

Міжнародний науково-технічний журнал



СВІЛОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

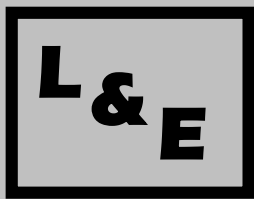
Lighting engineering and power engineering

ISSN 2079-424X

№2 (55)

2019
Харків





СВІЛОТЕХНІКА

№2'2019

ТА

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

Міжнародний науково-технічний журнал

Lighting Engineering and Power Engineering

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

В. Є. Плюгін

д-р техн. наук, професор Харківського національного
університету міського господарства
імені О. М. Бекетова

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

М. К. Сухонос

д-р техн. наук, професор Харківського національного
університету міського господарства
імені О. М. Бекетова

ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР

В.О. Грініна

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Г.О. Петченко

д-р фіз.-мат. наук, професор Харківського
національного університету міського господарства
імені О.М. Бекетова

Halonen Liisa

Ph.D, Professor, Aalto University (Finland)

İlhami Colak

Ph.D, Professor, Istanbul Gelisim University (Turkey)

Jan Bauer

Ph.D, Professor, Czech Technical University in Prague
(Czech Republic)

І.О. Шведчикова

д-р техн. наук, професор Київського національного
університету технологій та дизайну

Д. М. Калюжний

канд. техн. наук, доцент Харківського національного
університету міського господарства
імені О.М. Бекетова

В. І. Карась

д-р фіз.-мат. наук, професор ННЦ "Харківський фізико-
технічний інститут"

М.М. Заблудський

д-р техн. наук, професор Національного університету
біоресурсів і природокористування України

А.Г. Сосков

д-р техн. наук, професор Харківського національного
університету міського господарства
імені О.М. Бекетова

В.Ф.Болюх

д-р техн. наук, професор Національного технічного
університету «Харківського політехнічного інституту»

П. І. Неєжмаков

д-р техн. наук, генеральний директор ННЦ „Інститут
метрології”

Sowa Pawel

Ph. D, DSc, Professor, Silesian University of Technology
(Poland)

Topalis Frangiskos V.

Ph. D, Professor, National Technical University of Athens
(Greece)

Sagiroglu Seref

Ph.D, Professor, Gazi University (Turkey)

Bulbul Halil Ibrahim

Ph.D, Professor, Gazi University (Turkey)

Yochanan Shachmurove

Ph.D, Professor, Colin Powell School for Civic and Global
Leadership (USA)

Zissis Georges

Ph.D, Professor, Université Paul Sabatier, Toulouse
(France)

Bizjak Grega

Ph.D, Professor, University of Ljubljana (Slovenia)

В. Г. Ягуп

д-р техн. наук, професор Харківського національного
університету міського господарства
імені О.М. Бекетова

УДК 621.314(628.971)

*Журнал включено до Переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Наказ Міністерства освіти і
науки України від 10.05.2017 р. № 693).*

Рекомендовано

вченою радою Харківського національного
університету міського господарства
імені О.М. Бекетова,
протокол № 5 від 10.12.2019 р.

Підписано до друку: 08.12.2019 р.

**Свідцтво про державну реєстрацію
журналу**

Серія KB №22332-12232 ПР від 04.10.2016 р.

Індексація журналу



Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Тел.: (057) 707-31-17
Факс: (0572) 706-15-54
Електронна адреса: lepe@kname.edu.ua

ISSNp 2079-424X, ISSNe 2415-3923

ЗМІСТ

1. Ю.М. Квач

МОДЕЛЮВАННЯ ОСВІТЛЕННЯ НА
СІТКІВЦІ ОКА ПЛОТА ПІД ЧАС
ПЛОТУВАННЯ В СКЛАДНИХ
МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВАХ У
СЕРЕДОВИЩІ MATLAB59

2. Ю.В. Ковальова, В.М. Ковальов, В.М. Фатєв

ДВИГУН З АСИНХРОННИМ ФАЗНИМ
РОТОРОМ В РЕЖИМІ КОМПЕНСАТОРА
РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....63

3. С.І. Корнелюк, П. Дмитрієв, Д.В. Тугай

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ
ПІДТВЕРДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ
МОДЕЛІ ВІТРОТУРБИНИ ВЕУ68

4. К.В. Ягуп

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ
РОЗХРАХУНКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ
СИСТЕМ73

5. Хайдар Джафар Абугоух

ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СОНЯЧНОЇ
ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ,
ПІДКЛЮЧЕНОЇ ДО ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ
ПОТУЖНІСТЮ 108КВТ78

6. К.В. Ягуп, О.В. Грінін, Д.С. Стаценін, А.С. Дашенкова

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ
РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНА
ІШНЕКОВОГО ТИПУ.....85

CONTENTS

1. Yu. Kvach

MODELING ILLUMINATION ON THE
RETINA OF THE PILOT'S EYE DURING
PILOTING IN COMPLICATED
METEOROLOGICAL CONDITIONS IN
MATLAB ENVIRONMENT59

2. Yu. Kovalova, V. Kovalov, V. Feteev

ASYNCHRONOUS PHASE ROTOR
MOTOR IN REACTIVE POWER
COMPENSATOR MODE 63

3. S. Korneliuk, P. Dmitriev, D. Tugay

EMPIRICAL SUPPORT OF THE
MATHEMATICAL MODEL OF THE WIND
TURBINE WPI68

4. K. Yagup

APPLICATION OF MODERN METHODS
OF CALCULATION OF ELECTRICAL
SYSTEMS73

5. Haidar Gafar Abugoukh

PERFORMANCE EVALUATION OF
108 KW GRID CONNECTED SOLAR
PHOTOVOLTAIC SYSTEM 78

6. K. Yagup, O. Hrinin, D. Statsenin, A. Daschenkova

INVESTIGATION OF DYNAMIC MODES
OF AUGER TYPE ELECTRIC MOTOR ...85

Modeling illumination on the retina of the pilot's eye during piloting in complicated meteorological conditions in MATLAB environment

Yu. Kvach

National Aviation University,
Ukraine

E-mail: juli_k74@ukr.net

Abstract - The modeling of fragments of a light-signal picture in the conditions of a sharp time deficit at the stage of visual piloting of an aircraft in complex meteorological conditions is considered. It is proposed to identify potential risks through modeling in the MATLAB environment, so that in case of necessity to take measure for reduction of occurrence probability of aviation event due to a management by reliability of the light-signal providing. A tool is proposed for modeling the illumination on the retina of pilot's eye from aerodrome fires in the MATLAB interface, taking into account the coordinates of observer, meteorological conditions and of adjacent efficiency aerodrome fires for management possibility by a risk with reducing it to an acceptable level in order to prevent aviation events. The presented toolkit in the MATLAB environment takes into account the factors influencing the observation during the visual search of aerodrome fires of light signal systems from the meteorological range of visibility, which shortens the time to determine the illumination created on the retina of the eye from the aerodrome fire, as well as determine the contribution of remote light sources for general information to get the pilot's visual sensations during approach in difficult meteorological conditions. The metric of the pilot's visual sensations during the approach in difficult meteorological conditions remains actual problem. Therefore, it is possible to simulate a light-signal picture in the MATLAB interface for the convenient use of tools for determining the visual search of aerodrome fires at civilian aerodromes, taking into account coordinates of the observer approach during and the atmospheric transparency.

Key words - observation, modeling of fragments of a light signal; visual search, recognition of lights at the aerodrome, reliability of light and signal support, risk management, probability of an aviation event, illumination on the retina, visual sensations, operability of aerodrome lights, acceptable level, difficult meteorological conditions, dominant factors, meteorological visibility range.

I. INTRODUCTION

The urgency of the safety of aircraft flights comes to the fore, because each aviation event gets a great resonance in society and is associated with large material losses for air carriers and aerodromes.

The experience of investigating aviation events indicates the need to apply a system approach to the problem of flight safety in order to prevent aviation events.

The statistics show that most aviation events occur at the stage of visual piloting, namely during the approach of the aircraft, or on the flight. Visual piloting is the most difficult

phase of the flight, since the load of the aircraft crew at this stage is maximal. In flight mode, the pilot performs the functions of the supervisor, while the main control actions are performed by on-board equipment. During visual piloting, the pilot constantly receives data from various sources, processes them and gives out commands - all this happens in a three-dimensional environment that is constantly changing, and in a time-deficit conditions. The pilot experiences a particular load at the approach stage, ie at the end of the flight, when fatigue is felt through sound loading, vibration, psychological pressure, etc.

It is from the decision-height after establishing a visual contact, the flight is carried out guided by ground landmarks, which are the fires of the light-signal system of the aerodrome. If, at the time of establishing the visual contact, the light signal system will be in a state of refusal, the crew will not be able to establish its position in the air with respect to the runway, or visual contact may be erroneous.

II. OVERVIEW OF EXISTING CLASSIFICATION SYSTEMS

Current normative documents [1] give recommendations for the determination of the limiting illumination values on the retina of the eye and the law on determining the visibility range taking into accounts the complex meteorological conditions.

The circular ICAO [2] contains instructions on the practice of observing the range of visibility in the runway and the transmission of information about it with specified unresolved questions regarding the total effect of a set of lights caused by their fusion through the intervals and angles under which they are observed by the pilot.

III. PROBLEM STATEMENT

According to the standards of the International Civil Aviation Organization (ICAO), the landing of airplanes in terms of difficulty is divided into three operational categories (I, II, III), each of which has a certain range of visibility on the runway and decision height at landing [1, 2]. In fig. 1 it is proposed developing visual contact with the ground in the process of decline in according to the III category for the visibility of runway less than 400 m and the angle of glissade 3° .

The visible area of the earth's surface is limited on the one hand by the angle of the screening of the ground by

frame glazing airplane cabin (150), and on the second hand by the range of visibility of fires. Visual contact is considered to be reliable if the pilot sees at least 150 m of the earth's surface or its landmarks (fires) [2]. As can be seen from Fig. 1, the first visual contact occurs in these conditions on height of 50 m when in the field of view of the pilot at night the external part of the approaching fires reaches 900 m from the start of the runway. As the glide path decreases, the visual area of the fires increases and reaches its maximum magnitude of about 400 m at the moment of contact.

The image (Fig. 1) of the visual disclosure of the light signal system is a geometric model, but without taking into account the factors that determine the effectiveness of the visual search:

- brightness of the background;
- transparency of the atmosphere;
- Condition of the observer's adaptation;
- Search time.

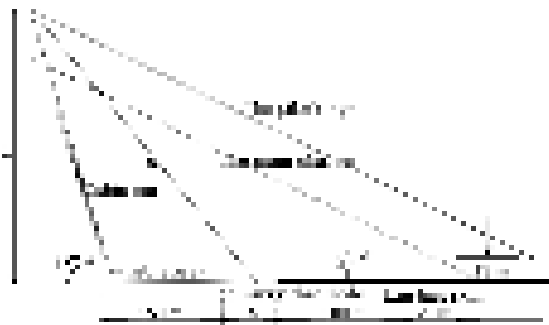


Fig. 1. Geometric dimensions at the final stage of approach: R is visual range to the most remote fire of area; h is the height of level of the pilot's eye; d is the distance from the end of the visible area to the runway threshold

In night conditions and dense fogs (landing airplane for II and III categories), the second component has an advantage - it determines both the background brightness and the observer's adaptation. Thus, aerodrome fires are the objects of search, which determine the conditions of the visual work of the pilot.

In accordance with [1], the visibility of the fires depends on the limiting illumination on the retina of the eye, which is determined by Alard's law:

$$E = (I/R^2) \cdot \tau^R \quad (1)$$

where E is the illumination created by the lighting device at a distance R ; τ is specific transmittance of the atmosphere (transmittance of atmospheric layer thickness of unit length); R is the distance between the light-signaling device and the observer.

If the illumination of the retina of the eye is equal to the limiting illumination, (it is the minimum illumination which causes the visual sensation), then the studied fire can be seen and the distance R is the visual range of the visibility of this fire. The value of the minimum illumination used to determine the visual range of the visibility of light signals depends on the brightness of the background against which a light signal is observed.

According to the current normative documents, the criterion of aerodrome fire failure of the light-signal system is a reduction of light intensity by more than 50%, which for different subsystems of aerodrome fires will be 10000 to 1250 cd (for categorical light-signal landing systems) and 100 to 50 cd (for non-categorical

systems). At the same time, the values of light intensity, calculated by the expression (1) for the worst, but admissible observation conditions for this category of landing system will be lower. This means that light signals will be observed at the distance exceeding the distance of the required visual contact. It is clear that the excess of light intensity of fires beyond the limit value is explained by the desire to increase the safety of flights.

Consider that the visual system gives a person up to 90% of all accepted information. Obtaining information about the outside world with the help of vision can always be considered as a sequential or simultaneous solution of the problem. Such problems may be related to search and location of the object. Under certain conditions, the eye cannot separate the object. In this case, it is said that the object is below the threshold of visual perception and the probability of observation is zero. Under other conditions, the eye instantly clearly recognizes the object - in this case, the probability of observation is 100%. It is clear that there is an area beyond which one can speak about this or that degree of probability for the correct solution of the visual problem. That is, the solution of the visual problem is possible in cases when the conditions of visibility exceed the threshold values of illumination on the eye apple of the observer, which in our case is the pilot of the aircraft.

The term "visibility" of the object has a fairly broad interpretation and is related with meteorological conditions, in particular with atmospheric optics, light engineering, physiological optics, and others.

It is known that the visual perception of point light sources, which includes aerodrome fires of the light-signal system, is determined by their shine. The location of the aerodrome fire is most often known if the aerodrome fire is located in some line of sight. To find the object related with its search, the shine of the point object should be greater than the threshold value of $E_{thr} = 2 \cdot 10^{-8}$ lx at a brightness of the background of 10^{-6} cd/m², and the more the probability of its finding, the less search time.

Dependence of threshold illumination from the brightness of the background is a continuous function approximated by the expression:

$$\log E_{thr} = 0,05 (\log L_{bgr})^2 + 0,57 \log L_{bgr} - 6,66 \quad (2)$$

where E_{thr} is threshold illumination, lx; L_{bgr} is the brightness of the background, cd/m².

Consider that at the stage of visual piloting, for a sure visual contact of a pilot with a light-signal system, aerodrome fires should create in the plane of the eye apple the illumination which is not lower than the threshold. The distance to the fires at the beginning of visual piloting depends on many factors, but the number of these values is reduced to four depending on the category of radio-lighting equipment landing. The influence of the factors of atmosphere transparency is taken into account by the value of the specific transmittance, which varies from 0.9 to $10^{8.5}$.

The obtained information can be considered with the help of vision as a series of problems of search and finding of the object, recognizing it by a number of features (form, color, presence of details, etc.), that is, visual problems.

It is clear that there is an area for which one can speak about this or that degree of confidence of the correct solution of the visual problem. The main factors determining the visibility of aerodrome fires in their visual search in the atmosphere are:

- contrast of the object of observation with the background;
- light power of the fire; angular field of overview;
- search time; transparency of the atmosphere;
- object speed; probability of detection;
- state of observer adaptation.

Presence of other objects in the line of sight also affects the detection of the considered object etc.

The probability of detecting point objects is determined by the expression [3]:

$$P = 1 - \exp(- (a_b \cdot E^2 \cdot t) / (2 \beta)^2 L^2 n), \quad (3)$$

where P is probability of detection; a is coefficient characterizing the individual characteristics of the observer. According to the results of experiment for binocular vision follows that $a_b = 2,6 \cdot 10^{14} \text{ deg}^2 (\text{cd} / \text{m}^2)^2 \text{lx}^{-2} \text{s}^{-1}$; for monocular vision $a_m = 1,8 \cdot 10^{14} \text{ deg}^2 (\text{cd} / \text{m}^2)^2 \text{lx}^{-2} \text{s}^{-1}$; E is illumination in the plane of the eye apple of the observer from the point source of light, lx; t is search time, s; 2β is the angular field of the search, deg; L is background brightness, cd / m^2 ; n is a coefficient depending on the brightness of the background and is calculated by the empirical formula:

$$n = 0,6 + 0,1 \cdot \lg L \quad (4)$$

within brightness change:

$$\begin{aligned} 10^3 \text{ cd} / \text{m}^2 < L < 30 \text{ cd} / \text{m}^2, \\ \text{if } L > 30 \text{ cd} / \text{m}^2 \text{ then } n = 0.75; \\ \text{if } 10^{-6} \text{ cd} / \text{m}^2 < L < 10^{-3} \text{ cd} / \text{m}^2 \text{ then } n = 0.3. \end{aligned}$$

We can determine the necessary illumination in the plane of the eye apple, if we specify some values of the listed quantities and then using the inverse squares law we may find the observation distance of the fire on which it fire will be detected with probability P .

IV. PROPOSED ALGORITHM OF AIDED CLASSIFICATION OF GROUND OBJECTS

To solve this complex task, a toolkit using the interface MATLAB [4, 5] is proposed to determine the illumination created by a separate fire or group of aerodrome fires of aerodrome light systems, depending on the input data (Fig. 2) [6]:

- 1) coordinates (X, Y, Z) and angles (V, G) of the location of aerodrome light signal fires on the runway;
- 2) photometric data of aerodrome light signal fires by calling ies-files of respective fires [7];
- 3) coordinates of the observer position in relation to the light-signal picture for determining the length of the trajectory between the light emitter and the receiver;
- 4) parameters characterizing the complexity of meteorological conditions with indicating the background brightness (L_{back}), atmospheric transparency and meteorological range of visibility.

