена енергия чрез дистанционно включване на компенсиращо устройство.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

**Въздействие на реактивната мощност върху фактора на мощност ( $\cos\phi$ ) при предаването на енергия на дълги разстояния (далекопроводи)**

Първичната енергия (механична, светлинна, топлинна, химична и др.) в централите се преобразува в електрическа, чрез синхронни генератори. Полезната активна мощност се получава от механичното завъртане на ротора, а реактивната мощност се генерира от магнитният поток във възбудителната намотка на индуктора. Следващият етап от преобразуването е повишаване на напрежението чрез трансформаторите, за пренасяне на големи разстоя-

ния по далекопроводите с минимални загуби.

Синхронната работа на електрическите системи включва два вида електрически товари: с преобладаващ активен и активно-индуктивен характер.

При чисто активен характер на консуматорите, електрическият ток е синусоидален във фаза с напрежението. За електрическата мрежа това е ефективният вариант, защото консумацията на реактивна енергия е минимална и  $\cos\phi$  клони към единица.

При активно-индуктивен характер на консуматорите в електрическата мрежа се включват електромотори, трансформатори и индукционни пещи. В този случай електрическият ток изостава от напрежението на ъгъл  $\phi$ . Факторът на мощност се влошава, което води до загуби на енергия и несиметрия в трифазните линии.

Основната цел за поддържане на висока стойност на фактора на мощност е консуматорите с преобладаващ капацитивен характер (генериращи електрически полета) и тези с преобладаващ индуктивен характер (генериращи електромагнитните полета), при съвместната си работа да се балансират до нулева реактивна мощност.

**Причини за влошаване на фактора на мощност ( $\cos\phi$ )**

Големите консуматори на реактивна енергия включват в работните си графици

масово асинхронни двигатели, трансформатори, заваръчни агрегати и др.. На празен ход асинхронните машини консумират малко активна мощност, като получават около 60 до 70% от реактивната мощност, съответстваща на максимално натоварване. Правилното проектиране и експлоатацията на работните машини в съвременните предприятия е предпоставка за подобряване на  $\cos\phi$ .

Масово използваните в бита и производството съвременни устройства от вида на импулсните преобразуватели генерират ток с несинусоидална форма, което се свързва със загуби, поради появата на висши хармоници. Броят на консуматорите работещи с нисък  $\cos\phi$  нараства, като тук се включват токоизправителите, бобините, апаратите на различни релейни защиты, прекъсвачи с електромагнитно задвижване и всички устройства използващи електронни компоненти, което е причина за влошени качествени показатели на мрежата.

#### **Заряден капацитет като характерен параметър на електропроводите**

При въздушните електропроводи за напрежения 110kV и по – високи, се взема под внимание капацитивната проводимост  $BC$ . Големината ѝ зависи от номиналното напрежение, разпределението на броят фази на кабелните линии и дължината им.

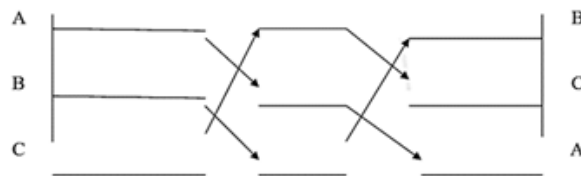
#### **Методи за компенсация на реактивната енергия по електропроводи 110kV**

**А) Статичните кондензатори (кондензаторни батерии)** са най - разпространените устройства за компенсация за средно напрежение в енергоемките промишлени предприятия [1, 2]. Основната задача на статичните кондензатори е да зареждат, при необходимост електрическата мрежа, с капацитивна мощност като компенсират реактивна индуктивна мощност. Този метод на решение се явява като определящ фактор за оптимизация на ефективността, не само в различните звена на енергетиката и електрооборудването, но и на основни технологични процеси, използващи електрическа енергия.

**Б) Синхронните компенсатори** са синхронни машини работещи в два режима като генерират или консумират реактивна енергия, чрез регулиране големината на възбудителния ток в индуктора и стабилизират фактора на мощност ( $\cos\phi$ ).

**С) Компенсиращите реактори** се изработват от възбудителна намотка, навита върху магнитопровод с въздушна междина, която дава възможност за регулиране големината на индуктивното съпротивление. По този начин се компенсира реактивната капацитивната енергия в далекопроводите.

**Д) Транспозицията на кабелните линии** като метод е размяна местата на фазите през равни интервали по дължината на далекопровода (фиг.1.).



Фиг. 1. Схема на трифазна транспозиция между електропроводите;

Съществуващата несиметрия в разстоянията за всяка отделна фаза от далекопровода променя индуктивното съпротивление  $X_L$  и капацитивната проводимост  $BC$  и води също до несиметрия между фазовите токове и напрежения. По този начин се нарушава нормалната работа на трифазните консуматори. За неутрализиране на несиметрията, е необходимо проводниците да разменят местата си през равни интервали от дължината на далекопровода. Това води до по-добра ефективност на работата на трифазните системи.

Основната цел на статията е да изведе симулационен метод за подобряване ефективността на далекопроводите от електрическите мрежи чрез:

- създаване модели на далекопроводи с дължини 50, 200 и 500km и симулирането им в програмна среда на Simulink.
- задаване на няколко номинални напрежения и стандартни дължини на далекопроводите се моделират ефекти от загуба на енергия и начините за компенсиране.

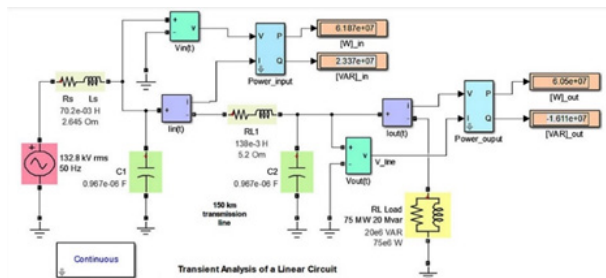
- моделиране режим на късо съединение, който се управлява от релейните защиты към далекопроводите.

- сравняване резултатите от симулацията без добавяне и с включване на компенсиращи елементи. Анализирани на резултатите и съставяне на изводи и заключения.

