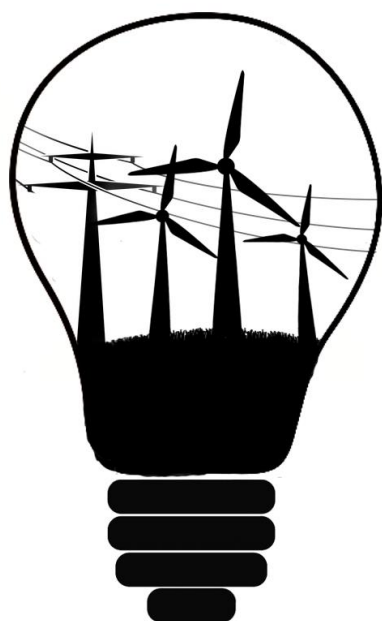




Politechnika
Wroclawska



GPW
Generacja
Przesył
Wykorzystanie

Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

Generacja – Przesył – Wykorzystanie

GPW 2017

Praca zbiorowa
pod redakcją Macieja Gwoździewicza



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2017

Recenzenci
Maciej Gwoździewicz
Marta Bątkiewicz-Pantuła
Tomasz Czapka
Jan Zawilak

Wydano na podstawie dostarczonych materiałów

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki zarówno w całości, jak i we fragmentach, nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny i inny bez zgody wydawcy i właścicieli praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2017

OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
<http://www.oficyna.pwr.edu.pl>
e-mail: oficwyd@pwr.edu.pl
zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl

ISBN 978-83-7493-003-1

DOI: 10.5277/GPW.2017

Spis treści

Barbara CZAJKOWSKA

Super Premium Efficiency Motor of Medium Power Range 5

Dominika KACZOROWSKA

ZASOBNIKI ENERGII W KONTEKŚCIE ŹRÓDEŁ ROZPROSZONYCH 17

Gustaw KOSTKA

ZASTOSOWANIE SILNIKÓW SYNCHRONICZNYCH WZBUDZANYCH
MAGNESAMI TRWAŁYMI W NAĘDACH POMP GŁÓWNEGO
ODWADNIANIA 25

Kateryna OSYPENKO, Valery ZHUIKOV, Vadym MARTYNYUK

THE LINEAR APPROXIMATION OF WIND SPEED CHANGE FUNCTION .. 31

Krystian Leonard CHRZAN, Krzysztof BRZEZIŃSKI

WYTRZYMAŁOŚĆ ELEKTRYCZNA POWIETRZA PRZY NAPIĘCIU
PRZEMIENNYM, MODYFIKACJA PROGRAMU ĆWICZENIA
W LABORATORIUM STUDENCKIM..... 38

Marek MARCHEWKA

SILNIK INDUKCYJNY ŚREDNIEJ MOCY Z OGRANICZONYM HAŁASEM 45

Olexander AZUIKOVSKIY, Oleksii SHESTAKOV, Tetiana LIABAHOVA,
Pavlo KRASOVSKIY

INVESTIGATION OF THE TRANSIENT PROCESSES IN SEMICONDUCTOR
CHOPPERS THAT CONVERT ENERGY FROM LOW-POWER RENEWABLE
ENERGY SOURCES 52

Paweł CZELNY

NOWOCZESNE REJESTROWANIE ZMIENNYCH PROCESOWYCH
W PRZEMYŚLE..... 57

Przemysław BELKA

ZASADY WYKONYWANIA POMIARÓW INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ
Z WYKORZYSTANIEM SILNOPRĄDOWYCH MIERNIKÓW IMPEDANCJI
PĘTLI ZWARCIA 65

Szymon BEDNARZ	
MOŻLIWOŚCI WYKRYWANIA I KOMPENSACJI USZKODZENIA WIRNIKA SILNIKA INDUKCYJNEGO PRZY WYKORZYSTANIU DODATKOWEGO ESTYMATORA REZYSTANCJI WIRNIKA.....	75
Tomasz DEMIDOWICZ, Mariusz BALICKI	
DZPW- ZASADY ORAZ WYKORZYSTANIE PRAKTYCZNE NA OBIEKTACH PRZEMYSŁOWYCH I WYTWÓRCZYCH.....	86
Iga MENDRECKA	
PROBLEMY W PROJEKTACH PRZYŁĄCZA ELEKTRYCZNEGO NISKIEGO NAPIĘCIA	94
Michał JASIŃSKI, Tomasz SIKORSKI, Klaudiusz BORKOWSKI	
ANALIZA WAHAŃ NAPIĘCIA W SIECIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH ZASILAJĄCYCH ZAKŁADY GÓRNICZE Z WYKORZYSTANIEM TECHNIK EKSPLORACJI DANYCH	101
Łukasz JASIŃSKI	
ROZWAŻANIA O ENERGII ELEKTRYCZNEJ – ASPEKTY WYBRANE.....	110
Laura JASIŃSKA, Karol MALECHA	
WYKONYWANIE ELEMENTÓW OBWODU MIKROFALOWEGO W CERAMICZNYCH UKŁADACH MIKROPRZEPLYWOWYCH – WYBRANE ASPEKTY	116
Szymon LIPIŃSKI, Daria SUPIŃSKA	
MODEL NUMERYCZNY PROSTEGO SILNIKA MAGNETOHYDRODYNAMICZNEGO	124
Dariusz PRZYBYLSKI, Dorota ZAJĄC, Sergiusz PATELA	
PRZYGOTOWANIE I BADANIE WARSTW ORGANICZNYCH DLA ZASTOSOWAŃ FOTOWOLTAICZNYCH	134
Marek JASIŃSKI, Elżbieta JASIŃSKA, Michał JASIŃSKI	
ANALIZA PROCESU UTRZYMANIA RUCHU SAMOJEZDNYCH MASZYN DOŁOWYCH	140

Barbara CZAJKOWSKA*

SUPER PREMIUM EFFICIENCY MOTOR OF MEDIUM POWER RANGE

This article presents basic motor efficiency standards introduced in 2009 by IEC. It focuses on low voltage induction motor of medium power range with cage rotor, which has many industrial applications. Some of the paragraphs point out the impact of power losses on induction motor efficiency. Another objective was to touch essential parameters of electrical steel used in construction of magnetic core of induction motor. Additionally, comparison of products from different companies available on the market help to find out about basic quantities that are under constant improvement. For the purpose of this article some tests of rotor cage had been carried out and discussed.