Toolkit allows to get:

- illumination, taking into account the cosine dependence created by aerodrome fires on the pupil of the observer (E_0);
- illumination by Allard, created by aerodrome fires at the observer's pupil (E_A);

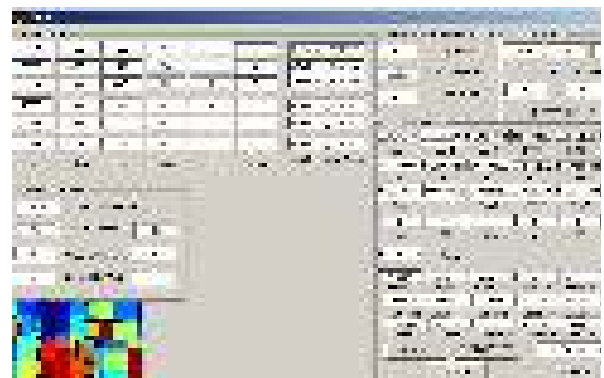


Fig. 2. Toolkit for determining the visual recognition of light-signal systems element of aerodromes, depending on the glide path angle of piloting, individual characteristics of the observer, transparency of the atmosphere.

- total illumination created by aerodrome fires at the pupil of the observer (E) with the definition of minimum, average and maximum value;
- the threshold value of illumination, which allows to estimate the visibility of aerodrome fires, depending on complex meteorological conditions;
- a graphic representation of the illumination from each individual aerodrome fire (Fig. 3);
- graphic representation of illumination from a group of aerodrome fires;
- graphic representation of the direction of radiation of aerodrome fires (Fig. 4).

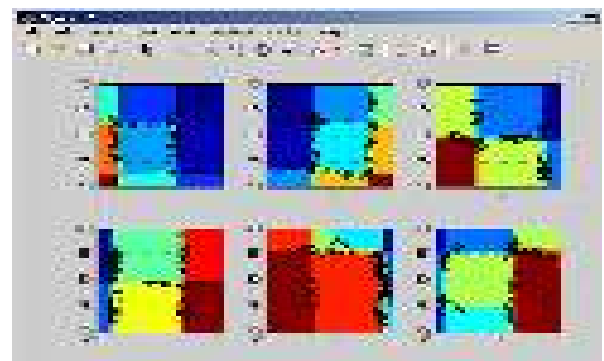


Fig. 3. A graphic representation of the illumination of the studied fires

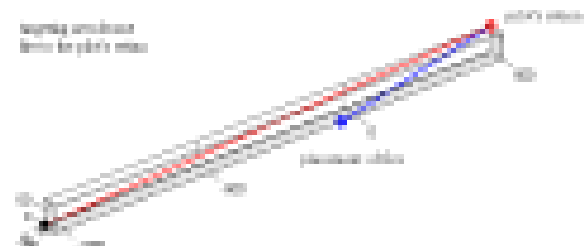


Fig. 4. The created graphic image of contribution of targeting individual fire with corresponding light intensity at the observer targeting aerodrome fire to the pilot's retina

Graphic images of the orientation of a separate aerodrome fire or a group of fires with a corresponding light intensity on the observer allows to make conclusions about their contribution to the overall picture of visual perception by the pilot.

Thus, the modeling of the illumination created on the retina of the pilot's eye takes place taking into account the brightness of the background, on which individual fires or a group of fires, depending on the location coordinates and their photometric characteristics, in the complex meteorological conditions are recognized.

V. CONCLUSIONS

The aerodrome lights are visible as a result of the simulation of the effect of the atmosphere transparency, coordinates and angles of the location of aerodrome lights on the observation of light-signal lights at a distance of 500 meters, since the value of the illumination created at the pupil of the observer exceeds the threshold value of illumination.

Thus, the presented toolkit in the MATLAB environment takes into account the factors influencing the observation during the visual search of aerodrome fires of light signal systems from the meteorological range of visibility, which shortens the time to determine the illumination created on the retina of the eye from the aerodrome fire, as well as determine the contribution of remote light sources for general information to get the pilot's visual sensations during approach in difficult meteorological conditions.

REFERENCES

- [1] Doc 9157-AN / 901 ICAO Aerodrome Design Guide. Ч 4. Visual means. 4th ed. - ICAO - 2004. - 182 p.
- [2] ICAO Doc 9328-AN / 908 "Guide on the Practice of Tracking and Tracking Visibility on Runway Tracking" 3rd ed. - ICAO - 2005. - 124 p.
- [3] Travnikova N. Efficiency of visual search. - М.: Mechanical Engineering, 1985. - 128p.
- [4] Kondrashov V., Korolyov S. MathLab as a system of programming scientific and technical calculations, Mir, Institute of Strategic Stability of the Ministry of Atomic Energy of the Russian Federation, 2002.
- [5] Badriev I.B., Banderov V.V., Zadvornov O.A. Development of a graphical user interface in the MathLab environment. Tutorial, Kazan State University, - 2010. - 113 p.
- [6] Kvach Yu.M. Modeling the influence of factors on the monitoring of the light-signal fires of the civil aviation aerodrome in matlab environment / Electronics and control systems. - 2018. - № 4(58) - C.118 - 123.
- [7] Kvach Yu.M. Modeling of aerodrome light-signal lights in simulators of the visual environment of aviation simulators / Bulletin of the National Aviation University. - 2007. - № 1 - C.55 - 58.

Моделювання освітлення на сітківці ока пілота під час пілотування в складних метеорологічних умовах у середовищі MATLAB

Ю. М. Квач

Національний авіаційний університет,
Україна

Розглянуто моделювання фрагментів світлосигнальної картини в умовах різкого дефіциту часу на етапі візуального пілотування повітряного корабля в складних метеорологічних умовах. Пропонується можливість ідентифікувати потенційні ризики шляхом моделювання в середовищі MATLAB, щоб в разі необхідності вжити заходів для зменшення ймовірності виникнення авіаційної події за рахунок керування надійністю світлосигнальною системою аеродрому. Використання інструменту в інтерфейсі MATLAB дозволяє проводити моделювання освітленості, створюваної на сітківці ока пілота від аеродромних вогнів з урахуванням місцезнаходження (координат) спостерігача, метеорологічних умов і розміщення сусідніх аеродромних вогнів для можливості управління і зниження ризику до прийнятної рівню для запобігання авіаційних подій. Представлений інструментарій в середовищі MATLAB враховує домінуючі фактори, що впливають на спостереження під час візуального пошуку аеродромних вогнів світлосигнальних систем в залежності від метеорологічної дальності видимості, що дозволяє скоротити час на визначення освітленості, створюваної на сітківці ока від аеродромного вогню, а також визначити внесок віддалених джерел світла на загальну інформацію для отримання зорових відчуттів пілота під час заходу на посадку в складних метеорологічних умовах. Метрика зорових відчуттів під час заходу на посадку в складних метеорологічних умовах залишається актуальною. Тому надана можливість моделювати світлосигнальну картину в інтерфейсі MATLAB для зручного використання інструментарію щодо визначення візуального пошуку аеродромних вогнів на аеродромах цивільної авіації з урахуванням координат при заході на посадку спостерігача і прозорості атмосфери.

Ключові слова - спостереження; моделювання фрагментів світлового сигналу; візуальний пошук; розпізнавання вогнів на аеродромах, надійність світлосигнального забезпечення, керування ризиком, ймовірності виникнення авіаційної події, освітленість на сітківці ока, хорові відчуття, працездатність аеродромних вогнів, прийнятний рівень, складні метеорологічні умови, домінуючі фактори, метеорологічна дальність видимості.

Asynchronous phase rotor motor in reactive power compensator mode

Yu. Kovalova

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine
E-mail: kovalova.jv@gmail.com

V. Kovalov

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine
E-mail: j.k@scientist.com

V. Feteev

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine
E-mail: kovalova.jv@gmail.com

Abstract - reactive power compensation remains an important factor for energy keeping. Usually, kondenser banks are used for compensation, the disadvantage of which is the difficulty of regulating the capacitance value with variable consumption of reactive power. For smooth regulation of reactive power, synchronous motors and semiconductor static compensators are used. But the search for using other alternative means of reactive power compensation remains relevant.

As an alternative compensator for reactive power, the article proposes the use of an induction motor with dual power supply. This problem is solved in two stages. At the first stage, a theoretical analysis of the process of generating reactive power by a dual-supply induction motor is considered. With dual power supply, a sinusoidal voltage is supplied to the stator, and a direct voltage is supplied to the rotor. In this case, the rotor winding turns into a DC electromagnet, which rotates synchronously with the rotational magnetic field created by the fixed stator windings

The magnetic field of the rotor winding moves relative to the stationary stator windings with the speed of the moving magnetic field of the stator. Their magnetic axes coincide because the engine is idling. To justify the reactive power generation mode, vector diagrams of the stator and rotor voltages and currents were compiled for three dual-supply asynchronous motor operation modes: 1) reactive power consumption mode, 2) non-consumption mode and 3) generation mode.

At the second stage, a power circuit and a control circuit for a dual-supply asynchronous motor are developed. The power circuit includes a phase meter in the stator electric circuit to measure the phase angle of the stator current from voltage, an ammeter of the electromagnetic system to measure the magnitude of the stator winding current. The rotor circuit includes additional active resistors for accelerating the motor to under synchronous speed, a direct current electromagnetic relay that measures the magnitude of the electromotive force of the rotor winding. A thyristor rectifier with feedback on the rotor winding current has been adopted as a direct current source.

A relay circuit has been developed for controlling a dual-supply induction motor. Experimental research have been carried out to determine the dependence of the stator current and its phase shift relative to the stator voltage on the value of the rotor winding current.

According to the results of the experiments, a graph of the dependence of the stator winding current on the value of the direct current of the rotor winding is constructed. From

the graph it follows that with increasing rotor current, the stator current changes. First, the stator current decreases to a minimum value and then increases. This means that the type of stator current varies from inductive to active and to capacitive.

Thus, the use of an induction motor for generating reactive power has advantages over capacitor banks, as it allows its smooth control. But the power loss for generating reactive energy is greater than for capacitor banks.

Keywords - induction motor, phase rotor, double supply, reactive power, compensation

I. FORMULATION OF THE PROBLEM

Reactive power compensation remains one of the important factors for energy conservation. Typically, capacitor batteries are used to compensate for reactive power, the disadvantage of which is the difficulty of adjusting the capacity for variable reactive power consumption. Synchronous motors and semiconductor static compensators provide traditionally smooth reactive power control. But it remains relevant to use other alternative means of reactive power compensation.

II. ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

In [1-3] the analysis of electric drive modes for realization of their energy saving properties is carried out, but the possibilities of an induction motor as a generator of jet power are not considered. Generation of reactive power by an asynchronous motor with a phase rotor occurs in dual power mode, when a sinusoidal voltage is applied to the stator windings, and an adjustable DC voltage is applied to the rotor windings. In [4-6], the analysis of the components of the power balance in networks with nonlinear load and methods of reactive power compensation. In [7], an analysis of the energy-saving properties of an induction motor with a short-circuited rotor when powered by a semiconductor frequency converter. In [8-10], a theoretical analysis of the reactive power compensation process with the use of active filters based on inverters was carried out.

III. THE PURPOSE OF THE ARTICLE

Theoretical substantiation of the principle of generating reactive power by an asynchronous motor with a phase rotor, development of a control scheme and experimental study of the dependence of the stator jet current on the direct current of the rotor.

IV. BASIC RESEARCH MATERIALS.

The goal is solved in two stages. In the first stage, the process of generating jet power into the grid is considered. With dual power supply, the stator is supplied with a sinusoidal voltage and a constant voltage on the rotor. In this case, the rotor is converted into a direct current electromagnet, which rotates synchronously with the rotating magnetic field of the fixed stator windings. The magnetic field of the rotor winding moves relative to the fixed stator windings with the speed of the moving magnetic field of the stator. Their magnetic axes coincide because the engine is idle. Consider the point in time when the south pole of the rotor is below the north pole of the stator (Fig. 1). The magnetic flux of the rotor intersects the fixed stator winding of phase A and induces in it the electromotive force (EMF) of rotation of the rotor, which according to Faraday's law is $E_r = C\phi_r\omega_r$. The EMF of the rotor is directed opposite to the voltage of the network, since it is created by the south pole of the magnetic field of the rotor relative to the magnetic field winding of phase A of the stator. The equilibrium equation of the stator phase is of the form

$$\dot{U}_s - \dot{E}_r = R_s \dot{I}_{sr} + jX_s \dot{I}_{sr}, \quad (1)$$

where U_s – stator phase winding voltage;

I_r – the current in the stator winding from the rotor EMF;

I_{sr} – the resulting stator current as the vector sum of the stator current and the current from the rotor EMF;

$X_s = X_{s0} + X_{s\sigma}$ – the resulting inductive resistance of the stator phase winding as the sum of the main and the scattering.

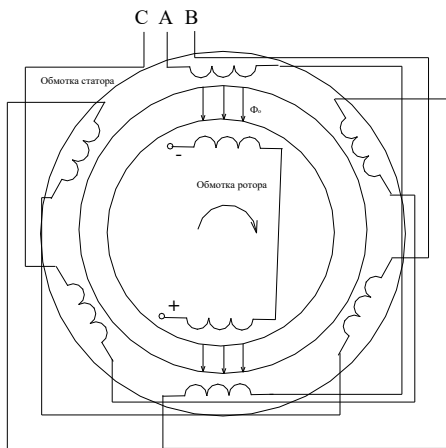


Fig. 1. Simplified section of the engine

Equation (1) corresponds to the vector diagram in Fig. 2, where the stator current is shown as the vector sum of its active and reactive components $I_s = I_{sa} + I_{sp}$.

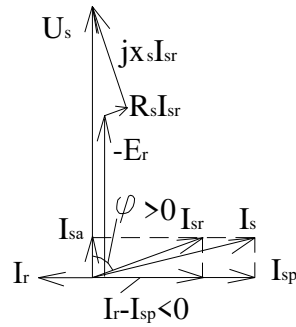


Fig. 2. Vector diagram of voltages and currents in the mode of consumption of jet power

The magnitude of the rotor EMF is less than the network voltage, and therefore the engine consumes reactive power. In this case, the angle of shear current from the voltage behind $\varphi > 0$. With a further increase in the direct current of the rotor the EMF of the rotor increases and becomes equal to the stator voltage. In this case, the current in the stator winding from the rotor EMF is equal to the reactive component of the stator current, that is, the motor consumes the active current I_{sa} and does not consume reactive power from the network, as shown in the vector diagram in Fig. 3

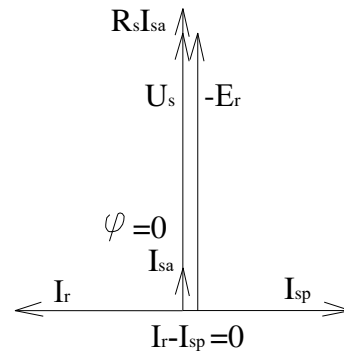


Fig. 3. Vector diagram in stator winding reactive power compensation mode

As the rotor current increases further, the rotor EMF becomes larger than the stator EMF, and the current created by it becomes larger than the reactive component of the stator current. The resulting current is ahead of the voltage phase, ie the induction motor generates jet current into the network, as shown in the vector diagram in Fig. 4.

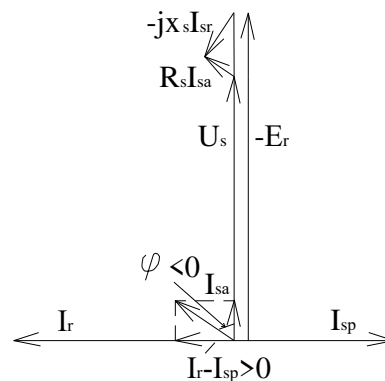


Fig. 4. Vector diagram in jet power generation mode

Thus, an induction motor with dual power can operate in three modes: to consume reactive power, not to consume and to generate it in the mains.

In the second stage, the power scheme and control scheme of the dual-power induction motor are shown, which are shown in Fig. 5 and Fig. 6. The power circuit includes an automatic switch QF1, measuring devices: phase meter $p\phi$ and ammeter $pA1$, asynchronous motor M1. An additional active support R1-R6, a time relay coil KT3, a controlled rectifier UZ1, the output of which the ammeter $pA2$ and a relay coil KA.

Starting the engine is a circuit control by pressing the button SB1, then triggered magnetic actuator KM1 and its power contacts KM1 connects the stator of the motor to the network.