## МЕТОДИКА

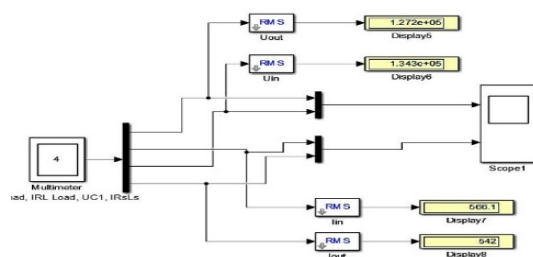
### Моделиране на електроенергийна система с дължина на далекопровода 150км.

Принципната схема на електроенергийна система (ЕЕС) свързваща генератор и консуматор по далекопровод 150км., е показана на фиг.2. и е моделирана чрез програмния продукт Simulink [3, 4, 5].



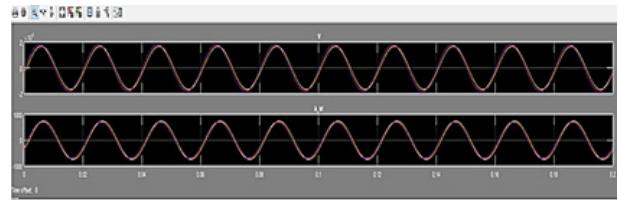
Фиг. 2. Мнемо-схема моделираща далекопровод с дължина 150 km и стартирана в Simulink

Елементите моделиращи параметрите на далекопровод от фиг.2. са зарядните C1, C2 и RL1, който отразява загубите в проводника с дължина 150км, като активно-индуктивен елемент.



Фиг. 3. Мнемо-схема на измервателната система от прибори в Simulink

Блоковете (RMS) от фиг.3. преди дисплеите измерват и преобразуват в ефективни стойности тока и напрежението.

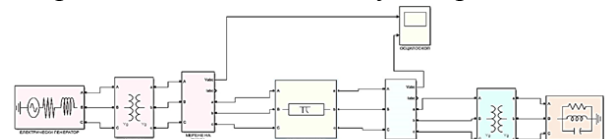


Фиг. 4. Резултати от измервания с осцилоскоп на входа и изхода на далекопровода

При отчетените на фиг.4. синусоиди на напреженията се наблюдава незначително закъснение на изходната вълна поради индуктивно-резистивния характер на проводника.

### Симулация на далекопровод с дължина 50км за напрежение 110kV

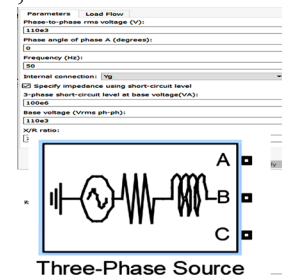
Функционалната блок схема от фиг.5. е модел на източник на променливо напрежение за 25kV, имитиращ синхронен генератор от електрическа централа. След генератора е включен повишаващ силов трифазен трансформатор 25kV/110kV, чийто изход е към далекопровод, моделиращ дължина 50км. Моделът на понижаваш силов трифазен трансформатор 110kV/20kV е свързан с вторичната си намотка към симетричен комплексен консуматор.



Фиг. 5. Моделиране на електрическа мрежа за 110kV и далекопровод с дължина 50км без компенсация за загуби на мощност

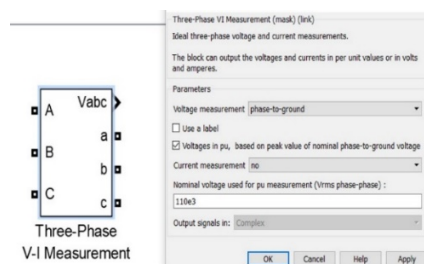
### Етапи от настройките на блоковете от фиг. 5 в програмна среда Simulink:

1. Синусоидален трифазен източник на напрежение;



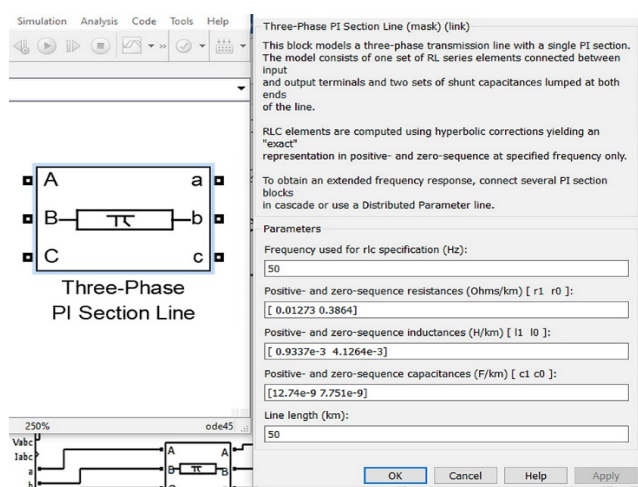
Фиг. 6. Мнемо схема на блок трифазен генератор с меню за задаване на параметрите.

2. Моделиране на трифазен измерител на променливо напрежение;



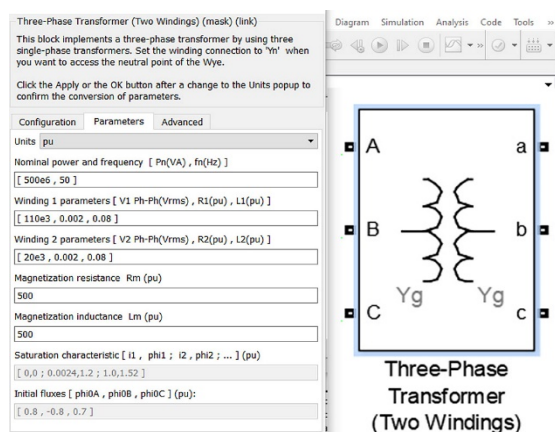
Фиг.7. Мнемо схема на блок трифазно измерване с опция в диалогов прозорец на стойността на напрежението.