1. INTRODUCTION

1.1. ENERGY EFFICIENCY POLICY

The art of efficient energy conversion is a closely guarded trade secret. Worldwide leader corporations are very restrained when discussing details of high efficiency induction motors. Machine builders put a massive effort into an advanced technologies that can maximize total machine efficiency. Apart from that, many different efficiency classification systems have been introduced in countries all over the world. They unfortunately differ from each other in some basic terms. Up until 2009, Europe did not have any specific regulations relating to the energy efficiency levels of electric motors.

That was the reason for the International Electrotechnical Commission IEC to develop and publish an energy efficiency standard which replaces all the previous national issues. Following mandatory minimum efficiency levels for electric motors were introduced into the European markets:

* Wroclaw University of Science and Technology, Electrical Engineering Faculty

- IE1 (Standard Efficiency)
- IE2 (High Efficiency)
- IE3 (Premium Efficiency)
- IE4 (Super Premium Efficiency)

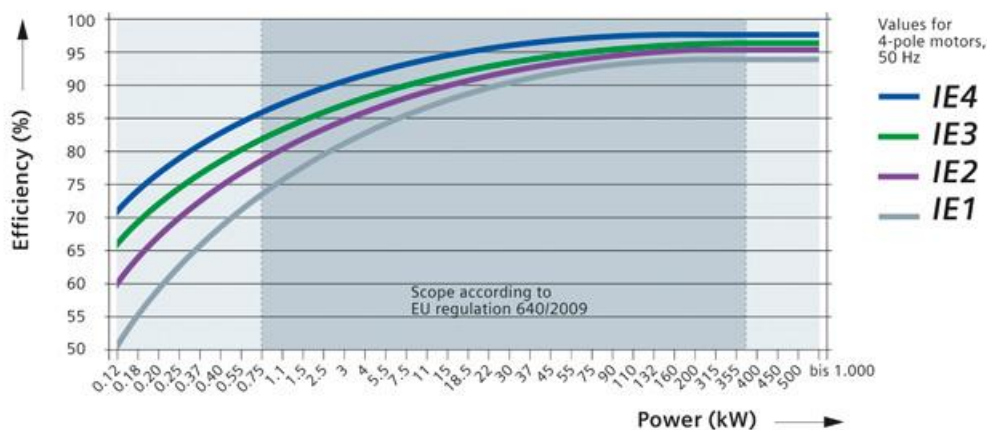


Fig. 1.1. Efficiency levels and classes for induction motors in IEC 60034-30-1.
Source: www.abb.com

1.2. STANDARDS AND EFFECTIVE DATES

The implementation dates of the regulations :

- Stage 1 - From 16 June 2011, motors shall not be less efficient than the IE2 efficiency level,
- Stage 2 - From 1 January 2015 motors with a rated output of 7,5-375 kW shall not be less efficient than the IE3 efficiency level or meet the IE2 efficiency level and operated / equipped with a variable speed drive,
- Stage 3 - From 1 January 2017 all motors with a rated output of 0,75-375 kW shall not be less efficient than the IE3 efficiency level or meet the IE2 efficiency level and operated / equipped with a variable speed drive.

Significant issue for users is that according to IEC 60034-30 standard published in March 2014 and EU regulation 640/2009, 4/2014 starting **from 1st January 2017, only IE3 Energy Efficiency motors from 0,75 kW to 375 kW can be sold.**

Even without those regulations, the demand from clients, climate change debate and escalating energy prices push constant research for higher efficiency.



Fig. 1.2. Concept models compliant with IE4, IE5, IE6. Source: www.abb.com

1.3. TYPICAL APPLICATION OF CAST IRON FRAME SUPER PREMIUM EFFICIENCY – IE4 MOTORS

The presented model has numerous applications which are key components of the most of industrial plants and drives. Those applications are as follows:

- Pumps
- Fans
- Crushers
- Conveyor belts
- Mills
- Centrifugal machines
- Presses
- Elevators
- Packaging equipment
- Grinders and others

1.4. LEADER COMPANIES ON THE INDUCTION MOTORS MARKET

Competitiveness among electric motor industry is intense. The availability of materials from all over the world favors international companies. Thanks to mass production their prices are lower than domestic producers while the quality is preserved.

2. TECHNICAL SPECIFICATION OF DESIGNED MODEL

2.1. ELECTRICAL DATA OF MOTOR

Research described in this article focused on high-efficiency induction motors. By using the latest generation of computerized tools calculations have been carried out using

resources provided by Wrocław Centre for Networking and Supercomputing (<http://wcss.pl>), grant No. 400. Model designed and presented in this article has following specification:



Fig. 2.1 Companies with factories set in Poland

Table 2.1. Electrical data of three phase induction motor

Parameter	Symbol	Value
Nominal power	P_N	160 kW
Nominal voltage	U_N	400 V
Nominal current	I_N	148 A
Nominal speed	n_N	1498 rpm
Number of poles	-	4
Nominal efficiency	η	96,6%
Power factor	$\cos\varphi$	0,9
Nominal torque	T_N	1026 Nm
Moment of inertia	J	2.8 GD ² kgm ²

2.2. DESIGN QUANTITIES

Although the detailed analysis of the motor design quantities is omitted, the major values are significant to be presented in the article.

Table. 2.2. Designed data for three phase induction motor

Parameter	Quantity	Equation
Apparent air gap power S_{gap}	178,5 kV·A	$S_{gap} = k_E \frac{P_N}{\cos \varphi_N \eta_N}$, ($k_E = 0,97$)
Inner stator diameter D_{IS}	470 mm	-
Outer stator diameter D_{OUT}	310 mm	$D_{out} = 1,55D_{IS}$
Parameter of exploitation	0,31	$\sigma = 1,18k_{ws}A_sB_\delta \cdot 10^5$
Stack length l_i	400 mm	$l_i = \frac{S_{gap}}{\pi^2 D_{IS}^2 \sigma n_N}$
Air gap	1,3 mm	$\delta = c^3 \sqrt{\frac{D_{IS}^2 l_i f}{2p \cdot 50}}$
Average linear load	40 A/mm	$A_s = \frac{2mZI_{phs}}{\pi D_{IS}}$
Air gap flux density	0,7 T	$B_\delta = \frac{k_E U_{phs} p}{4,44 \cdot f \cdot z \cdot k_{us} \cdot D_{IS} \cdot l_i}$

3. DETERMINATION OF EFFICIENCY

IE is the term of International Efficiency. The efficiency factor defines the efficiency of motors when transforming electrical into mechanical energy.