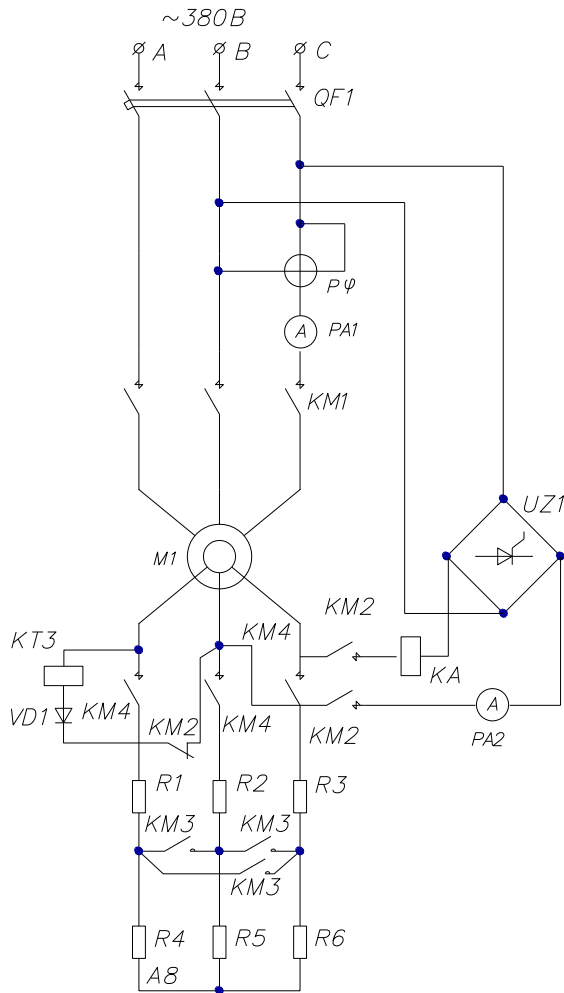


Fig. 5. Power scheme

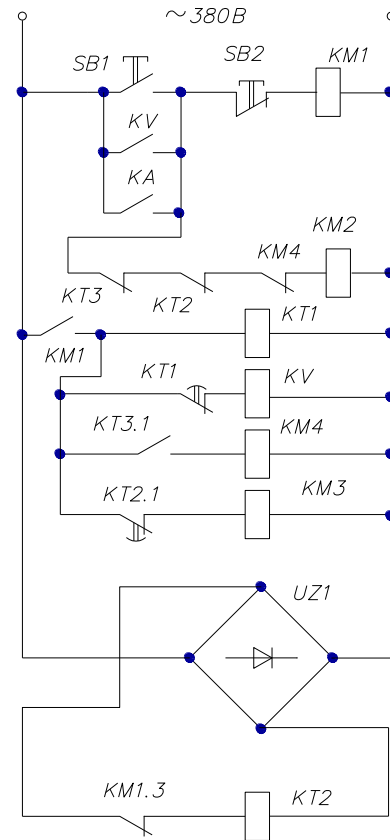


Fig. 6. The control scheme

Its KM1 block contact supplies voltage to the KT1 time relay coils and the KV voltage relay, and the KM1.3 block contact opens the K2 time relay coil circuit. The KV voltage relay is triggered and by its contact KV shunts the SB1 button. The magnetic field of the stator winding induces electromotive force (EMF) in the rotor windings and triggers the KTZ time relay, which with its KT3.1 contact activates the magnetic actuator KM4 coil under voltage, the power contacts of which connect the rotor winding with additional resistors R1-R6. Torque appears and the rotor starts accelerating, increasing angular velocity. With time, the anchor from the core of the KT2 time relay drops out and closes its KT2.1 contact in the circle of the KM3 magnetic actuator coil. After the KM3 is triggered, its KM3.1 contacts shunt additional resistance R4-R6, the engine continues acceleration according to the second artificial mechanical characteristic. As the rotor speed increases further, the EMF of the rotor decreases and at a speed value of about 95% of the synchronous speed, the anchor of the KT3 relay drops away from the core. This closes the contact KT3.2 in the circle of the coil magnetic actuator KM2 and opens the contact KT3.1 in the circle of the coil magnetic actuator KM4, power contacts KM4.1 which disconnect the supports R1-R6 from the rotor winding circuit, and block contacts KM4.2 close the power circuit of the KM2 magnetic actuator coil. After KM2 is triggered, its power contacts connect the rotor windings to the output of the thyristor rectifier VZ1, a constant current appears in the rotor circuit and the induction motor goes into dual power mode. The KA current relay is triggered, and by its contact the KA is bypassing the contacts of the SB1 button. Then, with time delay, the time relay KT1 triggers, opening its

contacts KT1.1 in the circuit of the coil of the voltage relay KV, and its contact KV is opened. If, in the time interval, the KT1 relay KA2 relay does not work, ie, the motor rotor does not reach at a synchronous speed, then its breaking contact de-energizes the voltage relay coil and the motor disconnects from the network.

On the basis of the developed scheme, experimental studies of the dependence of the stator current on the rotor current, which is shown in Fig. 7.

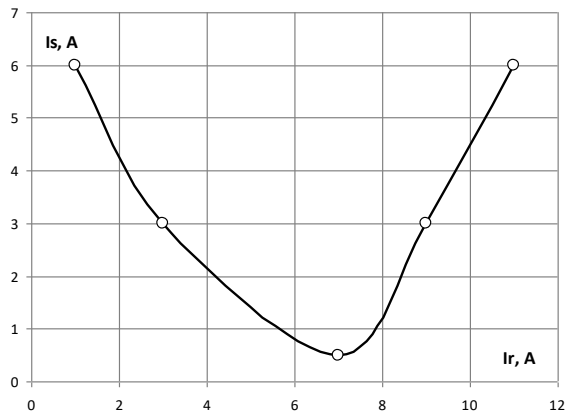


Fig. 7. Experimental graph of the dependence of the stator current on the direct current of the rotor

The graph shows that as the rotor current increases, the stator current decreases and the value of the rotor current 7A compensates for the reactive component of the stator current and consumes only the active current.

V. CONCLUSIONS

On the basis of the theoretical substantiation of the principle of operation of a double-powered asynchronous motor with phase-fed rotor, vector diagrams were obtained for three modes of operation of an asynchronous dual-power motor: 1) jet lag mode with lagging power factor; 2) full reactive power compensation mode with one power factor; 3) reactive power generation mode with ahead power factor. Circuit diagram for control of dual-power induction motor and dependence of stator current on rotor current.

rent. The use of an asynchronous motor with a phase rotor for generating reactive power has advantages over capacitor batteries because it allows its smooth regulation. But the power losses for the generation of reactive energy are bigger than for the capacitor batteries, so feasibility study is needed.

REFERENCES

- [1] Barsky V. A., Beshta A. S., Gorbachev N. V., Zagirnyak M. V., Klepikov V. B., Lozinsky O. Yu., Mekhovich S. A., Peresada S. M., Sadovoy A. V., Tolochko O. I. (2013). Electric drive as an energy-keeping factor in the industry and housing and communal services of Ukraine. *Energy Saving • Energy • Energy Auditing*. Kharkov, No. 9(115), 2-11.
- [2] Zakladny O. M., Prakhovnik A. V., Solovey O. I. Zakladny O. M. (2003). *Energy keeping by means of industrial electric drive*. K.: Condor, 408.
- [3] R. D. Klug and Klaassen. (2005). High power medium voltage drives – Innovation, portfolio, trends. in *Proc. Eur. Conf. Power Electron, Appl.*, 1-10.
- [4] Vladimirov Yu. V. (2008). About the concept of reactive power compensation. *Svitlotechnika & Electroenergetika*. Kh. : KhNAMG, № 3, 35-41.
- [5] Govorov F. P., Govorov V. F. (2013). Reactive power compensation in urban electricity and lighting systems. *Scientific works National Technical University in Kharkiv, Ukraine, Donetsk: DonNTU*, № 1(14), 75-79.
- [6] Peng F. (1998). Harmonic and reactive power compensation based on the generalized instantaneous reactive power theory for three-phase four-wire systems. *IEEE Trans Power Electronics*. Vol. 13, № 6, 1174-1181.
- [7] J. Rodriguez, S. Bernet, B. Wu, J.O. Ponu, and S. Kouro (2007). Multilevel voltage-source-converter topologies for industrial medium-voltage drivers. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 6, 2930-2945.
- [8] L.G. Franquelo, J. Rodriguez, J.I. Leon S. Kouro, R. Portillo and M. A. M. Prats. (2008). The age of multilevel converters arrives. *IEEE Ind. Electron., Mag.*, vol. 2, 28-39.
- [9] J. Rodriguez, L.G. Franquelo, S. Kouro, J.I. Leon, R.C. Portillo, M.A.M. Prats, and M.A. Perez. (2009). Multilevel converters: An enabling technology for high-power applications, *Proc. IEEE*, vol. 97, no. 11, 1786-1819.
- [10] S. Kouro, M. Malinowski, K. Gopakumar, J. Pou, L. G. Franquelo, B. Wu, J. Rodriguez, M. A. Perez, J. L. Leon. (2010). Recent advances and industrial applications of multilevel converters. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 8, 2084-2096.

Двигун з асинхронним фазним ротором в режимі компенсатора реактивної потужності

Ю. В. Ковальова

Харківський національний
університет міського господарства ім. О.М. Бекетова,
Україна

В. М. Ковальов

Національний технічний
університет "Харківський
політехнічний інститут",
Україна

В. М. Фатєєв

Харківський національний
університет міського господарства ім. О.М. Бекетова,
Україна

Компенсація реактивної потужності залишається важливим фактором енергозбереження. Зазвичай для компенсації використовують конденсерні батареї, недоліком яких є труднощі регулювання величини ємності при змінному споживанні реактивної потужності. Для плавного регулювання реактивної потужності використовуються синхронні двигуни та напівпровідникові статичні компенсатори. Але пошук використання інших альтернативних засобів компенсації реактивної потужності залишається актуальним.

В якості альтернативного компенсатора реактивної потужності в статті пропонується використовувати асинхронний двигун з подвійним джерелом живлення. На першому етапі розглядається теоретичний аналіз процесу генерації реактивної потужності асинхронним двигуном подвійного живлення. При подвійному живленні до статора подається синусоїдальна напруга, а до ротора подається пряма напруга. У цьому випадку обмотка ротора перетворюється на електромагніт постійного струму, який обертається синхронно з обертовим магнітним полем, створеним фіксованими обмотками статора.

Магнітне поле обмотки ротора рухається відносно нерухомих обмоток статора зі швидкістю рухомого магнітного поля статора. Їх магнітні осі збігаються, тому що двигун працює на холостому ході. Для обґрунтування режиму генерації реактивної потужності були складені векторні діаграми напруги та струму статора та ротора для трьох режимів роботи асинхронного двигуна з подвійним живленням: режиму споживання реактивної потужності, режиму не споживання та режиму генерації.

На другому етапі розробляються коло живлення та коло управління для асинхронного двигуна з подвійним живленням. Розроблено релейну схему для управління асинхронним двигуном з подвійним живленням. Проведено експериментальні дослідження для визначення залежності струму статора та його фазового зсуву відносно напруги статора від величини струму обмотки ротора.

За результатами експериментів побудовано графік залежності струму обмотки статора від величини постійного струму обмотки ротора. З графіка випливає, що зі збільшенням струму ротора струм статора змінюється. Спочатку струм статора зменшується до мінімального значення, а потім збільшується. Це означає, що тип струму статора змінюється від індуктивного до активного та до ємнісного.

Таким чином, використання асинхронного двигуна для генерування реактивної потужності має переваги перед батареями конденсаторів, оскільки дозволяє його плавне управління.

Ключові слова - асинхронний двигун, фазний ротор, подвійне живлення, реактивна потужність, компенсація.

Empirical support of the mathematical model of the wind turbine WPI

S. Korneliuk

O.M. Beketov NUUE in Kharkiv,
Ukraine

E-mail: seigerkornelyuk@gmail.com

P. Dmitriev

Mezhdurechensk,
Russia

E-mail: 19ivan2010@gmail.com

D. Tugay

O.M. Beketov NUUE in Kharkiv,
Ukraine

E-mail: tugaydmytro@gmail.com

Abstract — Experimental confirmation of mathematical models is one of the aspects of the scientific process. This article discusses the design of an experiment with a wind turbine, which was built using the mathematical model described in [7, 9] and implemented in the form of the “Aerodinama” software package [8].

The software package “Aerodinama” implements the calculation according to the “Theory of a real windmill” presented by prof. G.Kh. Sabinin in [9]. According to the calculation results, the geometric parameters of the turbine were obtained, as well as the design drawings were obtained. Then a physical model of a wind turbine was made and installed in real natural conditions. For wind turbines, a 400 W permanent magnet generator was selected and manufactured. Efficiency of the generator is accepted 80%. For the wind turbine rotor, a three-blade propeller with a profile of blades BRUXEL 36 was used. The average annual wind speed is accepted as 3.5 m/s, and the maximum - 25 m/s.

To control wind turbine performance, a logger was developed based on the Arduino Nano microcontroller board version 3.0 and a set of several sensors. The Hall sensor KY-003 Hall, ACS712 30A sensor and DS18B20 sensor. Wind speed was measured using an analog anemometer with an electromagnetic system, and was controlled by the output voltage level. Current data was collected on a memory card and duplicated on a display. Measurement step - 1 sec. The following data was tracked: wind speed; speed of the working shaft of wind turbines; voltage at the output of the rectifier unit; rectifier output current; power and temperature of the generator.

The collected data was imported into the MS EXCEL software for processing. The results of data processing are presented in the form of graphs.

The experimental data obtained confirm the accuracy of the algorithm chosen for the development of the mathematical model.

Keywords — aerodinama, wind turbine, blade, mathematical model, calculation algorithm, experiment, logger.

I. INTRODUCTION

Mathematical modeling is a powerful and useful tool for engineers to use in many branches of science and technology. The digital model allows calculating or verifying the parameters of the sample without making an experimental model. This approach saves a lot of time and significantly reduces the financial burden on the development of wind turbines.

A key indicator of the performance of a wind turbine is the utilization factor of wind energy. This parameter is determined by both the aerodynamic and geometric characteristics of the propeller blades. The task of the theoretical calculation of the wind turbine is to optimize the characteristics in order to increase the power of the wind power installation. The mathematical model of the wind turbine operation makes it possible to perform such optimization with high reliability. The complexity of the practical application of the mathematical model of the wind generator is that the processes occurring are described by a system of differential and nonlinear equations containing a large number of parameters [1-6]. And yet, in order to verify the correctness of the simulation, it is necessary to manufacture a prototype wind turbine and conduct certain tests.

II. PARAMETERS OF THE MATHEMATICAL MODEL

The calculation performed using the “Aerodinama” software was used for testing [7]. Get acquainted with the calculation by the link [8].

The following parameters were selected for the calculation:

- Net Power: 400 W
- Average annual wind speed: 3.5 m/s
- Maximum wind speed (storm): 25 m/s
- Number of blades: 3 pcs
- Mast height: 15 m
- Starting moment of the generator: 0.49 N·m
- Generator efficiency: 80%
- Direction of rotation: Right
- Profile type: BRUXEL 36

As a result of aerodynamic calculation, the following parameters of the wind turbine have been obtained:

- Diameter of wind turbine: 2.55 m
- Wind power utilization: 0.46
- Starting wind speed: 1.5 m / s
- Turnovers at rated wind speed: 340 rpm
- Revolutions at maximum wind speed: 1412 rpm
- Estimated torque on the generator shaft: 11.2 N·m
- Storm torque on the generator shaft: 193.3 N·m
- Estimated force of frontal pressure on the wheel: 170N
- Frontal force with maximum gust: 12.14 kN
- Wind turbine power during a storm: 28.58 kW

The design characteristics of the turbine impeller, obtained in the form of graphs (fig. 1):

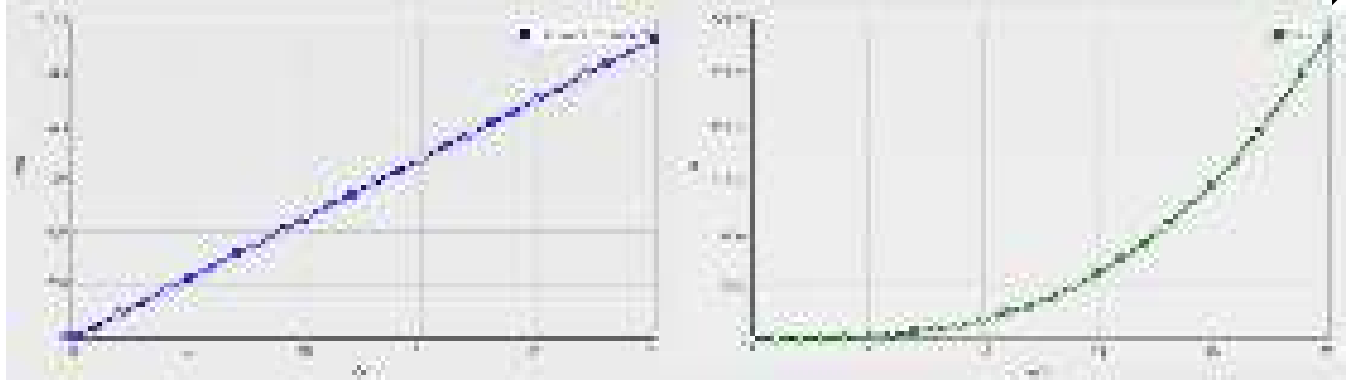


Fig. 1. The design characteristics of the turbine impeller

A cloud of points has also been obtained describing the blade model in the coordinate system centered on the working shaft of the wind turbine. The point cloud was loaded into the SolidWorks software package and a 3D

model of the blade was built (fig. 2a). Using the drawing function from the model in the SolidWorks software package, drawings have been obtained for the manufacture of a wind turbine (fig.2b):

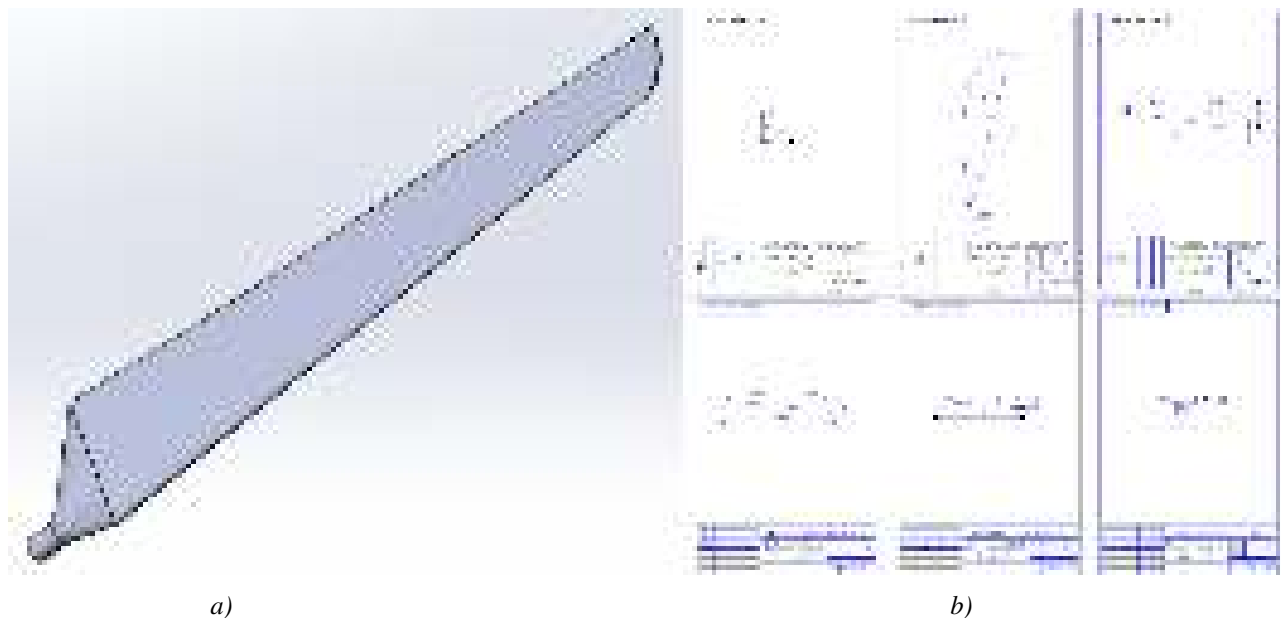


Fig. 2. 3D model and drawings of a wind turbine blade.