3. Моделиране на трифазен далекопровод за дължина 50км с опции за зададен капацитет и индуктивност;

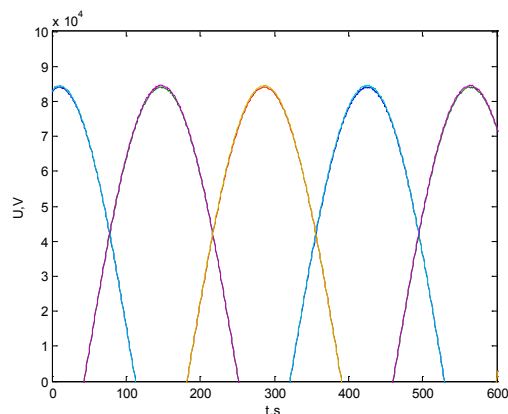
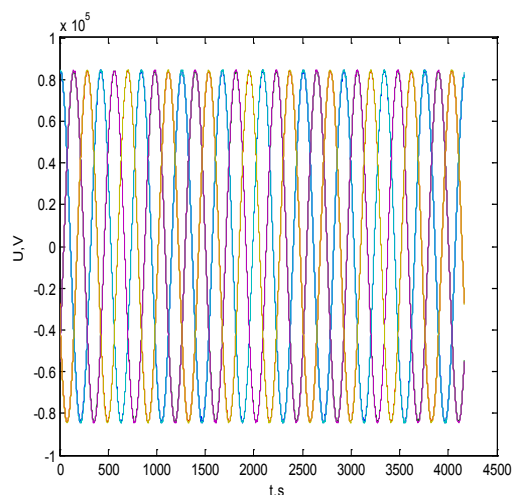


Фиг.8. Блок на далекопровод за 50км и диалогов прозорец със зададени параметри.

4. Моделиране на трифазен силов трансформатор от понижаващ вид;



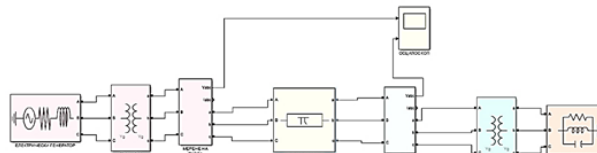
Фиг.9. Диалогов прозорец с параметри за трифазен силов трансформатор.



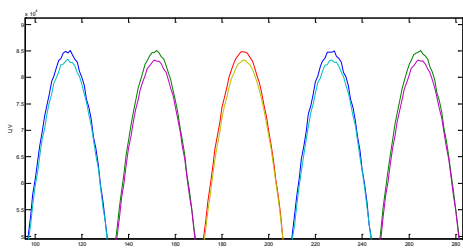
Фиг.10. Графики от напрежението за далекопровода с дължина 50км, без компенсация. Вдясно е показана увеличена диаграма само на положителните полупериоди;

Анализирайки резултатите от диаграмите на симулацията от фиг.10 се отчита, че за напрежението в началото и края на далекопровода т.е. на къси разстояния 50-100км няма необходимост от компенсиращи устройства.

**Симулация на далекопровод с дължина 200км за напрежение 110kV без компенсация на фактора на мощност ( $\cos\phi$ )**



Фиг. 11. Симулация на далекопровод с дължина 200км без компенсация



Фиг. 12. Графика на напреженията на входа и изхода на далекопровод с дължина 200км, измерено от осцилоскопа на фиг.11.

Моделирането на трифазна кабелна линия с дължина до 200км е показано на фиг.11. като отчетената графика е на фиг.12. При дължина на преносната мрежа от 200км. вече се измерва разлика в напреженията в началото и края на трифазния далекопровод за 110kV и се отчита като пад на загубите;

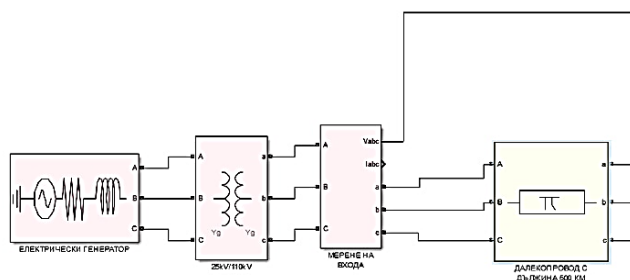
- Анализиране резултатите от измерванията и изводи:

Увеличаване дължината на далекопровода предизвиква пада на напрежение в края на линията и влошаване качеството на енергията.

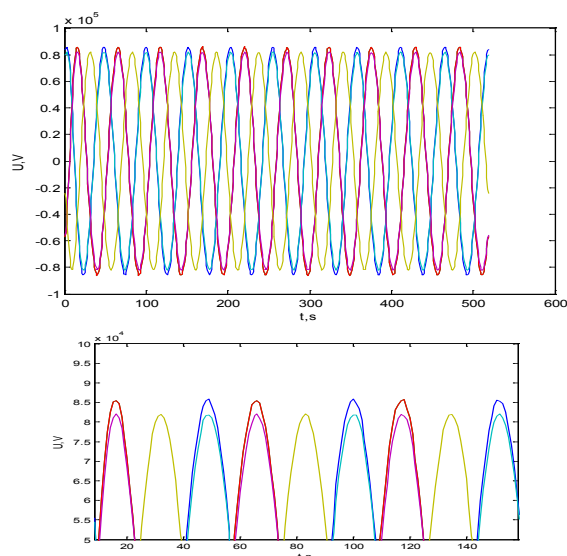
Разликата в стойността на синусоидата на напрежението в края и началото предизвиква загуби на мощност от несиметрия на трите фази от далекопровода;

**Симулация на далекопровод с дължина 500км за напрежение 110kV без компенсация на фактора на мощност ( $\cos\phi$ )**

Резултатите от моделирането на далекопровод с дължина 500км. са отчетени на диаграмата от фиг.14. Анализът на симулацията доказва, че: има големи отклонения на напрежението, генерира се излишна реактивна енергия, което влошава ефективността.



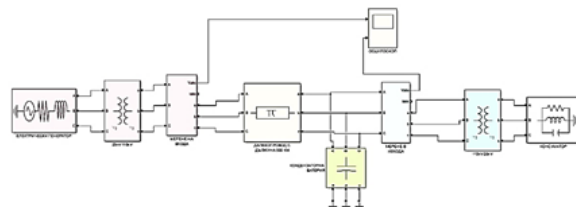
Фиг.13. Симулация на далекопровод с дължина 500 км. без компенсация;



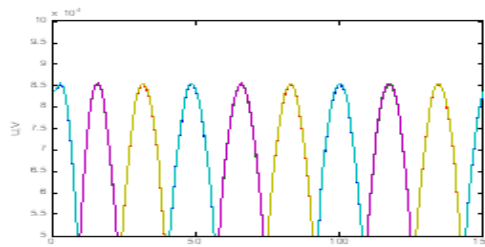
Фиг.14. Графика на напреженията на далекопровод с дължина 500км без компенсация; Вдясно е показана увеличена диаграмата само на положителните полупериоди;

Отчита се и загуба на мощност и несиметрия между тока и напрежението, което влошава фактора на мощност ( $\cos\phi$ ). Следва извод за необходимост от присъединяване на устройството за компенсация за подобряване на  $\cos\phi$ .