The efficiency of a motor is defined as the ratio of output (mechanical) power to total input (electrical) power. Input power is a sum of output power and power of losses. Therefore, if these variables are known, the efficiency can be determined by the following equation:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1)$$

Efficiency can be determined by implementing direct or indirect method. Direct method is to measure the input power by a power analyzer and the get output power by measurements of angular velocity and torque applied to a motor.

Indirect method is based on determining the sum of losses. As in equation below, total losses are subtracted from the input power and the result is the output power used for calculations:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - \Sigma P_{losses}}{P_{in}} \quad (2)$$

4. TYPES OF LOSSES

$$\Sigma P_{losses} = P_{Co} + P_{Al} + P_{Fe} + P_{mv} + P_{stray} \quad (3)$$

The only way to make a machine more efficient is to reduce its losses. In table 4.1 there are presented types of motor losses, methods and tips which can be adopted in order to reduce their negative effect on the motor efficiency.

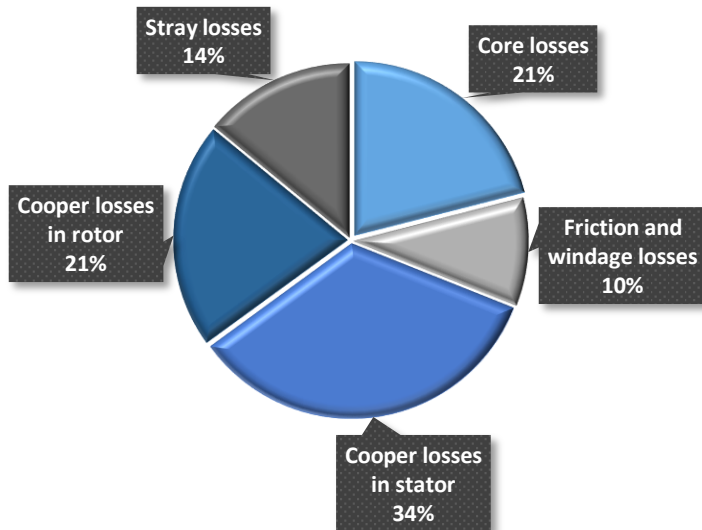


Fig. 4.1. Comparison of loss distribution by percent for 4 pole motors tested in the EASA/AEMT study.

Table. 4.1. Types of losses in induction motor

Losses	Charateristic	Way to eliminate
<p>Stator copper losses P_{C_0} (often the main component in total motor losses)</p>	<p>Classified as electrical losses, placed in the conductor area, mean length of turn. They increase rapidly with the motor load. Described by I^2R, where: I= the measured or calculated rms current per line terminal at the specified load. R= the DC resistance between any two line terminals corrected to the specified temperature</p>	<p>Stator copper losses can be reduced by decreasing the mean length of turn. It can be also reduced by increasing the conductor cross-section area so in order to do it mass of stator winding must be larger. High efficient motors contain up to 25% extra copper in comparison to standard efficiency models.</p>
<p>Rotor copper losses P_{AI} (a secondary source of losses)</p>	<p>Rotor cooper losses are electrical losses located in bars and end rings areas. Caused by flux density change or change in end ring cross section. Rotor copper losses can also increase due to change/damage to conductors of a squirrel cage rotor.</p>	<p>Reduction of these losses is obtained by providing higher conductivity of rotor. Recently processes have been developed for die casting of copper which leads to better conduction. Another way is carefully evaluate the airgap to reduce additional cage losses. If possible apply insulated or uninsulated high bar-slot wall contact resistance rotor bars in long stack skewed rotors, to reduce interbar current losses.</p>
<p>Core losses P_{Fe}</p>	<p>Core magnetic losses are originated from hysteresis and determined by electrical steel, air gap, saturation of magnetic core, supply frequency, condition of interlaminar insulation. They increase due to flux density change, excessive pressure or mechanical damage impact on core and certainly in case of any damage to interlaminar insulation.</p>	<p>By using good quality of materials and quality control, losses can be minimized to improve efficiency. To reduce the effect of hysteresis and saturation steels containing small amount of silicon to be used in laminations instead of lower-cost carbon steels. In this way core losses can be removed by reducing the thickness of lamination and increasing the length of lamination, we can minimize the flux density also and core losses.</p>

<p>Stray losses P_{stray}</p>	<p>The correct term would be additional or nonfundamental losses, as they exist, to some extent, even under non-mechanical load. However they accentuate with load and are considered with current squared. They occur with nonsinusoidal voltage power supplies such as power electronics converters. Design factor affecting losses are manufacturing processes, air gap and it's surface condition, slot design and damage to end laminations. Magnetic interaction of the stator and rotor teeth cause the high frequency harmonic flux near airgap surface, which is a major source of stray loss.</p>	<p>To reduce full load stray losses increase number of slots per pole and phase and if possible increase the first phase belt and first slot (opening) harmonics. Use insulated or large transverse resistance cage bars in long stack skewed rotors to reduce transverse cage losses. Implement small stator and rotor slot openings, if possible, to reduce the first slot opening flux density harmonics and their losses.</p>
<p>Friction and Windage losses P_{mv}</p>	<p>They are effect of fan efficiency, badly fitted bearings and excessive interference fits. Use of incorrect seals and lack of seal lubrication. Installing an incorrect fan. Additionally a number of studies have found that impact of too much bearing grease can increase friction losses.</p>	<p>Good ventilation is key to reducing the mechanical losses. The ventilating system can be optimized in order to decrease mechanical losses and consequently acoustic noise. The geometry of the fins is also important. There is a relationship between the height of fins and width. They have to be designed to provide the best thermal dissipation. Consideration should also focused on positioning the terminal box in order to not to interfere with the air flow.</p>

Every act of reducing particular loss increase a cost of a motor. Apart from that, starting current, starting torque or power factor can be affected as well. Thus, the challenge is to get rid of losses with a minimum cost increases and general motor performance improvement in terms of efficiency, but also noise, vibration, torque, temperature rise, power factor and starting current.

5. ELECTRICAL STEEL CONSIDERATIONS

5.1. TYPES OF ELECTRICAL STEEL

Electrical steel are designed with regard to their maximum specific total loss at a peak magnetization of 1.5 or 1.7 Tesla at a specified frequency (50 Hz for EU or 60 Hz for US standards). Electrical steels are divided into two general classes:

Grain-oriented steels - their magnetic properties are strongly oriented with a respect to direction of rolling. Grains are aligned so that magnetic properties are vastly superior in the direction of rolling. They are mainly used for transformer cores.