III. PHYSICAL MODEL

According to the drawings, the wind turbine (fig. 3) has been built with the following parameters:

- Diameter of the wind turbine: 2.64 m
- Number of blades: 3 pcs
- Mast height: 17.20 m
- Starting moment of the generator: 0.49 N·m

Mechanical protection of wind turbines was carried out by bringing the plane of the wind turbine in a plane parallel to the direction of the wind. The safety device was configured to shut off the wind turbine at a wind speed of about 8 m/s. The operation of the electric generator is aimed at charging the batteries through the charging device.



Fig. 3. Wind turbine.

IV. MEASUREMENT TOOLS

The basis for the measurement tool - logger, is the Arduino Nano microcontroller board version 3.0. The

following are the block installation diagram and the appearance of the device. (fig. 4).

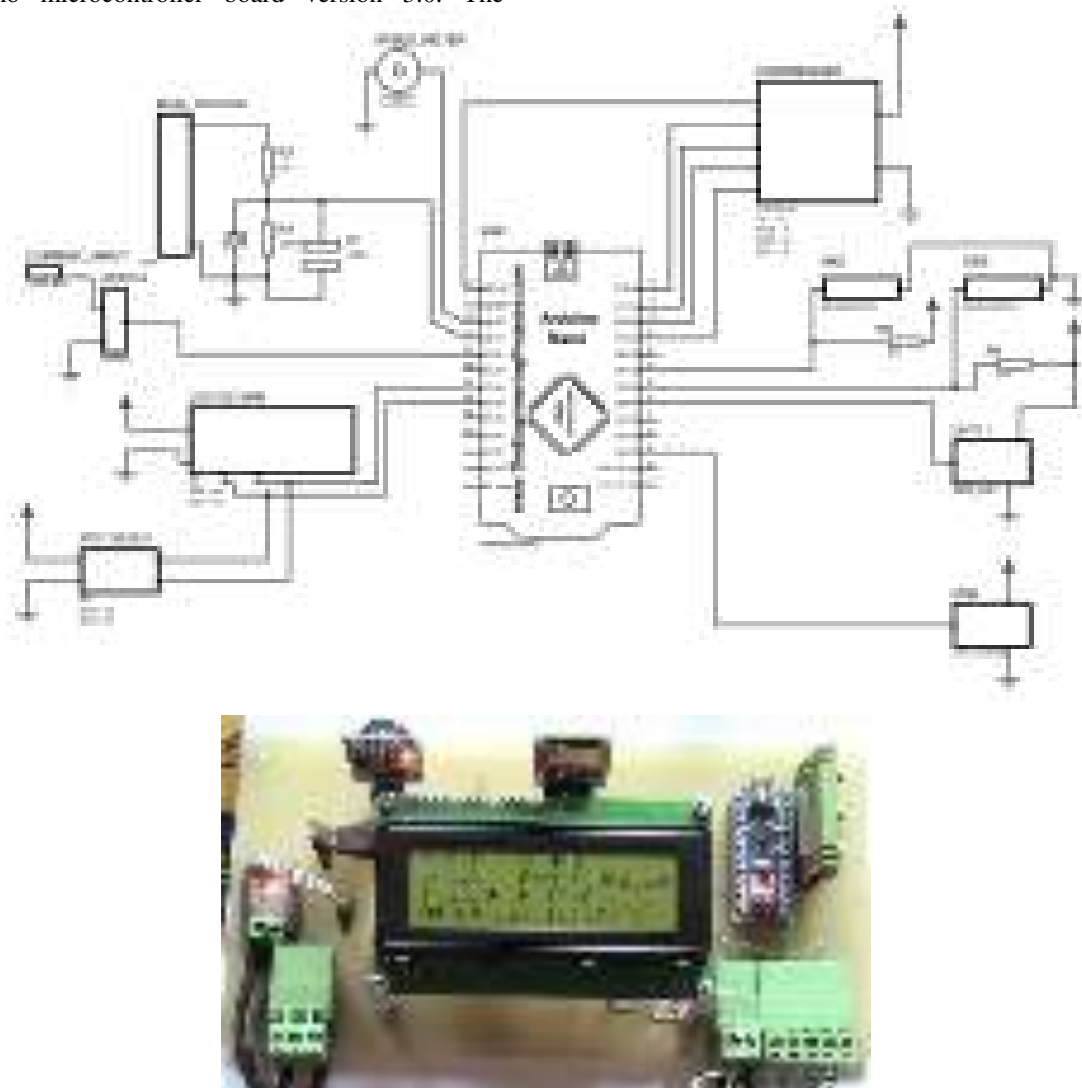


Fig. 4. Assembly block diagram and appearance of the logger.

The data were saved to a memory card using the Micro SD SPI module. With an interval of 1 second, the following data were recorded:

- Turnovers of a working shaft of the screw, rpm
- Wind speed, m/s
- Voltage at the output of the rectifier unit, V
- Rectifier output current, A
- Power, W
- The temperature of the winding of the generator, °C
- Date
- Time

Turnovers were measured using a Hall Sensor Module KY-003 Hall with 6 magnetic contactors. Wind speed was

measured using an analog anemometer with an electromagnetic system based on the output voltage level. The voltage at the output of the rectifier unit was measured using a voltage divider. The current was measured using an ACS712 30 A sensor. The temperature of the generator windings was measured with a DS18B20 sensor.

The data were saved in a file format .txt as a string with a separator | (vertical bar), each new record was separated from the previous one through the end of line symbol. Also, the current state of the wind turbine was displayed.

V. DATA PROCESSING

For convenience of processing, the data were placed in the EXCEL program. In Figure 5, a fragment of the file is shown.

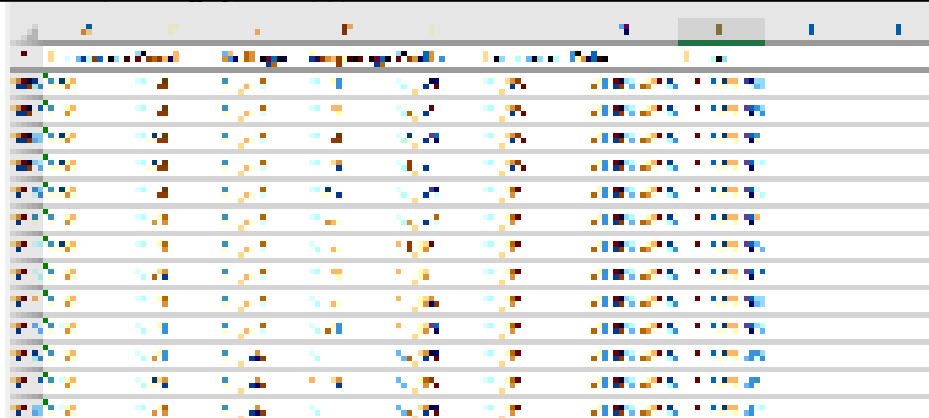


Fig. 5. Log file fragment.

In the above example, it is seen that the values of wind speed and speed or power do not have a clear and direct relationship. For example, we can see that 150 rpm in lines 207, 211, 213 and 214 correspond to different readings of wind speed 2.54, 2.73, 3.22 and 2.83. This difference in readings is due to the inertia of the mechanical system of the wind turbine.

However, the variation in wind speed readings has a small range, which allows for a large enough plot to build

graphs of wind turbine speed dependence on wind speed. Based on the fact that when building graphs, the power is indicated as a mechanical quantity, and in the data log it is an electrical parameter, we do not take into account the power graph for comparing the results.

A data log was processed in Microsoft EXCEL software and a graph of wind turbine speed versus wind speed was plotted. Fig. 6 shows a graph of the processed data in comparison with the calculated parameters.

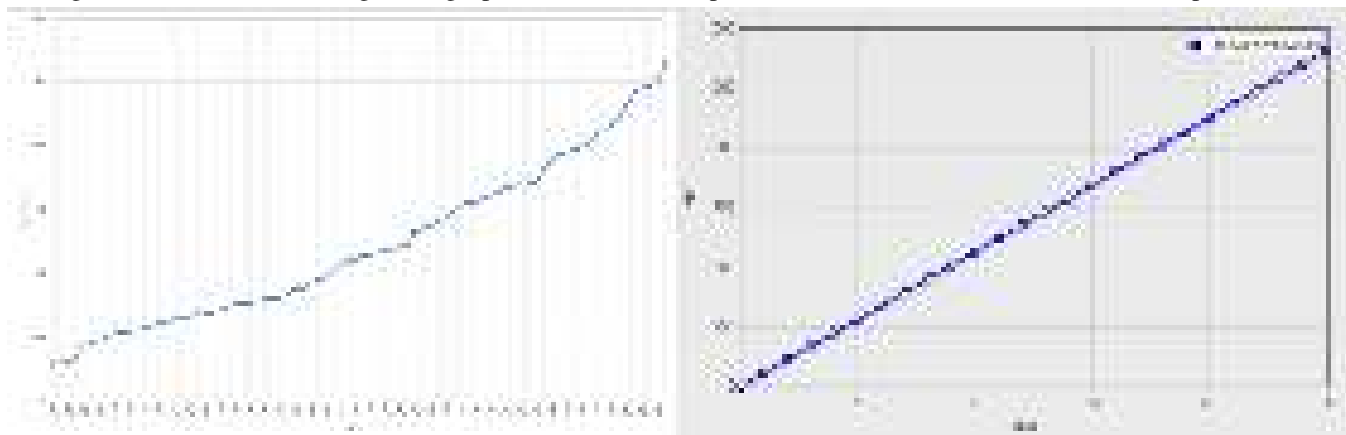


Fig. 6. Graph of wind turbine speed versus wind speed processed and calculated.

The insignificant non-linearity of the graph in the figure to the left is explained by the influence of the electrical load on the generator operation, which, in turn, gives an additional load to the wind wheel. However, it can be clearly seen on the graphs that the data obtained correspond to the calculated parameters.

CONCLUSIONS

The experiment conducted on the created 400 W wind turbine installed unit confirmed the validity of the mathematical model used in the "Aerodinama" software package [7]. The reliability of the model is confirmed by a comparison of the calculated and experimental performance data obtained during the tests of the wind power installation.

The errors of the mathematical model are associated with the neglect of additional parameters that affect the operation of the wind turbine. These parameters include the effect of

the consumption of electric energy on the rotational speed of the wind wheel.

REFERENCES

- [1] Y. Shefter, "Wind power units", Moscow: Mechanical engineering, p. 49, 1972.
- [2] J. F. Manwell, J. G. McGowan, A. L. Rogers "Wind Energy Explained: Theory, Design, and Application Second Edition", John Wiley & Sons, Ltd, p. 689, 2009.
- [3] Y. Fateev "Wind engine and wind turbine", OGIZ-SELKHOZGIS, p. 79, 1948.
- [4] A. Yakovlev, M. Zatuchnaya, V. Merkushev and V. Pashkov, "Calculation and design of wind power installations with a horizontal-axis wind turbine and a permanent-magnet synchronous generator", Tutorial on course design, Kharkiv: National Aerospace University "Khark. Aviat. Un-ty", p. 125, 2003.
- [5] V. Krivtsov, A. Oleynikov, A. Yakovlev "Inexhaustible energy Book 1 Wind power generators", Coursebook, Kharkiv: National Aerospace University "Khark. Aviat. Un-ty", Sebastopol: Sebast. nat. tech. Un-ty, p. 400, 2003.

- [6] A. Yakovlev, M. Zatuchnaya, "Construction of power characteristics of wind turbines with optimal profiles of working blades", Renewable energy of the XXI century: materials of the 10th anniversary international scientific conference, Crimea, Mykolaivka, 14–18 Sept. 2009, pp. 255–260, 2009.
- [7] S. Korneliuk. "Aerodinama – mathematical model of the wind turbine WPI", "Lighting engineering and electric power" №3 (50) 2017. pp. 42 – 48, 2017.
- [8] S. Korneliuk "Aerodinama" [Electronic source] – URL: <https://seiger.pp.ua/aerodinama/847ec82302afca5ffb262d0d38d63ff9>
- [9] Sabinin G.KH. The problem of using wind energy. Part 6. Theory and aerodynamic calculation of windmills. Proceedings Central Aerohydrodynamic Institute issue number 104-Moscow, 1931. - P. 70.

Експериментальне підтвердження математичної моделі вітротурбіни ВЕУ

С.І. Корнелюк
ХНУМГ ім. О.М. Бекетова,
Україна

П. Дмитрієв
Междуреченськ,
Росія

Д.В. Тугай
ХНУМГ ім. О.М. Бекетова,
Україна

Експериментальне підтвердження математичних моделей, це один з аспектів наукового процесу. У даній статті розглянута постановка експерименту з вітряною турбіною, яку побудовано з використанням математичної моделі, описаній в [7, 9] і реалізованої у вигляді програмного комплексу "Аеродинама" [8].

Програмний комплекс "Аеродинама", реалізує розрахунок згідно "Теорії реального вітряка" представленої проф. Г.Х. Сабінін в [9]. Згідно результатів розрахунку було отримано геометричні параметри турбіни, а також отримані конструкторські креслення. Далі було виготовлено та встановлено в реальних природних умовах фізичну модель вітротурбіни. Для ВЕУ було обрано та виготовлено генератор на постійних магнітах, потужністю 400 Вт. ККД генератора прийнято 80%. Для ротора ВЕУ використовувався трилопатевої гвинт з профілем лопатей BRUXEL 36. Середньорічна швидкість вітру прийнята як 3,5 м/с, а максимальна - 25 м/с.

Для контролю показників ВЕУ, було розроблено логер на базі плати мікроконтролера Arduino Nano версії 3.0 і набору декількох датчиків. А саме датчика Хола KY-003 Hall, датчика ACS712 30A і датчика DS18B20. Швидкість вітру вимірювалася за допомогою аналогового анемометра з електромагнітної системою, і контролювалася за рівнем напруги на виході. Поточні дані збиралися на карті пам'яті і дублювалися на дисплей. Крок вимірів - 1 сек. Відстежувалися такі дані: швидкість вітру; оберти робочого вала ВЕУ; напруга на виході блоку випрямляча; струм на виході випрямляча; потужність і температура генератора.

Зібрані дані було імпортовано в програмний комплекс MS EXCEL. Результати обробки даних представлено у вигляді графіків.

Отримані експериментальні дані підтверджують точність алгоритму, обраного для розробки математичної моделі.

Ключові слова — аеродинама, вітрова турбіна, лопать, математична модель, алгоритм розрахунку, експеримент, логер.