**Симулация на далекопровод с дължина 500км за напрежение 110kV с компенсация на фактора на мощност ( $\cos\phi$ )**



Фиг.15. Симулация на далекопровод с дължина 500км. с компенсация на фактора на мощност ( $\cos\phi$ );



Фиг.16. Графично представени положителните полупериоди от напреженията на далекопровод с дължина 500км. с компенсация на фактора на мощност ( $\cos\phi$ );

Диаграмата на амплитудите на напреженията от фиг.16. получена с компенса-

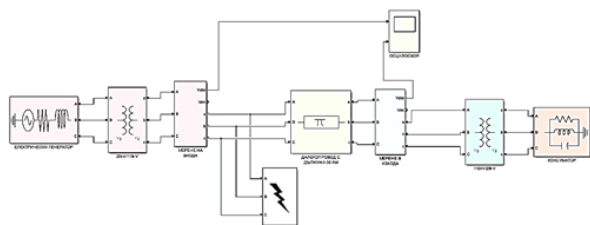


ция на реактивна енергия чрез кондензаторна батерия показва стабилни и симетрични полупериоди в сравнение с резултатите от графиката на фиг.14.

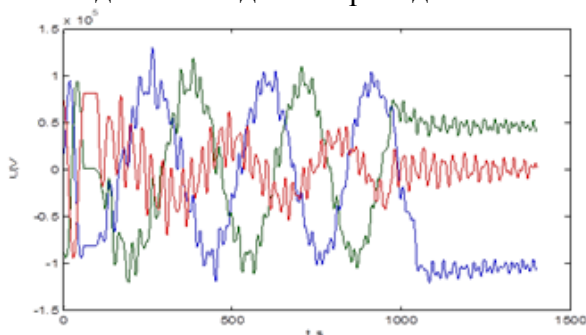
#### **Симулация на късо съединение (к.с.) в далекопроводите за 110kV.**

Моделирането на далекопроводите включва и късите съединения, като повечето от тях се дължат, както на краткотрайни нарушения на изолационните разстояния между проводниците, така и с близки заземени обекти. Обикновено това са люлеещи се клони, летящи птици, ледени образувания, замърсявания на изолаторите. Видимият ефект от късото съединение е мощна електрическа дъга, като в повечето случаи тя сама отстранява причината за късото съединение [1, 2].

Всеки електропровод е предпазен от късо съединение с релейна защита, като тя го изключва от мрежата мигновено и от двете му страни. Включването е автоматично след части от секундата, което определя преходното късо съединение като успешно. Съвременните релейни защиты отчитат точното разстояние до мястото на късото съединение и параметрите му, като големина и продължителност на тока и напрежението, характеризиращи се с определен импеданс.



Фиг. 7. Симулация на междуфазно късо съединение в далекопровод за 110kV



Фиг.18. Графика на междуфазно късо съединение в далекопровод 110kV, отчетено от блока за грешки добавен в мнемо-схемата на фиг.17

## **ИЗВОДИ**

- За далекопроводи с дължина 100km и напрежение 110kV реактивната енергия се балансира по естествен път и не е необходимо компенсиране на реактивна енергия.

- Компенсацията е по методиката за добавяне на кондензаторна батерия, групово или индивидуално към консуматорите. Стартирането на модела след свързването на компенсиращата батерия изравнява нивата на напрежението в началото и края на далекопровода с дължина от 500km. Качеството на пренесената енергия до консуматорите се подобрява, нормализира се големината на реактивна енергия, намалява се загубата на активна мощност, като се увеличава капацитета на мощност на далекопровода и се компенсират динамичните колебания на мощността.

- Недостатък на този метод за компенсация е възникването понякога на сумарно прекомпенсиране на мрежата. Това налага въвеждането на автоматичен регулатор на реактивната енергия съобразено с режима на натоварване, когато потреблението намалява и напрежението в мрежата се увеличава с над 5% от номиналното. Създават се предпоставки за възникване на пренапрежения и се налага изключване на кондензаторните батерии.

- Проектирането чрез моделиране с компенсация на реактивна енергия е свързано със специфични изчисления за намиране на оптималният вариант. Съвременните методи на изчисления вече включват и програмните продукти за симулация, улесняващи проектирането [6, 7]. Предимство на програмата Simulink е експериментирането с различни варианти на компенсиране и к.с., което намалява финансовите средства за практическа реализация. Поради големите капиталовложения за реализиране на електрическите мрежи все повече фирми изготвят своите проекти чрез съвременен метод – моделиране със софтуерни програмни продукти.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Нотов П., Неделчева Ст., „Електроенергетика“ - част I, -2011 г. ISBN: 978-954-438-821-8;;



- [2] Яков В., Стефанов В., Електромеханични устройства и системи, Русе, 2013.;
- [3] Ivanov V., „Modeling of three-phase inverter power supply system in Simulink“, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 1032 (2020) 012054, doi:10.1088/1757-899X/1032/1/012054;
- [4] Ivanov V., “Simulation, modelling and analysis of a series oscillating circuit”, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, (2021, под печат); //doi.org/10.48149/;
- [5] Ivanov V., “Modeling of single phase inverter system in simulink software”, Assen Zlatarov University, Annual, Vol. XLIX, Book 1, 2020, Burgas 8010, Bulgaria, ISSN 2603-3968;
- [6] Иванов В., Стоянов Ив., “Спектрален анализ и моделиране процесите на еднофазни инвертори на напрежение управлявани със синусоидална ШИМ”, Списание “Известия на Съюза на учените”- Русе, 2017, том 14, стр. 28 - 33. ISSN 1311-106X;
- [7] Стоянов, Ив., В. Иванов, Т. Илиев, Е. Иванова, Г. Михайлов. “Моделиране работата на силови електронни преобразуватели на електрическа енергия, използвани във фотоволтаични системи”, Годишник на ТУ-София, том 67, книга 1, стр. 123, 2017, ISSN 1311- 0829;

**Адрес за контакти:**

гл. ас д-р Васил Борисов Иванов

Университет „Проф. д-р Асен Златаров“, Бургас

e-mail: vasil\_bi@abv.bg

## АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ И ПОЛИТИКИТЕ ЗА ЗАРЕЖДАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ПРЕВОЗНИ СРЕДСТВА И ТЯХНОТО ВЛИЯНИЕ ВЪРХУ РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИТЕ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ

Росен Даскалов

*Русенски университет „Ангел Кънчев”*

### ANALYSIS OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING METHODS AND THEIR IMPACTS ON POWER DISTRIBUTION SYSTEMS

Rosen Daskalov

*University of Ruse*

**Abstract:** The article contains a detailed analysis on the charging methods and the impact of the electric vehicles on the methods for transmission of energy in the distribution networks. The main challenges and problems are defined and in order to solve them several charging approaches are proposed, which are then classified thoroughly and also several approaches for their integration into the existing energy infrastructure are then proposed.