Non-oriented steels – this type of steels has practically the same magnetic properties regardless the direction of magnetization in the plane of material. They have not definite orientation of magnetic properties. They are used for the cores of the vast majority of industrial electric motors and generators.

They can be divided into two groups in term of method of manufacture:

Fully-processed (completely processed, ready for use, without any additional processing required to achieve magnetic quality)

Semi-processed steels (finished to final thickness and physical form but the user is responsible for achieving magnetic properties by annealing treatment.

5.2. COMPONENTS AND PARAMETERS OF ELECTRICAL STEEL

Electrical steel consists of:

-Silicon – it is the primary alloying element which increases the volume resistivity of the steel, thereby reduces the eddy current losses. It also reduce the hysteresis component in non-oriented electrical steel by affecting the grain structure and thus improves core loss.

-Aluminum and manganese are added for metallurgical effect and favorably lower the hysteresis component of the core loss

-Other elements are present but are found in residual amounts like carbon, sulphur and nitrogen. They are helpful to develop crystal orientation or melting processes but these elements are removed by the customer in the final anneal.

Characteristics parameters for Electrical Steel

-**Steel loss** (watts/kg) at a given peak flux density

-**Permeability** determine the flux density that the laminations can handle without saturating and relates to the magnetizing force required to produce that flux density

-**Thermal conductivity** (W/mK) influences how well steel dissipates heat losses generated within it.

5.3. STEEL FOR ELECTRICAL MACHINE

The best steel for an electrical machine would be the one which has high permeability low loss and high conductivity. However silicon, which is main alloying element used in electrical steels to reduce loss, also reduces permeability and conductivity and unfortunately increases manufacturing costs. So producers have to compromise composition of electrical steel in order to meet all of requirements of parameters at reasonable price. In recent years thanks to some researches that have been done to develop low-loss, no-silicon or ultra-low carbon, ultra-low sulphur contents, these type of steels are in offer and further advanced steels are expected in the future.

6. OPTIMIZATION OF DESIGNED VALUES

Another way to maximize the efficiency is to design the rotor-cage in some specific way. Here down below significant changes are presented in form of comparison how increasing bars length or wedge height influence efficiency and losses parameters.

Table 6.1. Types of losses in induction motor

Bar Length	Core loss	Winding loss	Efficiency	Power factor	Starting torque	Starting current
20	1,445	1,907	96,016	0,942	1,561	9,211
25	1,446	1,579	96,206	0,940	1,585	9,111
30	1,449	1,362	96,329	0,937	1,617	9,120
35	1,450	1,210	96,410	0,934	1,631	9,109

In the Table 5.1 length of bars in rotor cage has been changed. Due to these changes core losses raised up slightly from 1,445 to 1,450 the same as mechanical losses from 159,936 to 160,855. However thanks to this process a vast effect is observed in winding losses which dropped from 1,907 to 1,210. Notable is the fact that efficiency increased 0,4%. And this is caused only in small modification in length of the motor bar. If that would not be enough there is a possibility to add smaller starting current and bigger starting torque to positive aspects of these changes.

Table 6.2 presents the results of changing the height of the wedge. Thanks to this change we compensate loss in magnetic core, which decrease from 1,458 to 1,410. Additionally lower value of winding and mechanical losses and lower starting current, which dropped from 9,548 to 7,858 is gained. In general, efficiency raised up to 96,340%, what satisfied this research.

Table 6.2. Types of losses in induction motor

Wedge height	Core loss	Winding loss	Efficiency	Power factor	Starting torque	Starting current
2	1,458	1,421	96,304	0,943	1,767	9,548
3	1,449	1,367	96,325	0,937	1,617	9,100
4	1,436	1,350	96,332	0,934	1,472	8,670
5	1,421	1,335	96,337	0,930	1,336	8,256
6	1,410	1,321	96,340	0,926	1,216	7,858

7. CONCLUSIONS

Table. 7.1. 4 poles, 160 kW (iron cast) induction motor- market investigation.

Company	Efficiency IEC 60034-30-1; 2014			Power factor $\cos\phi$	Current		Torque			Weight kg	Sound pressure Level L_{PA} dB
	Full load 100 %	$\frac{3}{4}$ Load 75%	$\frac{1}{2}$ Load 50%		Full load 100%	I_N A	I_S / I_N	T_N Nm	T_I/T_N		
ABB	96,7	96,9	96,6	0,87	278	7,9	1026	2,7	3,0	1220	68
SIEMENS	96,6	96,7	96,5	0,86	280	9,0	1025	3,6	3,2	1180	76
CANTONI GROUP	95,8	96,1	95,5	0,90	268	8,5	1026	2,4	3,1	1130	77
WEG	96,9	96,8	96,3	0,86	277	7,7	1026	3	2,6	1430	72

Comparison of motors manufactured in IE3 by Celma Cantoni Group with IE4 motor designed by ABB drives to one major conclusion. There is the qualitative leap between motors produced in IE3 and IE4 standards. The cost of higher efficiency under higher current and lower sound pressure is increase in weight.

Higher and higher requirements of international law lead to the point where small fractions of percentage in efficiency decide if a new engine can be assigned to the right IE category. Besides increasing weight and searching for more advanced materials it is also worth to focus on optimizing of motor construction. The paper proves that optimizing of calculations can provide significant results in improving of motor efficiency.

Calculations have been carried out using resources provided by Wrocław Centre for Networking and Supercomputing (<http://wcss.pl>), grant No. 400.

REFERENCES

- [1] BOLDEA I. NASAR S., *The Induction Machine Handbook*, III Series, Florida, CRC Press, 2002.
- [2] DĄBROWSKI M., *Projektowanie maszyn elektrycznych prądu przemiennego*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1994.
- [3] EASA/AEMT Rewind Study and Good Practice Guide to Maintain Motor Efficiency., *The effect of repair/rewinding on Motor Efficiency*, 2003.
- [4] Efficiency classes for IEC line motors, www.industry.siemens.com
- [5] Low voltage Process performance motors Catalog, March 2016 www.abb.com
- [6] SIMOTICS GP, SD, XP, DP Low-Voltage Motors Catalog D 81.1 Edition 2016 www.siemens.com
- [7] Typical data for SURA M350-50A, www.cogent-power.com
- [8] What is Motor Efficiency & How to improve it, www.electricaltechnology.org
- [9] WILDI T. *Electrical Machines, Drive, And Power Systems*, II Edition, New Jersey, Prentice Hall, 1991
- [10] W22 Three-Phase Electric Motor Technical Catalogue www.catalog.wegelectric.com
- [11] ŻYCZYŃSKI W., *Zasady projektowania maszyn elektrycznych*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986