Застосування сучасних методів розрахунків електричних систем

К.В. Ягуп

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
Україна

E-mail: kata3140@gmail.com

Анотація – розкрито сутність методу змінних стану, який дозволяє наочно та раціонально описувати електромагнітні процеси в електричних системах. Такий підхід дає можливість ознайомитись із основними законами, що застосовуються в електричній інженерії, та ознайомитись із сучасними математичними методами, які можна реалізувати за допомогою комп'ютерних програм. Змінні стану цього методу - це напруги конденсатора та струми в індукторах. Продемонстрований у статті метод реалізується у такій послідовності дій: спочатку формується орієнтований графік, з якого вибирається дерево, на основі якого формується топологічна матриця "контур-гілка". Використовуючи сформовану матрицю раціональним способом, формується система топологічних рівнянь, яка описує відносне розташування електричних елементів у системі. Отримана система доповнюється системою компонентних рівнянь, що характеризують поведінку кожного елемента, взятого окремо від системи. Наступним кроком розглянутого методу є формування сигнального графу. Вузлами такого графу є струми та напруги, а передачі гілок відповідають коефіцієнтам у топологічному та компонентному рівняннях. На основі графу сигналу складається візуальна модель в MATLAB. Наступні блоки були використані для формування моделі: суматори напруги та струму зображення, множники, підсилювачі та константи для відображення системних параметрів, інтеграторів, віртуальних осцилоскопів для моніторингу електромагнітних процесів в електричній системі. Для поліпшення сприйняття матеріалу в статті наводиться приклад, який дав можливість раціонально скласти необхідну систему рівнянь і чітко сформувати граф сигналу електричної системи четвертого порядку, і сформована модель дозволила отримати діаграми часу змінних стану, які демонструють адекватність моделі.

Ключові слова - метод змінних стану, візуальна модель, сигнальний граф, топологічні та компонентні рівняння.

I. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Дослідження електромагнітних процесів в електричних системах представляє собою складну задачу при проектуванні та аналізі електротехнічних комплексів, яка пов'язана із високими порядками таких систем [1–4]. Такі обставини представляють ряд труднощів при навчанні студентів, які пов'язані із сприйняттям та впорядкуванням інформації стосовно розрахунків електричних систем. Комп'ютеризація навчального процесу вимагає нових сучасних підходів, які з однієї сторони надають корисні навички, а з іншої звільняють студентів від значної кількості розрахунків, які можуть виконувати комп'ютерні програми. Універсальним способом дослідження електричних

систем є використання візуального моделювання за допомогою сучасних комп'ютерних програм MATLAB/Simulink або VisSim [5 – 10], що базується на формуванні сигнальних графів електричних систем.

II. МЕТА СТАТТІ

Розкриття сутності методу змінних станів для формування візуальної моделі, що досліджує електромагнітні процеси в електричних системах для закріплення і поглиблення знань студентів вищих навчальних закладів.

III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Електромагнітні процеси, що протікають в електричних системах описуються топологічними і компонентними рівняннями, які разом утворюють повну систему рівнянь. Топологічні рівняння базуються на законах Кірхгофа і описують взаємне розташування елементів в системі. Компонентні рівняння описують зв'язок між струмом та напругою в електричному елементі, взятому окремо від системи. Таким чином, до компонентних рівнянь відносять рівняння, складені за законом Ома, та диференціальні або інтегральні рівняння, що описують процеси в реактивних елементах.

Для формалізації складання повної системи рівнянь існує раціональний підхід, оснований на формуванні орієнтованого графу електричної системи з подальшим отриманням топологічної матриці «контур-вітка» або F-матриці.

Орієнтований граф формується заміною кожного двополусного елемента ребром із відповідним позначенням електричного елемента, що знаходиться між відповідними вузлами електричної схеми. Наступним кроком є вибір дерева в графі. Деревом називається зв'язана сукупність ребер, що охоплює всі вузли і не утворює жодного контуру. Ребра, які увійшли до дерева називаються вітками і зображуються суцільними лініями, а всі інші – називаються зв'язками і зображуються пунктирними лініями. Існує пріоритет включення електричних елементів до віток чи зв'язків в електричних системах: до віток обов'язково входять джерела напруги та конденсатори, а до зв'язків – джерела струмів та індуктивності. Резистори можуть бути включені і до віток і до зв'язків.

На основі орієнтованого графу складається топологічна матриця «контур-вітка», в якій строки відповідають зв'язкам дерева, а стовпці – віткам. Формування матриці виконується шляхом утворення особливих контурів в дереві, тобто доповненням контуру єдиним

зв'язком. Якщо напрямок вітки співпадає із напрямком зв'язка, то в комірці матриці необхідно записати +1, якщо напрямки протилежні то -1, якщо вітка не увійшла в контур, що розглядається, то записують 0 або залишають комірку пустою.

Утворена матриця «контур-вітка» надає можливість сформулювати систему топологічних рівнянь раціональним способом із використанням наступних систем рівнянь, записаних у матричній формі:

$$\begin{aligned} V^{36} &= -FV^6; \\ I^6 &= F^T I^{36}. \end{aligned} \quad (1)$$

де V^{36} та I^{36} – відповідно вектори напруг та струмів зв'язків;

V^6 та I^6 – вектори напруг та струмів віток; F^T – транспонована матриця «контур-вітка».

Для отримання повної системи, систему топологічних рівнянь доповнюють системою компонентних рівнянь.

Зазвичай для вирішення такої системи застосовується метод змінних стану [7]. Однак перетворення в системі рівнянь для отримання рівнянь у нормальній формі для застосування методу змінних стану можуть бути громіздкими та мати складнощі.

Для спрощення і наочності має сенс скласти граф в основній формі [6]. Сутність такого підходу полягає в тому, що площину поділяють на чотири квадранта. В верхньому лівому квадранті зображуються вузли, що відповідають напругам віток, в правому верхньому квадранті – вузли, що відповідають напругам зв'язків, в нижньому лівому квадранті – вузли, що відповідають струмам віток, в нижньому правому квадранті – струми, що відповідають струмам зв'язків. По горизонталі вузли з'єднуються по законам Кірхгофа, по вертикалі – за допомогою компонентних рівнянь. Вузли, що відображають струм джерела напруги та напругу на джерелі струму є виродженими вузлами і можуть бути не відображені на графі, адже вони не несуть корисної інформації.

На візуальній моделі вузли, що відповідають електричним величинам зображуються за допомогою обчислювальних блоків суматорів, джерела енергії і параметри системи, а саме опори резисторів, індуктивності котушок та ємності конденсаторів відображаються за допомогою обчислювальних блоків констант. Для підвищення порядку похідних використовуються обчислювальні блоки інтегратори. Для відображення математичних операцій ділення та множення застосовуються блоки помножувачі. Результати роботи моделі – часові діаграми змінних стану, відображаються на віртуальних осцилографах Scope.

Для наочності метода розглянемо викладену методику на прикладі електричної системи четвертого порядку, що складається з джерела напруги, джерела струму, двох конденсаторів, двох котушок індуктивностей і двох резисторів (fig. 1).

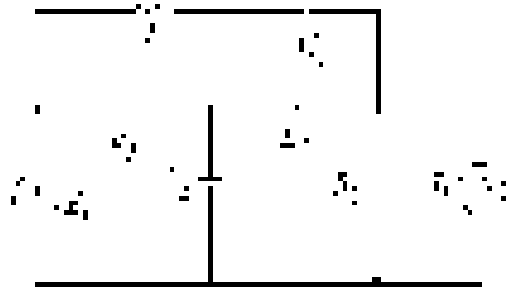


Fig. 1. Електрична система четвертого порядку

Вибране дерево має чотири вітки і чотири зв'язки (fig. 2).

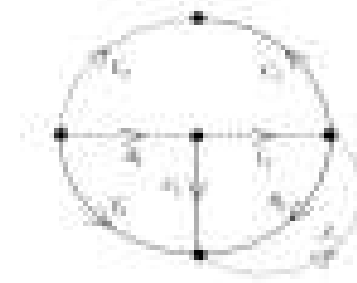


Fig. 2. Дерево графа електричної системи

За допомогою вибраного дерева сформуємо F-матриця «контур-вітка».

	E_1	C_1	C_2	R_2
R_1	-1	+1		
L_1		-1		+1
L_2	-1		-1	+1
J_1				+1

Після виконання матричних операцій множення згідно з формулами (1) отримаємо систему топологічних рівнянь, що складається з чотирьох рівнянь, складених за II законом Кірхгофа і чотирьох рівнянь за I законом Кірхгофа

$$\begin{aligned} I_{E1} &= -I_{R1} - I_{L1}; \\ I_{C1} &= I_{R1} - I_{L1}; \\ I_{C2} &= -I_{L2}; \\ I_{R2} &= I_{L1} + I_{L2} + I_{J1}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{R1} &= V_{E1} - V_{C1}; \\ V_{L1} &= V_{C1} - V_{R2}; \\ V_{L2} &= V_{E1} + V_{C2} - V_{R2}; \\ V_{J1} &= -V_{R2}; \end{aligned}$$

Сигнальний граф, що відповідає отриманій системі рівнянь, в основній формі має в кожному квадранті

три залежних вузли, що відображають електричні величини (fig. 3). Вітки по горизонталі, які мають передачі +1 для наочності зображуються суцільною лінією,

а ті, що мають передачі -1 – пунктирними лініями. Вузли I_{E1} і V_{J1} є виродженими і тому не зображені на графі.

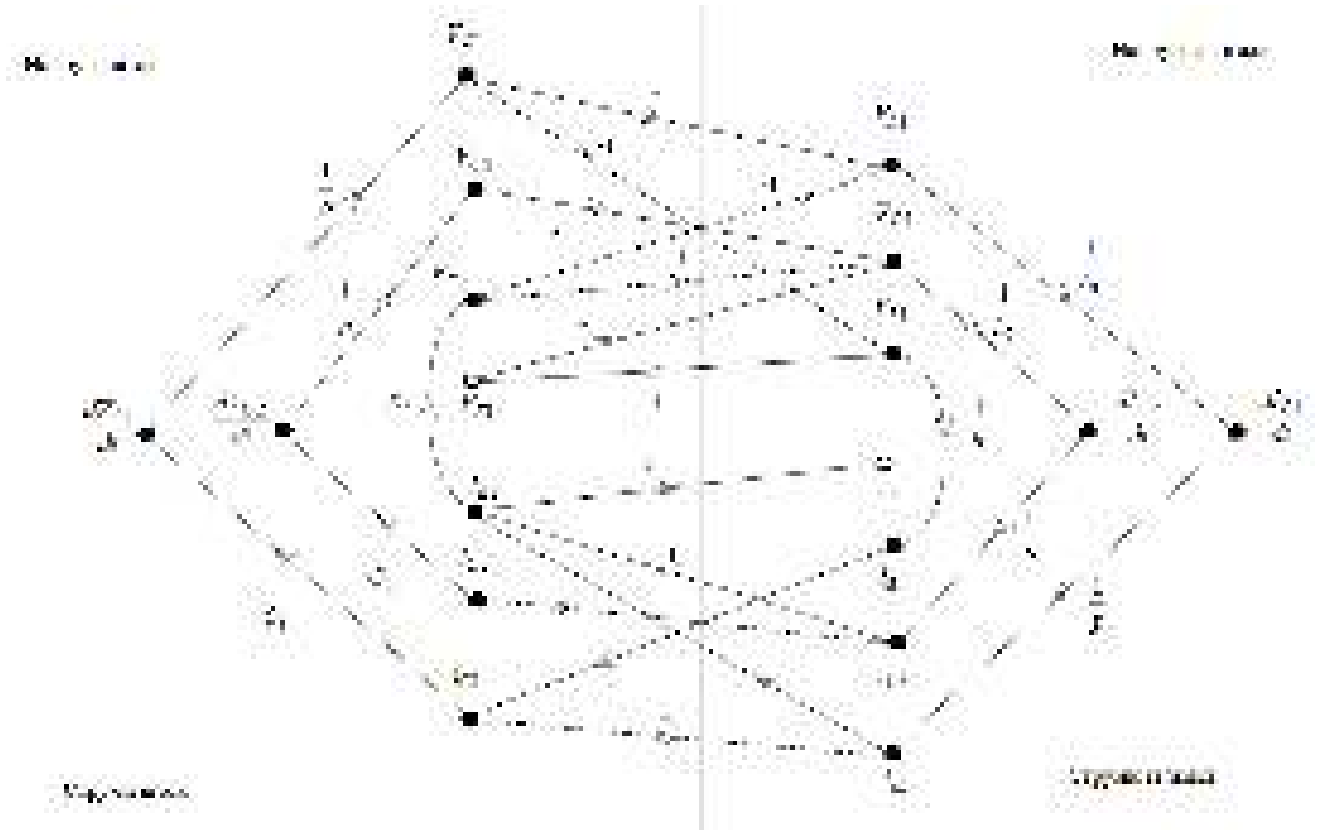


Fig. 3. Граф електричної системи в основній формі

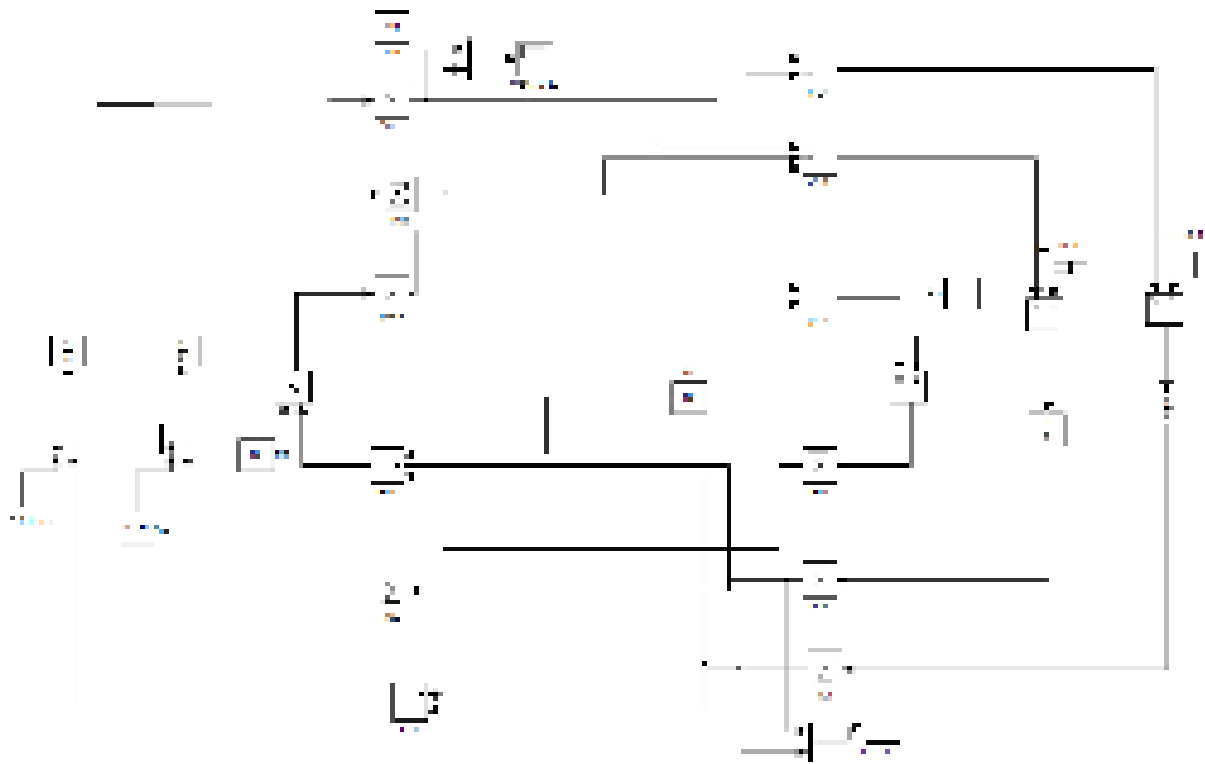


Fig. 4. Візуальна модель електричної системи четвертого порядку

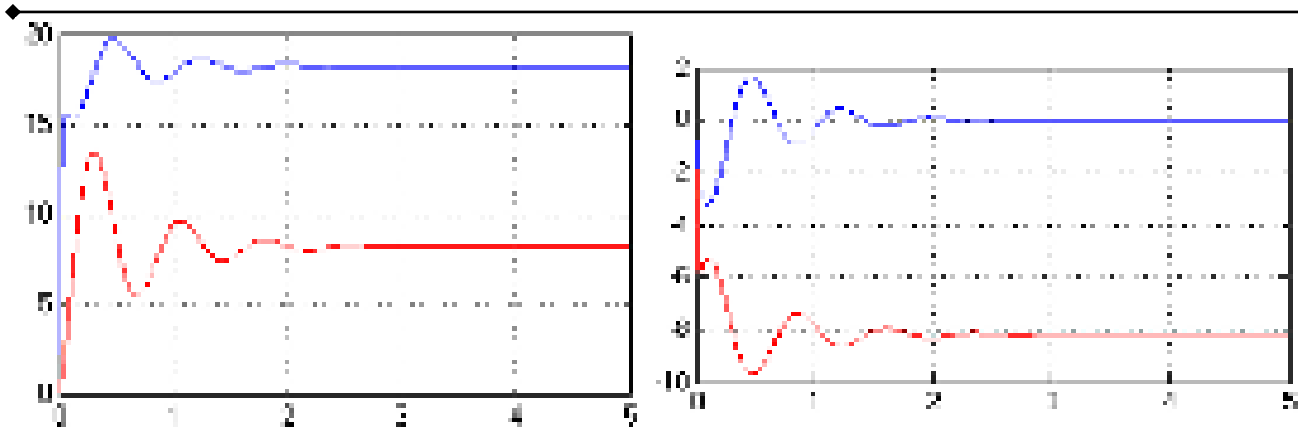


Fig. 5. Часові діаграми змінних стану

Візуальна модель електричної системи, що розглядається, сформована за допомогою обчислювальних блоків пакету SIMULINK програми MATLAB (fig. 4). Кожний блок має позначення, що відповідає елементам сигнального графу.