**Key words:** Electric vehicle, Hybrid electric vehicle, Energy sources, Power Distribution Systems.

#### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Появата на електрическите превозни средства (ЕПС) представлява голямо предизвикателство за електрическите преносни мрежи. Зареждането на голям брой автомобили създава значителна необходимост от допълнителни ресурси. Поради това е необходимо да се създадат нови методи за зареждане, нови инфраструктури и стратегии, за да е възможно ефективното интегриране на електрическите превозни средства в транспортната инфраструктура [1,2,3].

В тази връзка, към момента съществуват работещи различни методи за зареждане на ЕПС, които са представени в тази статия. Най-простият и най-често използван метод е конвенционалното зареждане. В този случай електрическата енергия се доставя от мрежата до автомобила посредством кабели. За разлика от този метод, съществува и друга алтернатива, като например индуктивното зареждане при което не се използват кабели, а енергията се предава чрез електромагнитни полета. Времето за зареждане и при двата метода зависи от зареждащата мощност. Към момента са наложени два стандарта, които определят бързината на процеса на зареждане. От една страна, бавното зареждане, което е подходящо за зареждане на автомобилите в дома или офиса, а от друга страна, бързо зареждане, което най-често се използва по време на дълги пътувания. Съществува и

трети хипотетичен метод на зареждане, който представлява замяна на изчерпаните батерии на автомобила с други, които са предварително заредени [8, 9, 11, 13].

Зареждането на ЕПС може да нанесе претоварване на електрическите мрежи в зависимост от няколко фактора: броят на автомобилите включени в мрежата, навигацията на водачите при шофиране и зареждане и други. Поради задълбочаването на въздействието на тези фактори върху електрическите преносни мрежи, те са разглеждани детайлно в следващите секции на тази статия. Направен е анализ и са предложени няколко стратегии за да се намалят тези възможни въздействия.

Представена е класификация на различните стратегии за зареждане на ЕПС. Една от по-простите стратегии представлява отлагането на зареждането от часовете, в които електроразпределителните мрежи са натоварени в часовете с по-ниско натоварване. Във връзка с този подход на водачите се предлагат преференциални цени за да зареждат автомобилите си в часовете с ниско енергопотребление. Въвеждането на координирани методи за контрол на зареждането е истинското решение, което ще помогне за безпроблемното интегриране на ЕПС с оглед нарастващия им брой.

Анализирани са и други методи, като например използването на възобновяема енергия и предоставянето на допълнителни

услуги, които да мотивират водачите на ЕПС да спомагат за реализирането на този процес.

## 2. СТАНДАРТИ И МЕТОДИ ЗА ЗАРЕЖДАНЕ НА ЕПС

Конвенционалното зареждане изисква директен физически контакт между конектора на автомобила и зареждащата станция посредством кабел. Технологиите за този тип зареждане е ефективна, добре разработена и тествана, но за потребителите би било по-удобно ако не се налага да вкарват и изкарват кабели от автомобила.

Съществуват няколко стандарта, свързани с оборудването за зареждане на ЕПС. Най-важните сред тях са SAE J1772 и IEC 61851.

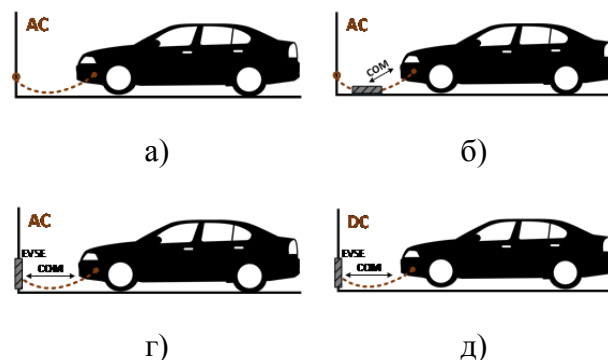
Създаденият от дружеството на автомобилните инженери J1772 стандарт е референтния документ на САЩ относно директното зареждане на ЕПС. Този стандарт описва изискванията относно станциите за зареждане на електрически превозни средства и дефинира четири нива AC ниво 1, AC ниво 2, DC ниво 1 и ниво 2.

AC ниво 1 станция за зареждане предоставя зареждане чрез 120V AC конектор. Повечето ЕПС се предлагат с AC Ниво 1 комплект кабели, така че нямат нужда от допълнително оборудване за зареждане.

AC ниво 2 станция за зареждане е най-предпочитания начин за зареждане и предлага зареждане чрез 208V (типично за бизнес сгради) или 240V (в жилищни сгради) електрическо захранване. Изисква инсталирането на оборудване за зареждане в дома или на публично място, отделна електрическа верига и устройство за измерване в зависимост от изискванията на станцията за зареждане.

DC ниво 1 и ниво 2 станции за зареждане предоставят много висока мощност на зареждане, чрез външни DC зареждащи устройства. Този тип станции за зареждане обикновено се намират на пътища с интензивен трафик и на публични места. В момента се въвежда нова версия на SAE J1772, която да включва AC Ниво 3 и DC Ниво 3. В тази нова версия, DC Ниво 3 ще може да достига 400A ток при зареждане.

Международната електротехническа комисия (IEC) представя IEC 61851 стандарт отнасящ се към електрическите конектори и методите за зареждане на електрическите превозни средства. Този стандарт се базира частично на SAE J1772 стандарта. Съгласно IEC 61851-1 стандарта, съществуват четири различни метода за зареждане, както е показано на Фигура 1.



Фиг. 1. Различни методи за зареждане според IEC 61851-1 стандарта. (а) Метод 1 (б) Метод 2 (в) Метод 3 и (г) Метод 4.