Dominika KACZOROWSKA*

ZASOBNIKI ENERGII W KONTEKŚCIE ŹRÓDEŁ ROZPROSZONYCH

Zwiększona liczba rozproszonych źródeł energii w sieci oraz ich nieregularna, losowa generacja powoduje powstawanie problemów z bilansowaniem mocy w systemie elektroenergetycznym. Ważnym elementem mikrosieci, który pozwala na zwiększenie kontroli nad przepływem wytwarzanej energii, są zasobniki energii. W artykule przedstawiono krótkie zestawienie istniejących zasobników oraz szczegółowo omówiono rozwiązania najczęściej stosowane. Następnie na podstawie opracowanego scenariusza sterowania przepływem energii w mikrosieci, zaprezentowano rozplwy mocy oraz pracę zasobnika. Dane generacji wykorzystane podczas symulacji są rzeczywistymi danymi mierzonymi w instalacji znajdującej się na dachu budynku Politechniki Wrocławskiej znormalizowanymi do 1 kW mocy zainstalowanej. Dane odbioru pochodzą z pomiarów w sieci małej miejscowości w pobliżu Wrocławia. Zasobniki wykorzystane w prezentowanych analizach są typowymi magazynami dostępnymi komercyjnie.

1. WSTĘP

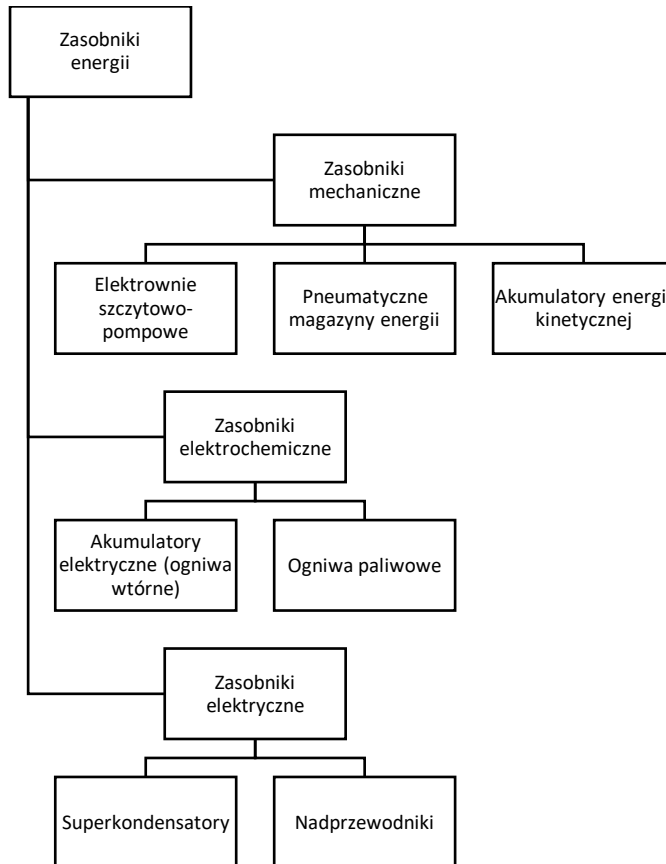
Na przestrzeni ostatnich lat ilość instalacji fotowoltaicznych przyłączanych zarówno do gospodarstw domowych, jak i obiektów przemysłowych, gwałtownie wzrosła. Przyczyniły się do tego nie tylko cele stawiane przez Unię Europejską, ale również rozwój technologii, stojącej za odnawialnymi źródłami energii. Postęp techniczny nie nastąpił jednak wyłącznie w odniesieniu do produkcji źródeł fotowoltaicznych, ale także w kontekście możliwości sterowania elementami mikrosieci, składającej się z generacji, zasobnika energii i odbioru. Mikrosieć zwykle współpracuje z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym.

Zasobniki energii, oprócz funkcji magazynowania energii, spełniają również istotną rolę w bilansowaniu mocy w systemie. W czasie nadmiaru generacji mogą odbierać energię, a w czasie jej braku, mogą działać jak źródło. Możliwe jest więc bilansowanie mocy już na poziomie mikrosieci poprzez minimalizację współpracy z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym, co może być korzystne na przykład ze względu na zawartą umową taryfową z dostawcą energii.

* Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny

1.1. ZASOBNIKI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Zasobniki energii elektrycznej pozwalają na magazynowanie energii w różnej postaci, a następnie jej zamianę na energię elektryczną. Ze względu na sposób magazynowania energii, zasobniki możemy podzielić na: mechaniczne, elektrochemiczne oraz elektryczne (rys. 1).



Rys. 1. Podział zasobników energii ze względu na sposób magazynowania energii

Zasobniki mechaniczne zamieniają energię mechaniczną na elektryczną. Najpopularniejszym typem zasobnika mechanicznego są elektrownie szczytowo-pompowe. W czasie nadmiaru generacji, woda pompowana jest do górnego zbiornika. Kiedy pojawia się zapotrzebowanie na zgromadzoną energię, spuszcza się ją do zbiornika znajdującego się na dole, uruchamiając turbinę z generatorem, co umożliwia produkcję energii elektrycznej. Pneumatyczne magazyny energii gromadzą energię w postaci sprężonego powietrza. W okresie nadwyżki produkcji, powietrze sprężane jest w podziemnym lub naziemnym zbiorniku. W okresie niedomiaru energii,

powietrze jest rozprężane, napędzając turbiny połączone do generatorów. Trzecim typem zasobnika mechanicznego jest akumulator energii kinetycznej, który gromadzi energię w postaci energii kinetycznej poruszających się elementów, np. obracającego się koła zamachowego.

Wtórne ogniwa elektrochemiczne, inaczej akumulatory, gromadzą energię w postaci chemicznej. Zasada działania akumulatorów opiera się na powstawaniu różnicy potencjałów dwóch różnych elektrod zanurzonych w elektrolicie. Drugim, nietypowym z powodu braku procesu magazynowania, rodzajem zasobnika chemicznego są ogniwa paliwowe. Energia elektryczna wytwarzana jest w wyniku zachodzenia reakcji utleniania paliwa, dostarczanego z zewnątrz.

Inaczej, niż superkondensatory, które gromadzą energię w polu elektrycznym, nadprzewodniki działają na zasadzie gromadzenia energii w polu magnetycznym cewek indukcyjnych, które wykonane są z nadprzewodników.