Представлені результати моделювання напруги на конденсаторах VC1, VC2 та струми в індуктивностях iL1, iL2 (fig. 5) демонструють тривалість перехідного процесу 2 сек.

IV. ВИСНОВКИ

1. Візуальне моделювання представляє собою прогресивний метод, який дозволяє із використанням комп'ютерних програм вирішувати диференціальні рівняння практично будь-яких високих порядків. Його наочність значно полегшує сприйняття інформації та її впорядкування студентами електротехнічних спеціальностей.

2. Сигнальні графи надають можливість формалізувати та упорядкувати вирішення електричної системи будь-якого порядку.

3. Використання сигнальних графів в формі основного графу дозволяє обійтися без виводу рівнянь стану, є простим та наочним.

REFERENCES

- [1] Malaric R. Instrumentation and Measurement in Electrical Engineering. BrownWalker Press. Boca Raton, Florida. USA. 2011. 253 p. [in English].
- [2] Francesco Lattarulo (2007). Electromagnetic Compatibility in Power Systems. Imprint Lattarulo, 328. [in English].
- [3] H. Wayne Beaty (2017). Handbook of electric power calculations. MCGRAW-HILL, 529. [in English].
- [4] Don Johnson (2008) Fundamentals of Electrical Engineering I Community College, Higher Education 364. [in English].
- [5] Dyakonov V.P. (2004) Visual mathematical modeling VisSim + Mathcad + MATLAB. M.: Solon-Press. 384 p.
- [6] Maison S., Zimmerman G. (1963) Electronic circuits, signals and systems. Moscow 620 p.
- [7] Yagup V. G., Yagup K. V. Prior to the method of visual modeling of electrical systems. International magazine "Svitlotehnika and electricity". – 2019. – VIP. 51, No. 01. – P. 32 – 35.
- [8] Roland Priemer (2013). MATLAB for Electrical and Computer Engineering Students and Professionals: With Simulink, University of Illinois at Chicago, 335.
- [9] Sergey N. Makarov, Reinhold Ludwig, Stephen J. Bitar (415). Practical Electrical Engineering Springer, 2016
- [10] Zhang Lili, Wu Yan. The Simulation Application of MATLAB in the Electrical Engineering and Its Automation [J]. Computer CD Software and Application, 2012, 16:63-64.

Application of modern methods of calculation of electrical systems

K. Yagup

O.M. Beketov National University of Urban in Kharkiv,
Ukraine

The essence of the method of state variables, which allows to describe clearly and rationally the electromagnetic processes in electrical systems, is revealed in the article. This approach gives students the opportunity to gain knowledge of the basic laws used in electrical engineering and to get acquainted with modern mathematical methods that can be implemented with the use of computer programs. The state variables in this method are the capacitor voltages and the currents in the inductors. The method demonstrated in the article is implemented in the following sequence of actions: first, an oriented graph is formed, from which a tree is selected, on the basis of which a topological matrix "contour-branch" is formed. Using a formed matrix in a rational way, a system of topological equations is formed, which describes the relative location of electrical elements in the system. The resulting system is complemented by a system of component equations that characterize the behavior of each element taken separately from the system. The next step of the method

under consideration is the formation of a signal graph. The nodes of such a graph are currents and voltages, and the transmissions of the branches correspond to the coefficients in the topological and component equations. Based on the signal graph, a visual model in MATLAB is compiled. The following blocks were used to form the model: voltage and current image adders, multipliers, amplifiers and constants to display system parameters, integrators, virtual oscilloscopes to monitor electromagnetic processes in the electrical system. To improve the perception of the material in the article, an example was given, which made it possible to rationally draw up the necessary system of equations and to clearly form a signal graph of the electric system of the fourth order, and the formed model allowed to obtain time diagrams of state variables, which demonstrate the adequacy of the model.

Keywords - state variables method, visual model, signal graph, topological and component equations.

Performance evaluation of 108 KW grid connected solar photovoltaic System

Haidar Gafar Abugoukh

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov
Ukraine

E-mail: haidarjokh2004@yahoo.com

Annotation - Solar power has emerged as the fastest growing energy generation technology globally over the past decade, mainly due to large scale adoption of the technology by utilities and private sector. Increasing awareness of climate changes, energy security needs facilitation from government decline in solar energy costs and emergence of new and innovative business are some of the prime drivers for the large scale development and deployment of the solar energy. Importance of Solar energy Solar energy is an important part of life and has been since the beginning of time. Increasingly, man is learning how to harness this important resource and use it to replace traditional energy sources. Solar Energy Is Important in Nature: Solar energy is an important part of almost every life process, if not, all life processes. Solar Energy Is Important as Clean Energy: Since solar energy is completely natural, it is considered a clean energy source. It does not disrupt the environment or create a threat to Eco-systems the way oil and some other energy sources might. It does not cause greenhouse gases, air or water pollution. This study aims to design and evaluate the grid-connected solar photovoltaic roof-top system. A design and feasibility study of rooftop solar photovoltaic system project is conducted using tools- PVsyst, The performance of the system was simulated using PVsyst software and the results were analyzed. The analyses of the simulation results show that the Maximum total energy generation of 18.23 MW h was observed in the month of May and lowest total energy generation of 10.10MWh was observed in the month of December. The utilization of roof building will be increasing the amount of solar energy injected into grid. The utilization of roof building will be increasing the amount of solar energy and achieving Dubai clean energy strategy 2050 goals which aims to provide seven per cent of Dubai's power through clean energy by 2020, 25 per cent by 2030 and 75 per cent by 2050.

Keywords – Grid system, Photovoltaic (PV), Performance ratio.

I. INTRODUCTION

Nowadays, renewable energy resources play an important role in replacing conventional fossil fuel energy resources. Photovoltaic energy is one of the very promising renewable energy resources which grew rapidly in the past few years.

Renewable energy resources play an important role in electric power generation. There are various renewable resources which is used for electric power generation, such as solar energy, wind energy, geothermal etc. Solar Energy is a good choice for electric power generation, since the solar energy is directly converted into electrical energy by

solar photovoltaic modules. These modules are made up of silicon cells. When many such cells are connected in series we get a solar PV module. The current rating of the modules increases when the area of the individual cells is increased, and vice versa. When many PV modules are connected in series and parallel combinations we get a solar PV array, which is suitable for obtaining higher power output.

The electricity consumption in the United Arab Emirates (UAE) has increased by 12% per annum from about 60,000 GWh in 2006 to 85,000 GWh in 2010. The electricity peak demand in Dubai is increase from 3,228MW in 2004 to 8,507MW in 2018 . To meet this increasing energy demand, the Dubai relies heavily on gas and oil. As a matter of fact, 73% of the generation capacity is based on gas turbine generators (7,448MW), and 25% is based on steam turbine generators (2,542MW). As a result, the Dubai has a high ecological footprint per capita, and it actually had the world's highest in 2018 (figure 1). The government of Dubai has recently committed to have (1000MW) 1% of its generation capacity from renewable resources and mainly from solar energy by the year 2020 and 5000MW by 2030.

The Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Park is the largest single-site solar park in the world, with a planned capacity of 1,000MW by 2020, and 5,000MW by 2030, the solar park will use a range of photovoltaic and concentrated solar power technologies to provide clean energy to the citizens and residents of Dubai.

• .SOLAR POWER IN THE UAE

The UAE (United Arab Emirates) is in the 'sunbelt region' in which solar irradiation levels (the amount of solar radiation which falls on the Earth) are very high. This means that a solar panel in the UAE can potentially produce double the electrical energy compared to a country with relatively lower irradiation levels such as Germany [5]. The UAE is also in a region where bad weather rarely affects solar power production, making it an ideal location for solar installations. Being in a region with nearly 365 days of sunlight a year, the UAE can easily become one of the largest producers of solar energy per capita.

The UAE is also part of a region rich in fossil fuels. Since the 1970s, the country underwent rapid economic growth powered by readily available oil and gas, and has attained high living standards with a per capita income amongst the highest in the world. However this also led to very high per capita energy consumption as cities grew

and became very energy intensive. When the governments of the UAE and other GCC (Gulf Cooperation Council) countries realized that their conventional energy reserves were rapidly depleting they set out to make their economies less reliant on fossil fuel-based energy and more on renewable energy, helping the UAE to achieve energy security.

The development of large scale solar power installations as well as renewable energy goals for 2020 and 2030 also reflect the UAE's ambition to move forward.

System Description

The system description is given in table kWp rooftop system is chosen. The PV cell material chosen is monocrystalline because of the higher efficiency. The system is of fixed stand type and can sufficiently power a household of a small family.



Fig. 1. Dubai Electricity and water authority (DEWA) statistics 2018

The grid connected PV system, consists of solar arrays to absorb and convert sunlight into electricity, a solar inverter to convert DC current to AC current, a mounting, cabling and other electrical accessories. Schematic of the grid connected PV system is shown in Fig. 2. The main component for grid-connected solar PV power systems comprise of:

Solar PV modules, connected in series and parallel, depending on the solar PV array size, to generate DC power directly from the sun's intercepted solar power. Maximum tracker (MPPT), making sure the solar PV modules generated DC power at their best power output at any given time during sunshine hours Grid-connected DC/AC inverter, making sure the generated and converted AC power is safely fed into the utility grid whenever the grid is available .Grid connection safety equipment like DC/AC breakers fuses etc., according to the local utility's rules and regulations

II. DESCRIPTION OF THE SOLAR PV-GRID SYSTEM

A grid –connected PV system consists of solar panels, inverters, a power conditioning and grid connection. It has effective utilization of power that is generated from solar energy as there are no energy storage losses. The grid –connected PV system supplies the excess power, beyond consumption by the connected load to the utility grid through smart meters.

I. Geographical location of the site:

The solar plan located in Dubai at longitude of 55.28 E. Latitude 25.24 N.

II. Specification of solar panel:

The solar panels mounted at the building are of 275W_p rating and made up of polycrystalline. These panels have an efficiency of 16.8% and are of fixed type. Polycrystalline panel ratings are open circuit voltage (V_{oc}) of 38.1 V and short circuit current (I_{sc}) of 9.27 A. It has a maximum operating temperature up to+ 80° centigrade.

• Creating a string of modules

A string comprises a number of PV modules connected in series. The electrical characteristics of PV modules connected in series to form a string are the same as PV cells connected in series to form a module: meaning the output voltage of the string will be the sum of the output voltages of all the modules and the output current of the string will be the lowest output current of any module.

Modules can also be connected in parallel. In this case the current output of the modules will add instead of the voltage. The output voltage is that of a single module.

The installation of the solar panel included is 3 inverters and 401 PV modules connected with 19 strings in parallel and 116 modules in series.

- Inverter #1 (2X24, 2X24, 2X18, 1X15).
- Inverter #2 (2X24, 2X22, 2X20)
- Inverter #3 (2X17, 2X24, 1X18, 1X22)

• Power conditioning units:

Inverter converts DC power into AC power. The inverter power rating is 36 kW. PV voltage of 620 V and supply DC current 22 A is fed as input to inverter. The output AC voltage and current from inverter are 400 V and 57, 8 A respectively. The output of the inverter is synchronized automatically with same voltage and frequency as that of grid.



Fig. 2. Direct normal Irradiation in UAE

PV Output Modeling:-

For the calculated utilizable roof area the energy production from the installed solar panels has been estimated with the help of PVsyst software employing the Dhahran weather conditions.

Specimen energy yield calculations for the academic buildings are provided in Figure 6 and Table 6.

Figure 7 specifically provides a detailed flow diagram of PV energy production from the buildings, while also highlighting the involved losses at various stages.

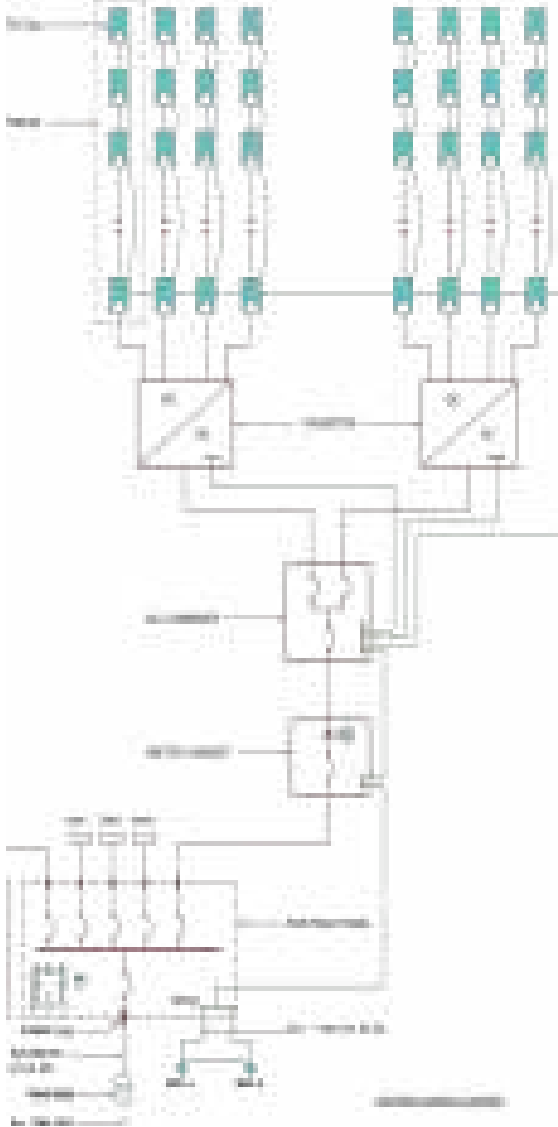


Fig. 3. Schematic layout of installed system.

III. THE SIMULATION USING PV SYST

The maximum energy is generated in the month of May (18.23MW h) and minimum energy is in the month

of December (10.10 MW h). The total amount of energy injected into grid for the year 177.21 MW h.

Annual global horizontal irradiation is 2121, 0 kW h/m². Global Incident energy that is incident on the collector plane annually is 2186.5 kW h/m². Total energy obtained from the output of the PV array is 182,96 MW h.

The annual average performance ratio is 73, 5%.

- Normalized productions:

The LC value is recorded as 1.44kWh/kW p/day and the LS value is recorded as 0.14 kW h/kW p/day in the same way YF is given as 4.4 kW h/kW p/day.

TABLE I. OUTPUT RESULTS FOR THE BUILDINGS:-

No	System Parameter Output	QTY
1	Number of PV modules	401
2	P nom. total .KWp	110
3	Number of inverters	3
4	Inverters Pnom total KW_AC	108
5	Produced Energy MWh/year	177.2
6	Specific production KWh/KWp/year	1607
7	Performance ratio	73.3%

TABLE II. SOLAR PANEL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rated Power (P max)	275 W
Voltage at P max (V mp)	31.1 V
Current at P max	8.82 A
Short Circuit Current (I sc)	9.27 A
Open Circuit Voltage (V oc)	38.1 V

- Loss diagram:

The global horizontal irradiance is 2121 kW h/m². The effective irradiation on the collector plane is 2007 kW h/m². Therefore, the loss in energy is 3.2%. The solar energy incident on the solar panels will convert into electrical energy. After the PV conversion, the nominal array energy is 221,6MWh. The efficiency of the PV array is 16.82% at standard test condition (STC). Array virtual energy obtained is 183, 0 MW h. After the inverter losses the available energy obtained at the inverter output is 177,2MWh.