Безопасността при Метод 1 зависи от наличието на прекъсвач за остатъчен ток и заземителен проводник. Без тези устройства, може да бъде нарушена безопасността в случай на авария. Някои държави разрешават Метод 1, оставяйки отговорността за инсталирането на необходимите устройства за безопасност на потребителите.

Индуктивното зареждане премахва необходимостта от включване на какавито и да е кабели в превозното средство. По този начин безопасността е значително повишена, тъй като никой от елементите, чрез които се извършва зареждането не е физически достъпен. При тази система, енергията се предава електромагнитно чрез свързването на две намотки, едната, от които е в земята (предавателна подложка) и другата, която е на превозното средство (приемащата подложка). Принципът е сходен с този на трансформатора [10,11].

Индуктивното зареждане има няколко недостатъка, като например сравнително ниската ефективност, ограничена мощност на зареждане, висока сложност и висока цена. Магнитното свързване се извършва през въздушното пространство между предавателната подложка и подложката на превозното средство. Освен това, за да се

постигне добра ефективност и пренос на мощност, двете подложки трябва да бъдат подравнени. Всъщност процесът на зареждане не започва, докато това несъответствие не е по-малко от предварително определеното разстояние (100 до 250 мм) [10].

Методът със замяна на батерии се счита за алтернатива позволяваща бързото зареждане с енергия на превозното средство. Състои се във физическата замяна на изтощените батерии с други, които са предварително заредени. Този процес спестява време, тъй като може да бъде извършен за по-малко от пет минути. Всъщност, този метод се използва много и успешно при електрическите мотокари.

Смяната на батерията се извършва в станции за смяна на батерии (BSS), където подменените батерии също се зареждат. По този начин батериите се зареждат централизирано и електрозахранващата мрежа на този тип инфраструктура позволява да бъде специално проектирана. Процесът на смяна на батерии обаче не е толкова лесен, колкото изглежда, тъй като батериите са с високо тегло (200 кг или повече). Освен това батериите обикновено са защитени с метални предпазни щитове, за да се подобри безопасността при удари под колата, което затруднява процеса на смяна.

### 3. ВЛИЯНИЕ НА ЕПС ВЪРХУ ЕЛЕКТРОРАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИТЕ МРЕЖИ

ЕПС водят до ново ниво на натоварване, което трябва да бъде поето от електро-разпределителните мрежи във всеки един момент. Много изследователи са анализирали възможното влияние, което внедряването на голям брой ЕПС може да окаже върху електрическите мрежи.

Очаква се, че с масовото въвеждане на ЕПС, портфолиото на методи за генериране на енергия да се промени. По отношение на този проблем, учени са анализирали възможните последици от операциите на пазара на електроенергия [1,2,3]. Анализирани са два сценария, за пиково и извънпиково натоварване. И в двата случая, ще се увеличи пределната цена на системата, която ще се определя от най-скъпата електроенергия, необходима за задоволяване на

търсенето през определен период от време. Сценарият извън пикови часове води до по-добра ефективност на системата, тъй като увеличава потреблението на мощност от основното снабдяване и подобрява интеграцията на енергия от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ). И при двата сценария емисиите на парникови газове от електрическата система ще бъдат увеличени, но като се вземат предвид емисиите на парникови газове, избягвани от чистата работа на ЕПС, нетните емисии като цяло, ще бъдат по-малки [5,6,7].

Също така зареждането на ЕПС в разпределителни мрежи с ниско напрежение би оказало влияние върху живота на разпределителния трансформатор. Една от основните често срещани повреди на трансформаторите е влошаването на изолацията, което зависи от работната температура на устройството. Зареждането на ЕПС, ще увеличи средното потребление на мощност от трансформатора и следователно неговата температура, ще бъде по-висока. Въпреки това, изравняването на натоварването, извършено чрез координирано зареждане на ЕПС, може да намали ежедневното амортизиране на трансформатора. По този начин износването на компонентите на трансформатора ще бъде намалено.

Освен това ЕПС се зареждат чрез силови електронни преобразователи, които произвеждат хармонично изкривяване в разпределителните системи. Хармоничното изкривяване може да увеличи загубите на енергия на ниво трансформатор поради индуцираните вихрови или токове на Фуко. Това също може да доведе до намаляване на живота на трансформатора. Освен това, ако едновременно се зареждат голямо количество ЕПС (т.е. нощно зареждане), общото хармонично изкривяване може да бъде изключително високо. От друга страна, намалената температура на околната среда, регистрирана през нощта, може да помогне за охлаждане на разпределителния трансформатор да компенсира в известен смисъл негативните влияния [4,5,7].

Поведението при шофиране и зареждане са ключови фактори за оценка на въздействието върху електрическите мрежи. Трябва да се анализират въпроси като кол-

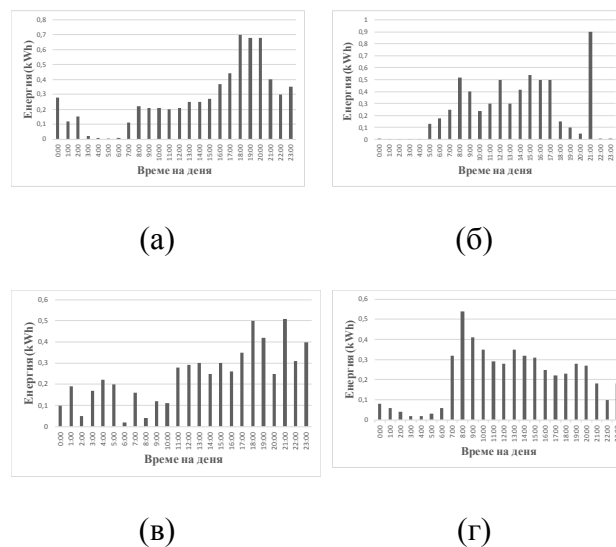
ко километра на ден се правят, колко пъти на ден се включват ЕПС и къде и кога потребителите включват или изключват своите ЕПС. Освен това отговорът на тези въпроси зависи от вида на района (селски или градски), региона или държавата, вида на деня (делничен или почивен ден) и други случайни фактори като време, спортни събития и др., поради тази съвкупност от случайни фактори е сложно да се получи точен модел на поведение при шофиране и зареждане. Приблизителният модел обаче може да бъде много полезен за електроразпределителните дружества, за да определят къде и кога потребителите са готови да зареждат своите ЕПС. По този начин електроразпределителните дружества могат правилно да планират производството на електроенергия и да се справят с локалните проблеми със стабилността и надеждността. Освен това времето за паркиране има особено значение за концепцията за двупосочно зареждане (V2G). В идеалния случай V2G изисква ЕПС да бъдат паркирани и свързани възможно най-дълго.