Do współpracy ze źródłami opartymi na fotowoltaice najczęściej wykorzystywane są dwa rodzaje zasobników energii: superkondensatory oraz akumulatory elektryczne [2].

1.2. PORÓWNANIE AKUMULATORÓW I SUPERKONDENSATORÓW

Tabela 1. Porównanie parametrów akumulatorów elektrochemicznych i superkondensatorów

Typ zasobnika	Superkondensator	Akumulator elektrochemiczny
Gęstość mocy P/m [W/kg]	duża	mała
Gęstość energii A/m [Wh/kg]	mała	duża
Sprawność η [%]	~95	~70
Czas ładowania t_L [h]	krótki (kilka minut)	długi (nawet kilka godzin)
Ilość cykli ładowania n [-]	~1000000	<1000
Masa m [kg]	mała	duża
Zakres temperatury pracy T [°C]	-45–65	duża zależność parametrów od temperatury
Cena	bardzo wysoka	Stosunkowo niewielka

Ze względu na stosunkowo niską cenę w stosunku do pojemności, krótkotrwałą możliwość obciążenia dużymi prądami oraz prosty układ ładowania [3] najpopularniejszym magazynem energii do współpracy z rozproszonymi źródłami są akumulatory elektryczne.

Mimo dużej popularności akumulatorów, z coraz większym zainteresowaniem spotykają się superkondensatory. Ze względu na możliwość pracy w szerokim zakresie

temperatur, szybki czas uzupełniania energii oraz dużą trwałość bardzo dobrze sprawdzają się w środowisku, w którym występują częste wahania mocy. Superkondensatory pełnią wtedy funkcję magazynu energii, gromadząc nadmiar mocy i podtrzymując napięcie przy zaniku zasilania z sieci zasilającej [1].

Najważniejsze parametry obu zasobników przedstawiono w tabeli 1.

Na uwagę zasługują takie zalety akumulatorów jak: mała gęstość mocy i duża gęstość energii oraz stosunkowo niewielka cena. Jednak długi czas ładowania oraz duża zależność parametrów od temperatury znacząco ograniczają możliwości ich szerokiego stosowania. Mimo że superkondensatory charakteryzują się krótkim czasem ładowania i szerokim zakresem temperatury pracy, są elementami drogimi.

2. WYKORZYSTYWANY MODEL

2.1. MODEL UKŁADU

Zastosowany podczas badania przepływów energii model układu składa się z generacji PV, obciążenia, zasobnika energii oraz zewnętrznego systemu elektroenergetycznego. W przypadku poboru energii przez element modelu, kierunek przepływu oznaczony jest znakiem minus, w przypadku oddawania energii, znakiem plus (rys. 2).

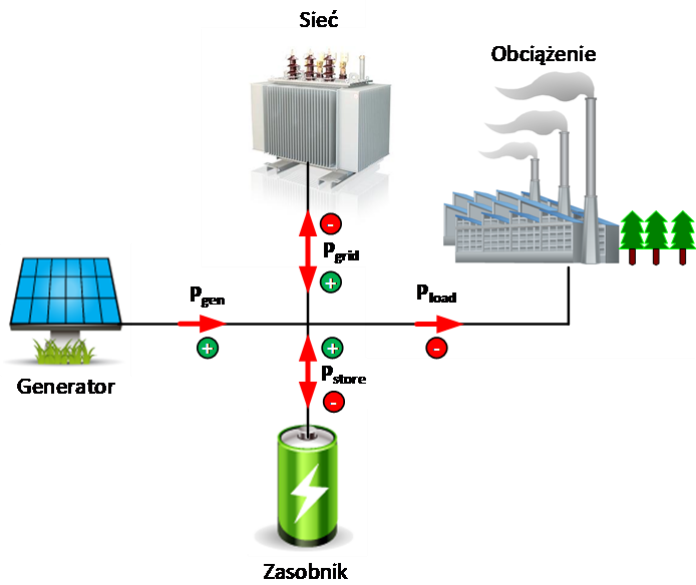
Wykorzystane w analizach dane dotyczące generacji oraz obciążenia są danymi rzeczywistymi, skalowanymi na potrzeby symulacji. Przeskalowana wielkość instalacji PV wynosi 60 kW. Kluczowym elementem modelu jest zasobnik energii o mocy 13,5 kWh firmy Tesla, który w przypadku generacji wyższej od obciążenia, pobiera część lub całość wyprodukowanej energii, a gdy wartość obciążenia przekracza wartość generacji, zasobnik oddaje zgromadzoną wcześniej energię. Nawet tak proste sterowanie pracą zasobnika, pozwala zwiększyć efektywność pracy całej mikrosieci. Mimo nieskomplikowanej struktury, model oddaje charakter przepływów występujących w rzeczywistym układzie.

W oparciu o cel, jakim była minimalizacja wymiany energii z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym, stworzony został prosty scenariusz sterowania pracą mikrosieci.

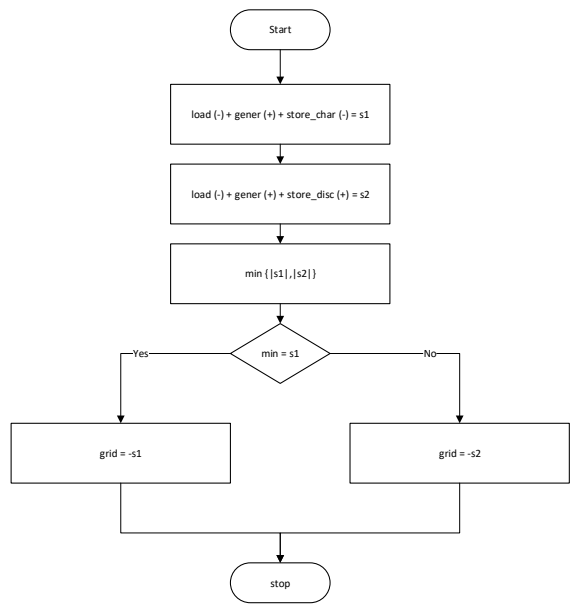
2.2. SCENARIUSZ DZIAŁANIA

Przedstawiony scenariusz (rys. 3) realizuje algorytm sterowania oparty na celu, jakim była minimalizacja współpracy z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym. W pierwszym kroku obliczane są parametry s_1 oraz s_2 , liczone jako sumy mocy obciążenia, generacji oraz ładowania bądź rozładowania zasobnika. Następnie obliczane jest minimum wartości bezwzględnych parametrów s_1 i s_2 . W ostatnim kroku parametr minimalny definiuje ilość mocy wysłanej bądź pobranej z sieci.