- CO₂ emission reduction

As the PV systems do not require fossil fuels to generate electricity, their life-cycle CO₂ emissions are extremely low compared to electricity generated using conventional power plants. Therefore, the solar energy conversion using PV systems will result in a substantial reduction of CO₂

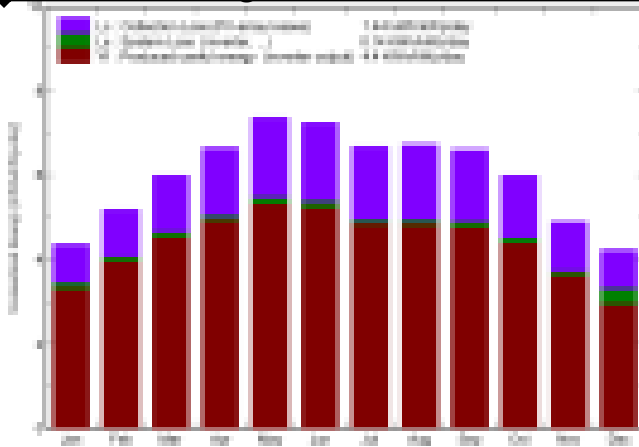


Fig. 4. Normalized Production for the building

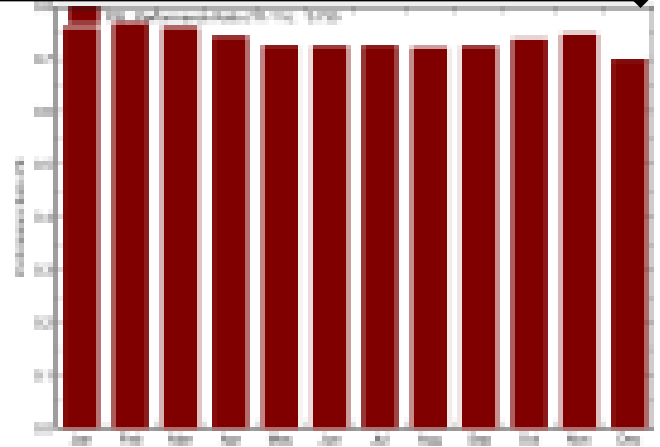


Fig. 5. Performance Ratio PR

TABLE III. BALANCES AND MAIN RESULTS

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	123.8	48.4	19.70	135.2	123.5	11.90	11.32	0.759
February	135.6	55.2	20.90	145.0	132.6	12.57	12.27	0.768
March	178.3	73.5	23.20	185.4	170.2	15.91	15.53	0.760
April	197.0	82.5	27.00	199.4	183.4	16.74	16.33	0.743
May	229.1	91.5	30.80	227.9	210.0	18.70	18.23	0.725
June	220.4	95.4	32.80	217.1	199.7	17.79	17.35	0.725
July	209.0	107.6	34.30	206.8	189.8	16.95	16.54	0.725
August	207.2	97.4	34.60	208.4	191.6	16.98	16.56	0.721
September	192.7	77.1	32.20	198.0	182.3	16.22	15.81	0.724
October	175.0	61.0	29.30	185.5	170.7	15.47	15.09	0.738
November	134.1	48.3	25.50	146.7	133.8	12.36	12.08	0.747
December	118.8	46.2	21.89	131.2	119.3	11.34	10.10	0.698
Year	2121.0	884.1	27.72	2186.5	2007.0	182.96	177.21	0.735

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

DiffHor Horizontal diffuse irradiation EArray Effective energy at the output of the array

T Amb Ambient Temperature E_Grid Energy injected into grid GlobInc Global incident in coll. plane PR Performance

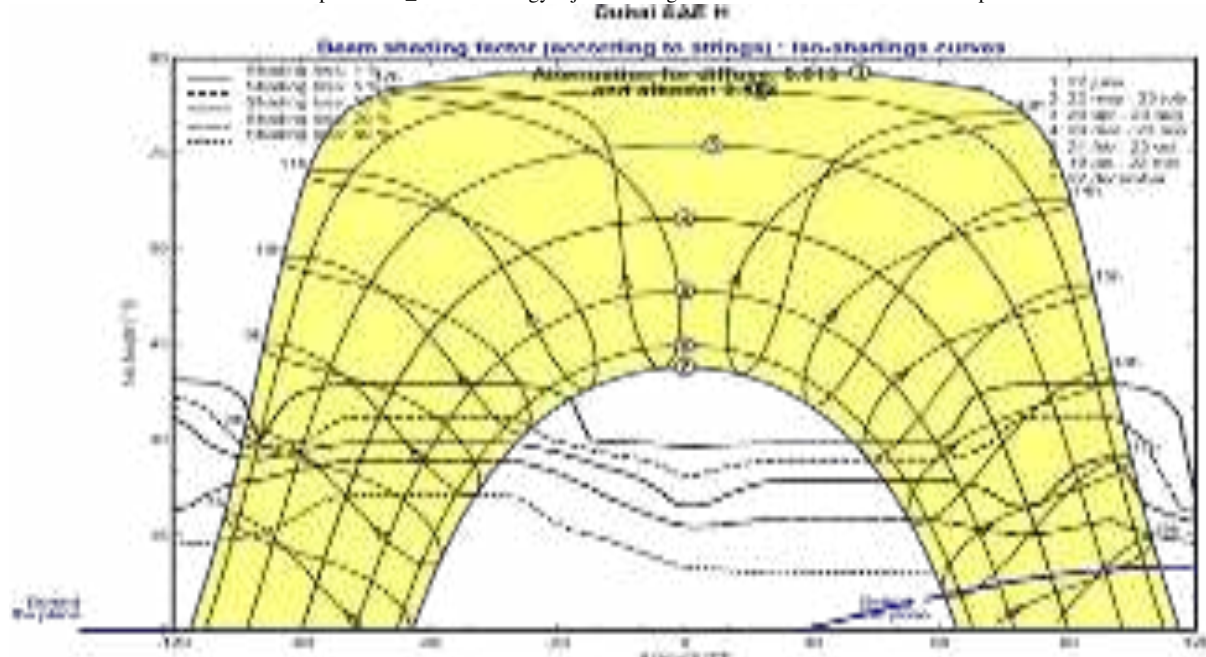


Fig. 6. Path of the Sun over a year.

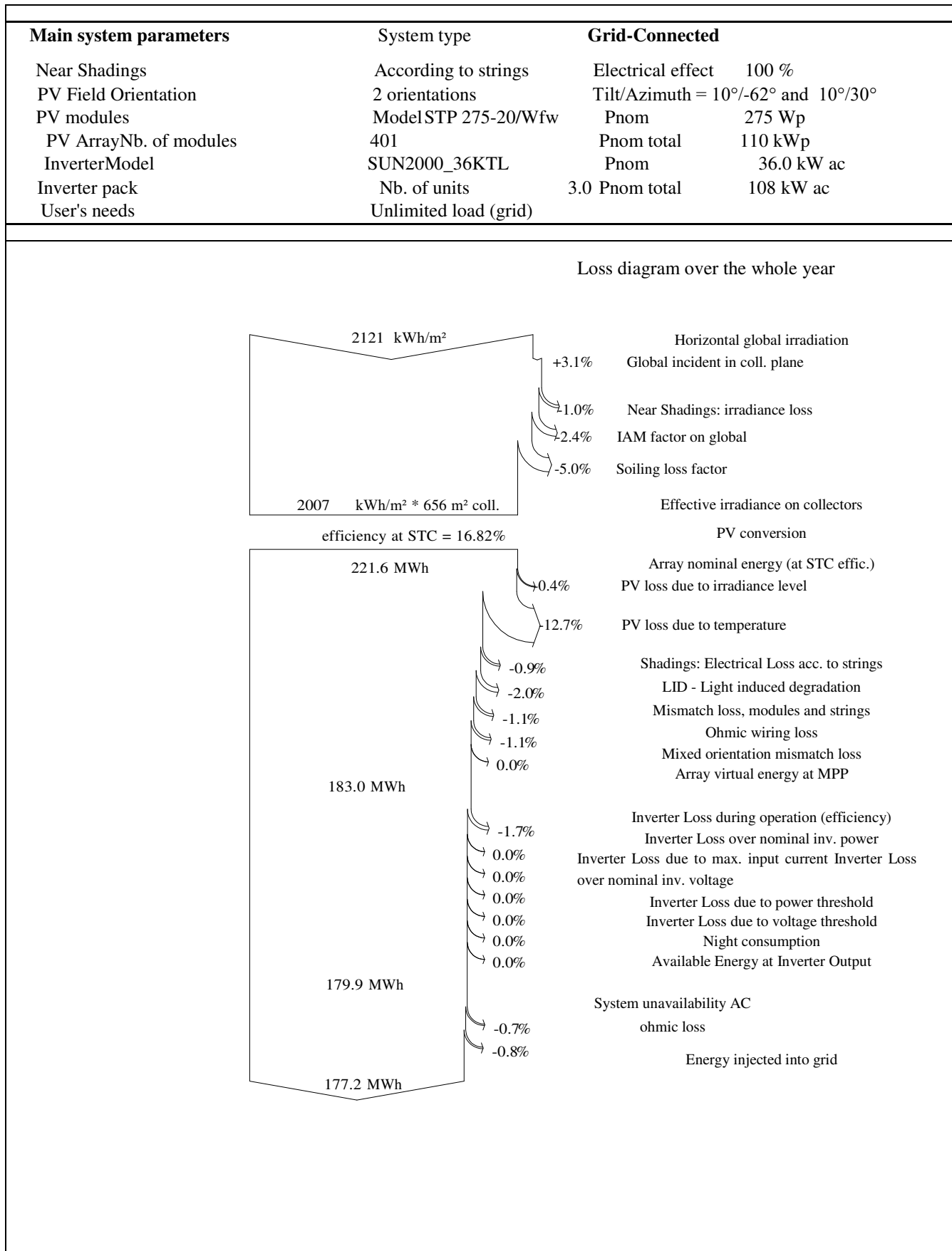


Fig. 7. Grid connected System : Loss diagram

emissions. The equivalent CO₂ emissions avoided by using the PV systems have been calculated based on the CO₂ emission resulting from the conventional electricity generation in the UAE, which is about 938 g CO_{2eq}/kWh [8]. The CO₂ emission from electricity generation in Western Europe is in the range 480–530g CO_{2eq}/kWh [9,10]. In addition, 671 g CO_{2eq}/kWh was reported for Hong Kong [11], 12 g CO_{2eq}/kWh for

Norway [10]. The difference in the amount of CO₂ emissions between these countries is due to various mixes in their electricity generation where renewable energy sources are used alongside conventional ones.

IV. CONCLUSION

A performance study of 108 KW peak grids connected solar photovoltaic power plant installed at Dubai was evaluated on annual basis. The following conclusions are drawn from the study.

- Maximum total energy generation of 18.23 MW h was observed in the month of May and lowest total energy generation of 10.10MWh was observed in the month of December. Geographical location, the weather and other atmospheric conditions at the installation site. The direction your panels face, the temperature they reach, the angle of tilt they are on, the amount of dust and shading they encounter all affect the ability of the system to perform at its peak level.

The utilization of roof building will be increasing the amount of solar energy injected into grid and achieving dubai clean energy strategy 2050 goals, which we have launched to turn Dubai into a global hub for clean energy and green economy and become the lowest carbon footprint in the world by 2050.

REFERENCES

- [1] Angelo Baggini University of Bergamo. "Handbook of Power Quality",
- [2] State of Energy Report Dubai 2014 www.dcce.ae/energyreport.
- [3] Central Electricity Regulatory Commission (2015) CERC, New Delhi.
- [4] Gan CK, Tan PH, Khalid S (2013) System Performance Comparison Between Crystalline and Thin-Film Technologies under Different Installation Conditions. IEEE Conference on Clean Energy and Technology 362-367.
- [5] Ahmed MM (2003) Design and Proper Sizing of Solar Energy Schemes for Electricity Production in Malaysia. National Power and Energy Conference (PECon) Proceedings 268-271.
- [6] Singh VP, Ravindra B, Vijay V, Bhatt MS (2014) A comparative performance analysis of C-Si and A-Si PV based rooftop grid tied solar photovoltaic systems in Jodhpur. 3rd International Conference On Renewable Energy Research And Applications 250-255..
- [7] D.V. Tugay, Yu.P. Kolontaevsky, S.V. Kotelevets, Ye.S. Savchuk "SOLAR POWER PLANT OPERATION MODELING IN SMART GRID ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM "
- [8] Ismail H. Altas and Adel M. Sharaf. "Solar Energy and PV Systems.
- [9] Endo E, Kurokawa K (1994) Sizing Procedure For Photovoltaic Systems. IEEE 1:1196-1199.
- [10] Zolkapli M, Al-Junid SAM, Othman Z, ManutA, MohdZulkifli MA (2013) HighEfficiency Dual-Axis Solar Tracking Development using Arduino. International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering and Environment 23-26.
- [11] M.M. A. Khan, M. Asif, E. Stach .Rooftop PV Potential in the Residential Sector of the Kingdom of Saudi Arabia
- [12] Muhammed A. Ahmed, and Sidra A. Shaikh -Solar Radiation Studies for Dubai and Sharjah, UAE- 2013.
- [13] Duffie JA, Beckman WA (2013) Solar Engineering of Thermal Processes (2nd edn). New York
- [14] Sulaiman SA, Hussain HH, NikLeh NSH, Razali MSI (2011) Effects of Dust on the Performance of PV Panels. World Academy of Science, Engineering and Technology 5: 2028-2033.
- [15] Green MA (1982) Solar cells: operating principles, technology and system applications. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, USA.
- [16] Cambell M (2008) The Drivers of the Levelized Cost of Electricity for UtilityScale Photovoltaics. Sun Power.
- [17] Solar Radiation Monitoring Laboratory, University of Oregon.
- [18] Tyagi AP (1988) Solar Radiant Energy Over India. Indian Meteorological Department, India.
- [19] Shongwe S, Hanif M (2015) Comparative Analysis of Different Single-Diode PV Modeling Methods. IEEE Journal of Photovoltaics 5: 938-946.
- [20] Villalva MG, Gazoli JR, Filho ER (2009) Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays. IEEE Transactions On Power Electronics 24: 1198-1208.
- [21] Developing renewable energy projects-A guide to achieving success in the Middle East- www.pwc.com/me -JAN.2016.
- [22] Saudi Arabia needs to utilize the building sector for PV application to help achieve its 9.5 GW
- [23] Renewable energy targets. The study examines the residential sector of Saudi Arabia for rooftop PV
- [24] Muhammad Asif-Urban Scale Application of Solar PV to Improve Sustainability in the Building and the Energy Sectors of KSA- 2016.
- [25] B. Sh.Kumar, K. Sudhakar. Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic Power plant in India.
- [26] M. Al Ali, M. Emziane. Performance Analysis of Rooftop PV Systems in Abu Dhabi-2013

Оцінка працездатності сонячної фотоелектричної системи, підключеної до електромережі потужністю 108кВт

Хайдар Джафар Абугоух

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Україна

Сонячна енергетика стала останнім десятиліттям найбільш швидко зростаючою технологією вироблення енергії в світі, головним чином завдяки широкомасштабному впровадженню цієї технології комунальними та приватним сектором.

Підвищення рівня обізнаності щодо зміни клімату, енергетична безпека потребує сприяння зменшенню урядом витрат на сонячну енергію та появи нового та інноваційного бізнесу - одні з головних рушій для масштабного розвитку та використання сонячної енергії. Важливість сонячної енергії Сонячна енергія є важливою частиною життя і є з початку часу. Все частіше людина вчиться використовувати цей важливий ресурс і використовувати його для заміни традиційних джерел енергії. Сонячна енергія важлива для природи: Сонячна енергія є важливою частиною майже кожного життєвого процесу, якщо ні, всіх життєвих процесів. Сонячна енергія важлива як чиста енергія: Оскільки сонячна енергія є повністю природною, вона вважається чистим джерелом енергії. Це не порушує навколишнє середовище і не створює загрози екосистемам, як це може призвести нафта та деякі інші джерела енергії. Він не викликає парникових газів, забруднення повітря чи води. Це дослідження має на меті розробити та оцінити підключені до мережі сонячні фотоелектричні системи на даху. Проект та техніко-економічне обґрунтування проекту сонячної фотоелектричної системи на даху проводяться за допомогою інструментів - PVsyst. Працездатність системи моделювали за допомогою програмного забезпечення PVsyst та аналізували результати. Аналіз результатів моделювання показує, що максимальне загальне вироблення енергії 18,23 МВт-год спостерігалось у травні місяці, а найнижча загальна генерація енергії - 10,10МВт-год - у грудні. Використання будівлі на даху буде збільшувати кількість сонячної енергії, що вводиться в електромережу. Використання споруди для даху буде збільшувати кількість сонячної енергії та досягати цілей стратегії Дубая з чистої енергетики Дубая на 2050 рік, яка має на меті забезпечити сім відсотків енергії Дубая за допомогою чистої енергії до 2020 року, 25 відсотків до 2030 року та 75 відсотків цент до 2050 року.

Ключові слова - сітка, фотоелектрична (PV), коефіцієнт продуктивності

Дослідження динамічних режимів електродвигуна шнекового типу

К.В. Ягуп

ХНУМГ імені О.М. Бекетова

Україна

E-mail: kata3140@gmail.com

Д.С. Стаценін,

ХНУМГ імені О.М. Бекетова

Україна

E-mail: oleggrin96@gmail.com

О.В. Грінін

ХНУМГ імені О.М. Бекетова

Україна

E-mail: oleggrin96@gmail.com

А.С. Дашенкова

ХНУМГ імені О.М. Бекетова

Україна

E-mail: anastasiya.daschenkova@kname.edu.ua

Анотація- в статті розглядається формування математичної моделі електромагнітних процесів в асинхронному двигуні із зовнішнім порожнистим масивним ротором, на поверхні якого розміщені вітки шнеку. Особливістю такого двигуна є поєднання стійких динамічних властивостей машини з масивним ротором і використання теплової енергії, яка виділяється з поверхні ротора, для нагрівання сипкого матеріалу, який переміщується шнеком. Математична модель електромагнітних перехідних процесів створюється за рахунок автоматичної генерації шляхом наслідування базових ознак від моделі узагальненої електричної машини. Такий підхід ґрунтується на положеннях теорії об'єктно-орієнтованого проектування. Принципи об'єктно-орієнтованого проектування дають можливість не тільки синтезувати методики проектування електромеханічних перетворювачів енергії (ЕМПЕ), але також розглядати їх математичні моделі в спадковій наступності базового класу і класів-нащадків. Це дозволить підійти до проектування як до комплексної задачі, що вирішує питання отримання параметрів і характеристик ЕМПЕ в сталих і перехідних режимах роботи. При цьому виконується автоматизоване генерування математичної моделі довільного виду ЕМПЕ на етапі проектування. Ідея полягає в формуванні математичної моделі конкретного виду ЕМПЕ зі складових компонентів базової моделі, керуючись принципами спадкування, ієрархії і поліморфізму. Перевага такого підходу полягає в нерозривному зв'язку проектування (в ході якого розраховуються параметри і коефіцієнти для ММ) і математичного моделювання при оптимізації ЕМПЕ в динамічних режимах роботи. При цьому будь-які зміни в самому проекті відразу ж надійдуть на вхід блоку ММ, що є головною умовою САПР при оптимізації ЕМПЕ. Перевагою об'єктно-орієнтованого підходу до моделювання є, на відміну від відомих методів класифікації ЕМПЕ, не тільки відображення картини видового різноманіття, а й супровід такої класифікації математичним описом. Комплексний об'єктно-орієнтований проект, що включає в себе як проектування, так і пов'язане з ним математичне моделювання перехідних процесів, дає можливість виконувати оптимізацію довільного виду ЕМПЕ, що є головним завданням САПР - отримання оптимального ЕМПЕ, що задовольняє поставленим обмеженням і має найкращі техніко-економічні показники.