Консумираната енергия на километър зависи от множество фактори, като например тип батерия, модел на превозното средство, продължителност на пътуването, климатични условия, тип път и т.н.

Терминът за поведение при зареждане се отнася до взаимодействието между водача на ЕПС и зареждащата станция. Местоположение, честота на зареждане, начален час на зареждане, продължителност на зареждане, продължителност на връзката и първоначално и крайно състояние на зареждане са най-важните параметри, които включват поведението на зареждане.

Фигура 2 показва средното потребление на енергия за зареждане за различни места. Най-голямото търсене на енергия за домашно зареждане е между 18:00 и 20:00 часа, докато най-ниското търсене се случва между 3:00 и 7:00 часа. Що се отнася до зареждането в офиса, потребителите зареждат автомобилите си по-често между 09:00 и 10:00 часа. За разлика от това, на това място не се зарежда нощно време. Зарядните на паркинги с обществен достъп имат най-голямото потребление на енергия от 18:00 до 21:00 часа. Търсенето на енергия в

този тип местоположения е по-разпределено в сравнение с останалите разгледани сценарии.



Фиг. 2. Използвана енергия за зареждане от различни зареждащи станции: (а) в дома (б) в офиса (в) обществен паркинг и (г) на улицата.

Интересно е да се знае началното и крайното състояние на батерията, за да се разбере поведението при зареждане. Първоначалното състояние на ЕПС е индикатор за това до каква степен потребителите изтощават батериите на своите ЕПС. Освен това крайното състояние на заряд при зареждане, показва кога потребителят прекъсва процеса на зареждане на ЕПС.



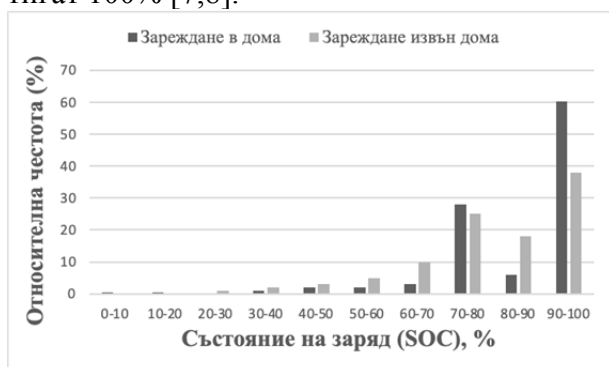
Фиг. 3 Разпределение на началните състояния на батериите

Също така е полезно да се изследва този тип поведение, спрямо мястото където се извършва зареждането, както и спрямо времето, дали през делничните или почивните дни.

Проучванията показват, че повечето от водачи на ЕПС започват процеса на зареж-

дане с ниво на батерията между 20 и 80% (Фигура 3). Потребителите на ЕПС са склонни да бъдат по-консервативни, когато зареждат автомобилите си далеч от дома.

Освен това повечето зареждания завършват близо до 100% (Фигура 4). Видим е съществуващия пик в диапазона от 70-80%, вероятно защото някои модели ЕПС предлагат възможност за завършване на процеса на зареждане при 80% заряд на батерията, за да се увеличи живота ѝ. По този начин 60% от зарежданията, направени у дома, са пълни, докато само 40% от приключените зареждания извън дома достигат 100% [7,8].



Фиг. 4 Разпределение на крайните състояния на батерията

Понастоящем концепцията за интелигентна мрежа е ограничена до някои области на електрическите мрежи, като разпределителна мрежа с високо и средно напрежение, големи електроцентрали и някои потребители. Бързият растеж на световното население обаче увеличава търсенето на електроенергия. В същото време екологичните разпоредби и социалните аспекти ограничават разширяването на преносните мрежи и производствените инсталации. В този контекст, когато електрическите мрежи са близо до максималния си капацитет, сериозен недостиг на енергия може да се случва по-често. Така че е необходимо да се предприемат действия в полза на надеждността на електрическите мрежи.

#### 4. КЛАСИФИКАЦИЯ НА ЕПС СТРАТЕГИИ ЗА ЗАРЕЖДАНЕ

В повечето случаи ЕПС се зареждат в жилищни станции за зареждане, докато станциите за бързо зареждане се използват спорадично. Освен това, електрическото

захранване на бързите зарядни станции е проектирано специално за справяне с високо натоварване. Сегашните мрежи за разпределение на ниско напрежение обаче не са подходящи за зареждане на голям брой ЕПС. За преодоляване на този проблем са предложени няколко подхода за зареждане, които могат да бъдат класифицирани съгласно фигура 5.



Фиг. 5 Класификация на методите за интеграция на ЕПС

Интелигентното зареждане на ЕПС позволява на клиентите и мрежовите оператори да планират профили за зареждане на РЕV, за да получат технически и икономически ползи, като се взема предвид необходимостта от енергия на ЕПС. Тоест, интелигентното зареждане търси активен контрол на натоварванията и може да бъде програмирано с оптимизирани или евристични алгоритми за постигане на определени цели. Концепцията V2G може да се разглежда като разширение на интелигентното зареждане, което позволява на ЕПС да могат да връщат енергия в мрежата, действайки като разпределени генератори или системи за съхранение.

Зареждането на голям брой ЕПС, ще доведе до увеличаване на потреблението на енергия и следователно комуналните предприятия ще увеличат печалбите си. Като се вземе предвид средния разхода на енергия на ЕПС, годишният приход от всеки ЕПС ще бъде приблизително около 550 €. Освен това в някои страни доставчиците на електроенергия ще получат кредити за спазване на стандарта за ниско въглеродни горива (LCFS) за зареждане на ЕПС с електричество. След това тези кредити могат да бъдат



продадени на кредитния пазар на LCFS на компании с високи емисии, които трябва да изпълнят своите цели за намаляване на въглеродния интензитет. Следователно предоставянето на електрическа енергия на ЕПС може да генерира друг източник на доход за доставчиците на електроенергия.