Algorytm pozwala na minimalizację energii wymienianej z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym, przy pomocy zasobnika energii, wspierając tym samym lokalne bilansowanie energii.



Rys. 2. Uproszczony model badanej mikroście z zaznaczonym kierunkiem przepływu mocy

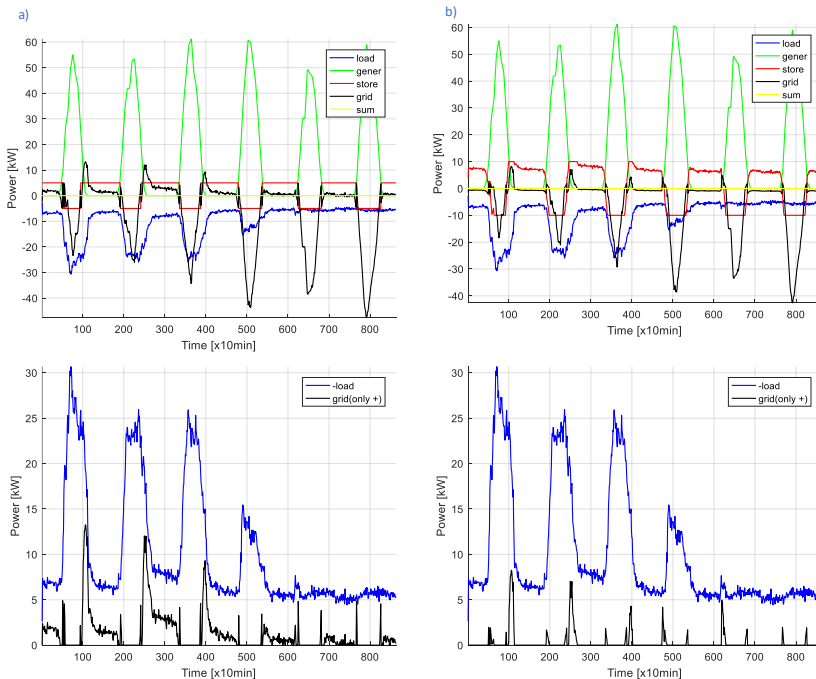


Rys. 3. Algorytm działania scenariusza realizującego najmniejszą wymianę energii z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym

3. WYNIKI SYMULACJI

Generacja oparta na fotowoltaice nie może pokryć całego zapotrzebowania na moc obciążenia. Ze względu na losowy charakter generacji oraz jej ścisłą zależność od pór roku, zimą generacja jest niewielka, współpraca z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym jest konieczna. Odpowiednio dobrany scenariusz pozwala na optymalizację współpracy między generatorem PV, odbiorem, zasobnikiem oraz siecią. Algorytm oparty na minimalizacji ilości mocy wysyłanej i pobieranej z zewnętrznego systemu elektroenergetycznego jest jednym z wielu możliwych scenariuszy. W zależności od celów, można stosować różne algorytmy. Dla przykładu zrealizowany scenariusz porównano z innym, realizującym maksymalne wykorzystanie mocy pozyskanej z generacji PV (Rys. 4).

W wyniku działania obu scenariuszy otrzymano podobne przebiegi przepływów mocy. Jednak zgodnie z założeniami, w przypadku algorytmu realizującego minimalizację współpracy z siecią, na wykresie można zaobserwować znacznie mniejszą wartość mocy przepływającą do systemu. Wykorzystane scenariusze różnią się również sposobem wykorzystania zasobnika energii.



Rys. 4. Wyniki algorytmu działania scenariusza opartego na maksymalnym wykorzystaniu mocy pozyskanej z generacji (a) oraz algorytmu realizującego najmniejszą współpracę z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym (b)

4. PODSUMOWANIE

Zasobniki energii odgrywają ważną rolę w sterowaniu przepływami energii w sieci. Ich instalacja w mikrosieci umożliwi magazynowanie energii, gdy generacja przekracza wartość odbioru i oddawanie energii w przypadku, kiedy zapotrzebowanie rośnie, wspomagając tym samym lokalne bilansowanie mocy.

Mimo niewątpliwych zalet stosowania zasobników energii, nie mogą one zapewnić zasilania, gdy generacja jest zbyt mała, np. w przypadku bardzo małej generacji zimą, celem jest więc umożliwienie połączenia mikrosieci z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym.

W dobie postępu technicznego, związanego z możliwościami sterowania elementami znajdującymi się w mikrosieci, ważne jest poszukiwanie coraz lepszych algorytmów sterujących. Zależnie od warunków i celów, jakie chcemy uzyskać, scenariusze sterowania przepływem mocy w mikrosieci mogą przybierać różne formy. Inny scenariusz stosowany jest, gdy celem jest minimalizacja współpracy z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym, a inny, gdy priorytetem są warunki ekonomiczne. Niezależnie jednak od celu odpowiednio sformułowany algorytm sterowania pozwala zoptymalizować pracę mikrosieci.

Optymalizacja pracy mikrosieci może być realizowana nie tylko za pomocą dobrze sformułowanych scenariuszy, ale również przez odpowiednie dobranie parametrów elementów, wchodzących w jej skład. Parametry elementów mikrosieci optymalizowane muszą być ze względu na wymagane kryterium oraz przyjęty algorytm sterowania.

LITERATURA

- [1] BEDNAREK K., *Akumulatory czy superkondensatory – zasobniki energii w UPS-ach*. W: Elektro.info, nr 1-2 (101), 2012, s. 54-57.
- [2] BEDNAREK K., KASPRZYK L., *Zasobniki energii w systemach elektrycznych – część 1. Charakterystyka problemu*. W: Academic Journals, Electrical engineering, No 69, Poznan University of Technology, Poznań 2012, p. 199-207.
- [3] BEDNAREK K., KASPRZYK L., *Zasobniki energii w systemach elektrycznych – część 2. Analizy porównawcze i aplikacje*. W: Academic Journals, Electrical engineering, No 69, Poznan University of Technology, Poznań 2012, p. 209-218.

ENERGY STORAGE IN DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES

The increased amount of distributed energy resources in the grid and their irregular, random generation cause problems with power balancing in the power system. Energy storage is important element of microgrid. It allows to increase control over the flow of generated energy. The article presents a brief overview of existing energy storages and discusses the most frequently used solutions. Then, on the basis

of the power flow control scenario in microgrid, the power flow and the work of one of the energy storage were presented. The generation data used during the simulation is the actual data collected from the installation located on the roof of the Wrocław University of Technology building, normalized to 1kW. The load come from a small town near Wrocław. The energy storage used in the presented characteristic of power flow is the Tesla storage.