Ключові слова - асинхронний двигун; масивний ротор; перехідні процеси; об'єктно-орієнтований; математичне моделювання.

1. КОНСТРУКЦІЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ШНЕКОВОГО ТИПУ

Електродвигуна шнековий (ЕДШ) поєднує в собі функції сушки, перемішування і транспортування сипучих матеріалів [1–9]. Конструкція ЕДШ представлена на рис. 1. Фотографії виготовленого ЕДШ з потужностями рухового модуля 55 кВт і гальмівного модуля 45 кВт показані на рис. 2.

ЕДШ складається з двох модулів, що працюють в режимі протиключення. Два статора, посаджені на загальний порожнистий вал, створюють зустрічно спрямовані електромагнітні моменти, забезпечуючи не-обхідну швидкість обертання полого циліндра загального ротора без застосування механічного редуктора. Ротор, що має шнекову навівку, крім функції переміщення робочого матеріалу одночасно забезпечує нагрів останнього.

Загальний ККД ЕДШ має високе значення, що забезпечує ефективну реалізацію принципів енергоресурсозбереження [10]. Створення ЕДШ і технологій на їх основі базується на ідеї поєднання в одно-му електромеханічному пристрої одночасно нагрівальних, що транспортують і змішувальних функцій, об'єднання теплової енергії і напрям останньої в зону переробки сировини [11]. В ЕДШ використовується конструкція порожнистого масивного ротора, який виконує одночасно функції ротора АД, нагрівача, виконавчого механізму та захисного корпусу. При цьому поверхня ротора охолоджується сировиною, що переробляється. Додатковим охолоджуючим агентом в ЕДШ може виступати повітря і легкоплавкі матеріали з високою тепло-ємністю і прихованої теплотою плавлення [12].

Асинхронні двигуни з масивним ротором (АД з МР), яким є ЕДШ, відрізняються простотою конструкції, значними пусковими моментами, можливістю роботи при низьких і високих частотах обертання [13]. Разом з тим, внаслідок ефекту витіснення струму, масивний ротор має високий активним опором. Це призводить до підвищених втрат в роторі і, отже, до зниження ККД. Тим часом, цей

недолік не відноситься до ЕДШ, в яких дисипативна енергія використовується в технологічному процесі нагрівання матеріалів [10].

Аналіз електромагнітних процесів АД з МР показує, що характер їх протікання, так само, як і розподіл магнітних полів, виявляється значно складніше, ніж в машинах з роторами традиційних конструкцій. Основною причиною, яка зумовлює це ускладнення, є ефект витіснення струму ротора, характер прояви якого залежить від частоти обертання.

II. ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ШНЕКОВОГО

Одним з основних методів дослідження електромагнітних процесів електричних машин є математичне моделювання. Цей метод дозволяє передбачити характер протікання електромагнітних процесів на стадії проектування ЕМПЕ без виконання дослідних зразків.

Принципи об'єктно-орієнтованого проектування дають можливість не тільки синтезувати методики проектування ЕМПЕ, але також розглядати їх математичні моделі в спадковій наступності базового класу і класів-нащадків. Це дозволить підійти до проектування як до комплексної задачі, що вирішує питання отримання параметрів і характеристик ЕМПЕ в сталих і перехідних режимах роботи. При цьому виконується автоматизоване генерування математичної моделі довільного виду ЕМПЕ на етапі проектування. Ідея полягає в формуванні математичної моделі (ММ) конкретного виду ЕМПЕ зі складових компонентів базової моделі, керуючись принципами спадкування, ієрархії і поліморфізму. Перевага такого підходу полягає в нерозривному зв'язку проектування (в ході якого розраховуються параметри і коефіцієнти для ММ) і математичного моделювання при оптимізації ЕМПЕ в динамічних режимах роботи. При цьому будь-які зміни в самому проекті відразу ж надійдуть на вхід блоку ММ, що є головною умовою САПР при оптимізації ЕМПЕ. Про необхідність такого підходу було зазначено в [11-13], однак вирішення проблеми обмежилось лише накопиченням ММ для різних видів ЕМПЕ. Для машини, яка не входить в такий банк даних, очевидно, запропонований підхід неприйнятний і не працює. Об'єктно-орієнтоване ММ дозволяє вирішити зазначену проблему.

Уточнене дерево успадкування АД з МР показано на рис. 3. У таблиці модифікаторів ті параметри вихідної матриці, які не зазнали змін, в таблиці модифікаторів представлені як «1». Обнулення відсутніх елементів матриці, відповідно отримало «0» в якості параметра. Ті елементи, які можуть бути відмінні від «0» або «1» (в перспективі для інших типів ЕМПЕ), позначені модифікатором «*m*». Для АД з МР параметр *m* дорівнює добутку кутової синхронної частоти поля ω_0 і кутової швидкості поля статора

$$\omega_s = 1 - \sqrt{1 - \frac{\omega_r}{\omega_0}}.$$

Для обліку індуктивності МР в вихідну систему рівнянь було введено додаткове доданок $\frac{d}{dt} L_{ru}$ (що робить її універсальною в порівнянні з пропонованою в [11]), яке в АД з МР набуває вигляду $\frac{d}{dt} L_{r\sigma} \omega_s \cdot U$ таблиці модифікаторів дане доданок позначено як *dm*, що символічно характеризує приріст до базового параметру.

Всі ЕМПЕ з круговим полем в повітряному зазорі, можуть бути отримані з узагальненого ЕМПЕ, а всі основні типи машин приводяться до узагальненої.

Зокрема породження машин-нащадків від машин-батьків виконується шляхом додавання або відсікання функціональних ознак. Причому ці ознаки носять як конструктивний, так і математичний характер.

Виконана класифікація дозволяє не тільки розглядати видове різноманіття ЕМПЕ, але також одночасно отримувати їх ММ.

На прикладі ЕМПЕ із МР було показано, як за допомогою механізму успадкування було отримано його класове і математичне уявлення.

Методологія об'єктно-орієнтованого аналізу і проектування набула широкого поширення з появою мови об'єктного моделювання нового покоління - уніфікованої мови моделювання (UML), призначеної для візуального моделювання та проектування інформаційних систем. Застосування сучасних засобів моделювання дозволяє реалізувати такі методи системного аналізу, як створення ієрархії понять, узагальнення понять, успадкування властивостей, різноманіття моделей опису предметної області, візуалізацію уявлень про процеси, що протікають в аналізованій предметній області.

У пакеті Simulink MatLab модель ЕДШ складена для випадку обертання системи координат зі швидкістю ротора $\omega_e = \omega_r$. Модель двохмодульного ЕДШ, розроблена в пакеті Matlab / Simulink і дозволяє одночасно виконувати розрахунки відразу двох модулів. У моделі електромагнітний момент ДМ поданий на вхід навантаження ГМ, а електромагнітний момент ГМ - на вхід навантаження ДМ.

Результати моделювання перехідних процесів пуску ЕДШ показані на рис. 2. Як видно з рис. 2, ДМ розганяється до 700 об / хв і, після підключення ГМ досягає сталої швидкості близько 400 об / хв. Значення електромагнітного моменту ДМ, при виході на швидкість 650 об / хв, становить 700 Нм. Результати моделювання мають задовільну збіжність з даними, отриманими для аналогічної машини експериментально для двохмодульного ЕДШ.

III. ВИСНОВКИ

1. Розроблена об'єктно-орієнтована методологія моделювання ЕМПЕ дозволяє синтезувати математичні моделі як існуючих видів ЕМПЕ, так і прогнозувати можливі модифікації нових структур.

2. Розроблені принципи еволюційного синтезу ЕМПЕ служать основою для об'єктно-орієнтованого

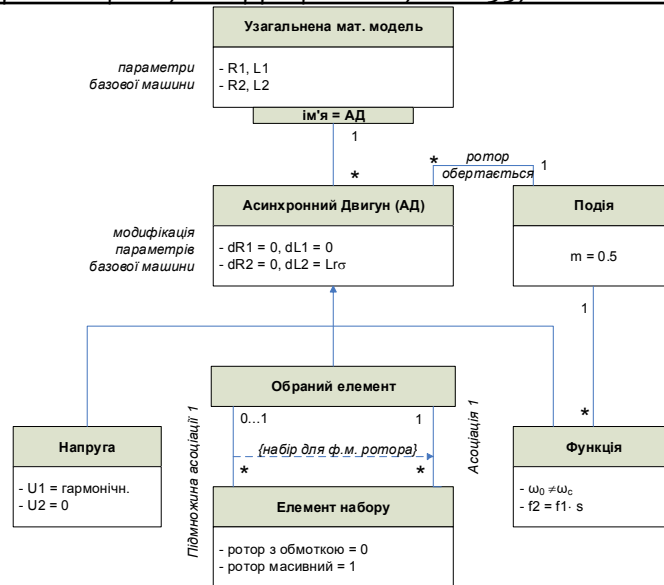


Fig. 1. Модель об'єктної структури ЕДШ

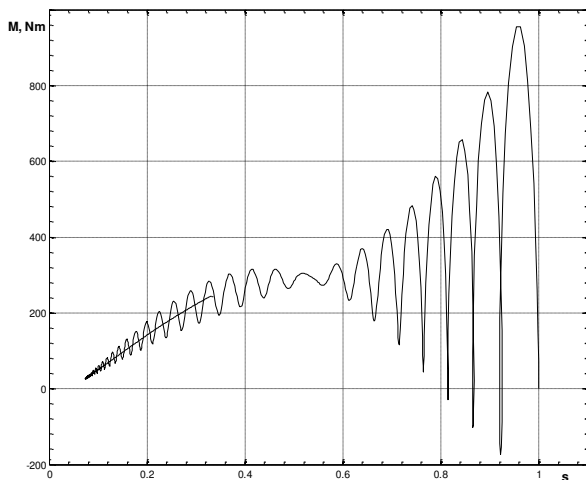


Fig. 2. Механічні характеристики ЕДШ

проекування та моделювання як зовнішньої класової структури машин, що зв'язує їх видові ознаки, так і внутрішню класову організацію окремо взятого ЕМПЕ.

Оцінка результатів моделювання перехідних процесів за складеною ОО моделі дозволяє зробити висновок про адекватність розглянутої моделі і використовувати її в подальшому для дослідження динамічних режимів машин з феромагнітним ротором.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Заблодский Н.Н. Проектирование электротепломеханических преобразователей энергии для переработки сыпучих материалов / Н.Н. Заблодский, В.Е. Плюгин // Техн. электродинамика, 2006. – Част. 1. – С. 106 – 111.
- [2] Заблодский Н.Н. Энергетическая эффективность вращающихся электромеханических нагревателей / Н.Н. Заблодский, В.Е.

Плюгин, Чан Дай Шон // Технічна електродинаміка, 2000. – Част. 6. – С. 74 – 77.

- [3] Шинкаренко В.Ф. Принципы построения эволюционной систематики структур электромеханических систем / В.Ф. Шинкаренко // Техн. электродинамика, 2000. – № 2. – С. 45 – 49.
- [4] Шинкаренко В.Ф. Обертові електричні машини: область існування, геноміка і таксономія класу / В.Ф. Шинкаренко // Електротехніка і електромеханіка, 2005. – № 1. – С. 74 – 78.
- [5] Куцевалов В.М. Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами / В.М. Куцевалов. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 302 с.
- [6] Могилянников В.С. Теория, технология и режимы работы асинхронных двигателей с двухслойным ротором / В.С. Могилянников. – Севастополь: СевНТУ. – 2008. – 350 с.
- [7] Караулов В.Н. Параметрическая модель асинхронного двигателя с массивным ротором в установившихся и переходных режимах / В.Н. Караулов, И.А. Палилов // Вестник ИГЭУ. – Вып. 4. – 2012. – С. 1 – 4.
- [8] Лищенко А.И. Асинхронные машины с массивным ферромагнитным ротором / А.И. Лищенко, В.А. Лесник. – К.: Наук. думка, 1984. – 168 с.
- [9] Куцевалов В.М. Вопросы теории и расчета концевых частей турбо-генераторов / В.М. Куцевалов. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 302 с.
- [10] Пат. 50242А, Україна, МПК7 F26B17/18, 3/347. Шнековый сушильный аппарат / Заблодский М.М., Дорофеев В.М., Плюгин В.С., Захарченко П.И., Шинкаренко В.Ф., Ревенко О.С., Заблодский С.М., Новиков В.О.; заявник та патентовласник Донбасский держ. техн. ун-т. – № 2001128244; заявл. 03.12.2001; опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10.
- [11] Проектирование электрических машин: / И.П. Копылов, Б.К.Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф.Токарев. – М.: Высшая школа, 2002. – 757 с.
- [12] Sen S.K. Principles Of Electrical Machine Design With Computer Programs / S.K. Sen. – Oxford: IBN Publishing Company Pvt. Limited, 2006. – 415 p.
- [13] 166. Плюгин В.Е. Теоретические основы объектно-ориентированного расчета и проектирования электромеханических устройств: монография / В.Е. Плюгин. – Алчевск: Ладо, 2014. – 200 с.

Investigation of dynamic modes of auger type electric motor

K. Yagup

KhNUMG named after OM Becketova
Ukraine

O. Hrinin

KhNUMG named after OM Becketova
Ukraine

D. Statsenin

KhNUMG named after OM Becketova
Ukraine

A. Daschenkova

KhNUMG named after OM Becketova
Ukraine

The article deals with the formation of a mathematical model of electromagnetic processes in an asynchronous motor with an external hollow massive rotor, on the surface of which are placed the twigs of the screw. The peculiarity of such an engine is the combination of stable dynamic properties of the machine with a massive rotor and the use of thermal energy released from the surface of the rotor to heat the loose material, which is mixed with a screw. A mathematical model of electromagnetic transients is created by automatic generation by inheriting basic features from a model of a generalized electric machine. This approach is based on the theory of object-oriented design. The principles of object-oriented design make it possible not only to synthesize the design techniques of electromechanical energy converters (EMPE), but also to consider their mathematical models in the hereditary succession of the base class and the descendant classes. This will allow us to approach designing as a complex problem, which solves the problem of obtaining parameters and characteristics of EME in stable and transient modes of operation. The automated generation of a mathematical model of an arbitrary type of EME is performed at the design stage. The idea is to form a mathematical model of a particular type of EME from constituent components of the basic model, based on the principles of inheritance, hierarchy and polymorphism. The advantage of this approach lies in the inseparable connection of design (during which parameters and coefficients for MM are calculated) and mathematical modeling in the optimization of EME in dynamic modes. In this case, any changes in the project itself will immediately come to the entrance of the MM block, which is the main condition of CAD in the optimization of EMPE. The advantage of an object-oriented approach to modeling, in contrast to the known methods of classification EMPE, is not only the display of species diversity, but also the support of such classification mathematical description. A complex object-oriented project, which includes both design and related mathematical modeling of transients, enables optimization of an arbitrary type of EMPE, which is the main task of CAD - obtaining the optimal EMPE, which satisfies the set constraints and has the best technical and economic performance.

Keywords - asynchronous motor; massive rotor; transients; object-oriented; mathematical modeling

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Абугоух Хайдар Джафар	78
Грінін О.В.	85
Дащенко А.С.	85
Дмитрієв П.	68
Квач Ю.	59
Ковальов В.М.	63
Ковальова Ю.В.	63
Корнелюк С.І.	68
Стаценін Д.С.	85
Тугай Д.В.	68
Фатєв В.М.	63
Ягуп К.В.	73
Ягуп К.В.	85

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ЖУРНАЛ «СВІТЛОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА» № 2(55)

Технічний редактор В.О. Грініна

Дизайн обкладинки А.О. Богославець

З електронною версією журналу можна ознайомитися на сайті Університету www.kname.edu.ua в цифровому репозиторії: <http://eprints.kname.edu.ua> та на сайті журналу <http://lepe.kname.edu.ua>

Підписано до друку 25.01.2020р.
Папір офсетний
Зам. № _____

Гарнітура «Times New Roman»
Ум. друк. арк. –3.72
Ціна договірної

Формат 60×84/8
Наклад 150 прим.

Адреса редакції: 61002, Харків, вул. Маршала Бажанова, 17
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
Віддруковано з готових оригіналів-макетів у друкарні ФОП «АЗАМАЄВ В.Р.»
Свідоцтво про державну реєстрацію В02 № 229278 від 25.11.1998 р.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції. Серія ХК № 135 від 23.02.2005
м. Харків, вул. Познанська, 6, к.84, тел. 8 (057) 362-01-52