Текущият фактор на натоварване е лош поради ниското потребление на енергия през нощта и голямото търсене на енергия в късния следобед. Този фактор ще се влошава, тъй като търсенето на електричество в жилищата расте. Една от най-важните характеристики на ЕПС е, че те са енергийни товари, които могат да бъдат отложени във времето. Това означава, че зареждането на ЕПС може да бъде планирано в часове с ниско търсене, като се постигне ефект на запълване на празнината. По този начин коефициентът на натоварване или коефициентът на използване се увеличава и в резултат на това централите с базово натоварване могат да работят по-дълго време, намалявайки оперативните си разходи.

Подобна е ситуацията и с възобновяемите енергии като вятърна и слънчева енергия. От една страна, вятърната енергия по своята същност е периодична, малко непредсказуема и не съвпада с търсенето на натоварване. От друга страна, слънчевата енергия е по-предвидима и по-добре съчетава с търсенето на натоварване, но не осигурява енергия през нощта. ЕПС могат да поемат тези периодични прекъсвания, като пренасочват потребностите си от зареждане към периоди на силно производство на ВЕИ [13].

И накрая, концепцията V2G позволява на ЕПС да работят като разпределени генератори или разпределено хранилище, когато са свързани към мрежата. По този начин собствениците на ЕПС могат да получат допълнителни печалби за търговия с енергия (купуват на ниски цени и я продават на високи цени) в рамките на динамичен пазар за ценообразуване на електроенергия. Друга възможност е да се съхранява енергия от ВЕИ и да се връща обратно, когато е необходимо. Тази концепция обаче изисква надеждна технология на батерията, двупосочни преобразуватели, интелигентни измервателни уреди и поддръжката на техно-

логията за интелигентни мрежи. Настоящата технология на батериите има ограничен брой цикли преди своята край на живота, така че използването на ЕПС батерии за други приложения, различни от транспортните цели, не би имало смисъл от икономическа гледна точка.

Освен това икономическият стимул за електропроизводителите все още не е ясен, тъй като те трябва да харчат пари за адаптиране на своите системи за измерване и разпределение, за да направят V2G технически осъществима. Единственото избягване на разходите за тях е възможността за намаляване на броя на пиковите електроцентрали, като се има предвид, че електропроизводителите обикновено получават икономически компенсации за експлоатация и поддръжка на тези съоръжения.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията е направен обстоен анализ на методите за зареждане и влияние на електрическите превозни средства върху методите за предаване на енергията в разпределителните мрежи. Сегашните мрежи за разпределение на ниско напрежение не са подходящи за зареждане на постоянно увеличаващия се брой на електрическите превозни средства. За преодоляване на този проблем са предложени няколко подхода за зареждане, които са детайлно класифицирани и са предложени подходи за тяхното интегриране в съществуващата енергийна инфраструктура.

В тази връзка са анализирани възможностите и са дефинирани подходи за създаване на платформи, които да позволят електрическите превозни средства да бъдат интегрирани с интелигентните електроразпределителни мрежи за да има реакция в електропотреблението на консуматорите, като например намаляване на скоростта на зареждане или доставяне на енергия от батерията на електрическите превозни средства към мрежата.

Анализирани са и възможностите за прилагане на механизъм за справяне с отклоненията при търсенето на енергия: управление от страна на търсенето и допълнителни услуги, като модифициране на модела за търсене на енергия, така че да отго-

варя на генерирането и модифициране на модела на предлагането.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. D. Hilshey, P. D. H. Hines, P. Rezaei, and J. R. Dowds, "Estimating the Impact of Electric Vehicle Smart Charging on Distribution Transformer Aging," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 2, pp. 905–913, Jun. 2013.
- [2] A. Foley, B. Tyther, P. Calnan, and B. Ó Gallachóir, "Impacts of Electric Vehicle charging under electricity market operations," *Appl. Energy*, vol. 101, pp. 93–102, 2013.
- [3] C. Farmer, P. Hines, J. Dowds, and S. Blumsack, "Modeling the Impact of Increasing PHEV Loads on the Distribution Infrastructure," in *43rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2010, pp. 1–10.
- [4] D. M. Said and K. M. Nor, "Effects of harmonics on distribution transformers," in *Australasian Universities Power Engineering Conference*, 2008, pp. 1–5.
- [5] Evatran, "Plugless Power Tech Specs." [Online]. Available: [http://www.pluglesspower.com/wp/wp-content/uploads/2014/02/Plugless\\_Tech\\_Specs.pdf](http://www.pluglesspower.com/wp/wp-content/uploads/2014/02/Plugless_Tech_Specs.pdf) [Accessed: 12-May-2015].
- [6] Green eMotion, "Green eMotion: Project Results," 2015. [Online]. Available: <http://www.greenemotion-project.eu/upload/pdf/deliverables/Project-Results-online.pdf> [Accessed: 22-May-2015].
- [7] J. Smart and S. Schey, "Extended Range Electric Vehicle and Charging Behaviour Observed Early in the EV Project," *SAE Int. J. Altern. Powertrains*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, Apr. 2012.
- [8] J. Smart and S. Schey, "Battery Electric Vehicle Driving and Charging Behavior Observed Early in The EV Project," *SAE Int. J. Altern. Powertrains*, vol. 1, no. 1, pp. 27–33, Apr. 2012.
- [9] K. Clement-Nyns, E. Haesen, and J. Driesen, "The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 1, pp. 371–380, Feb. 2010.
- [10] R. W. Carlson and B. Normann, "Test Results of the PLUGLESSTM Inductive Charging System from Evatran Group, Inc.," *SAE Int. J. Altern. Powertrains*, vol. 3, no. 1, pp. 64–71, 2014.
- [11] S. Y. Choi, B. W. Gu, S. Y. Jeong, and C. T. Rim, "Advances in Wireless Power Transfer Systems for Roadway-Powered Electric Vehicles," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 3, no. 1, pp. 18–36, 2015.
- [12] S. Shafiee, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Rastegar, "Investigating the Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Power Distribution Systems," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1351–1360, Sep. 2013.
- [13] Z. Darabi and M. Ferdowsi, "Aggregated Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Electricity Demand Profile," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 2, no. 4, pp. 501–508, Oct. 2011.

#### Адрес за контакти:

инж. Росен Даскалов  
Катедра „Транспорт“, Русенски Университет „Ангел Кънчев“  
ул. „Студентска“ № 8  
7017, Русе, България  
тел. +359 82 888 605

Eng. Rosen Daskalov  
Department of Transport  
University of Ruse „Angel Kanchev“  
8 Studentska Str.  
7017 Rousse, Bulgaria  
Tel. +359 82 888 605