Gustaw KOSTKA*

ZASTOSOWANIE SILNIKÓW SYNCHRONICZNYCH WZBUDZANYCH MAGNESAMI TRWAŁYMI W NAĘDACH POMP GŁÓWNEGO ODWADNIANIA

Artykuł zawiera opracowanie analizy techniczno-ekonomicznej modernizacji silników pompowni głównego odwadniania. Omówiono określenie możliwości oraz efektów ekonomicznych wynikających z zastosowania silników wzbudanych magnesami trwałymi LSPMSM (*Line Starting Permanent Magnet Synchronous Machine*) napędzających pompy głównego odwadniania w kopalniach dołowych na przykładzie Zakładów Górniczych „Lubin” KGHM Polska Miedź S.A. Po krótkiej analizie jaką rolę odgrywają pompy w kopalniach głębinowych, przedstawiono i przeanalizowano korzyści wynikające z przeprowadzonej modernizacji. Przeprowadzono także przybliżone obliczenia kosztów eksploatacyjnych zarówno silników z magnesami trwałymi i dotychczas stosowanych silników indukcyjnych pierścieniowych.

1. ROLA POMPOWNI W SYSTEMIE KOPALNIANYM

1.1. WSTĘP

Górnictwo od zawsze związane jest z zagrożeniami. Jednym z nich, które ograniczało jego rozwój jest woda. Podziemne wody uniemożliwiały pogłębianie kopalń w celu dostania się do głęboko położonych złóż. Wraz z rozwojem konstrukcji pomp na początku XIX wieku, nastąpił dynamiczny rozkwit górnictwa. Podstawową rolą pomp głównego odwadniania w kopalniach głębinowych jest wyprowadzenie wody gromadzącej się w podziemnych wyrobiskach w celu zapewnienia bezpieczeństwa pracujących tam ludzi. Obecnie systemy odwadniania kopalń są bardzo dobrze rozwinięte i niezawodne, dzięki czemu problem związany z zalewaniem wyrobisk został zażegnany. Najgłębsze wyrobiska są położone nawet 3500 m pod ziemią. Woda odgrywa także inną ważną rolę w procesie wydobywania, jest ona doprowadzana przez pompy do wyrobisk w celach technologicznych takich jak podsadzka bądź też zasilania rurociągów przeciwpożarowych.

* Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny

Poza aspektem bezpieczeństwa, systemy odwadniania kopalń bezpośrednio wpływają na sferę ekonomiczną, ponieważ ich budowa i ciągła eksploatacja łączy się z dużym poborem energii elektrycznej, która stanowi znaczny procent zapotrzebowania energetycznego zakładu. Pompy głównego odwadniania stanowią ok. 15% zapotrzebowania energetycznego zakładu. Spadek energochłonności pomp zapewni poprawa ich sprawności, na którą bezpośrednio wpływa energia pobierana przez napędzające je silniki. Sprawność zestawu pompowego jest iloczynem sprawności silnika i pompy. Przy wielu urządzeniach pracujących podczas pracy ciągłej, niewielki wzrost sprawności każdego z nich sumarycznie przyniesie duże oszczędności [1].

1.2. POMPOWNIA

Pompownia głównego odwadniania rejonu LW O/ZG „Lubin” znajduje się na poziomie 610 m przy szybach L-I i L-II. W pompowni znajduje się sześć pomp typu MHK 250x6, dwie pompy OS-150 wraz z węzłem redukcyjnym dla zasilania przeciwpożarowego oraz zestaw hydroforowy. Pompy typu MHK to pompy o budowie zamkniętej, poziomej, odśrodkowej wielostopniowej. Ich przeznaczeniem jest odprowadzanie wody kopalnianej na powierzchnię. Zespół pompowy typu OS-150 zasilany jest silnikami indukcyjnymi typu Sg315 S-4 o mocy 110 kW zasilanych napięciem 500 V. Zestaw hydroforowy składa się z czterech pomp napędzanych 30 kW silnikami o napięciu 500 V i prędkości obrotowej 2900 obr/min. Ich zadaniem jest zasilanie oddziałów górniczych w wodę przepuszczalną [3][4].

2. MODERNIZACJA

2.1. ZAKRES

W zakres modernizacji pompowni głównego odwadniania w O/ZG „Lubin” wchodziła wymiana silnika indukcyjnego pierścieniowego typu SBUD-144 i pompy typu OW-250F/10, zastępując je nowoczesnymi jednostkami w skład których wchodzi trójfazowy silnik synchroniczny z magnesami trwałymi LSPMSM typu S1 560X-4Apm i pompa MHK 250x6.

2.2. ANALIZA

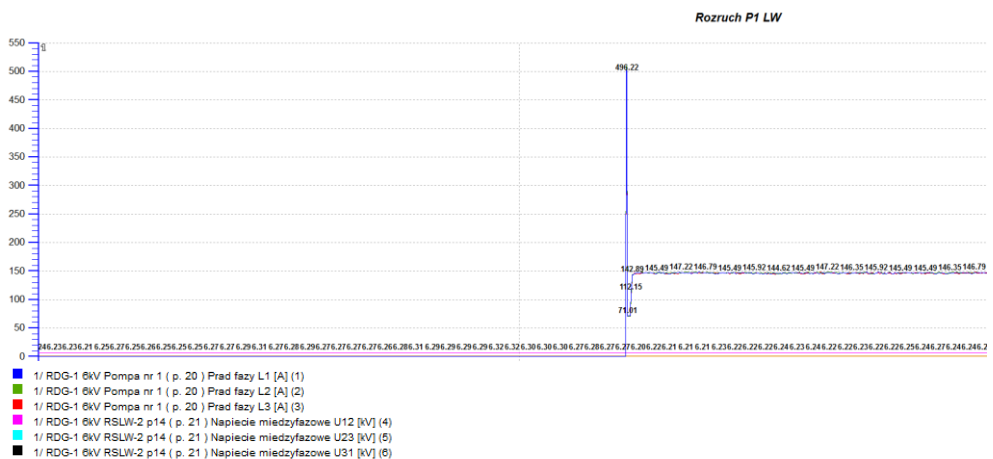
Oba silniki są mocy 1600 kW oraz zasilane są średnim napięciem 6 kV. Analizując dane znamionowe obydwu silników można zauważyć o wiele mniejszy prąd znamionowy silnika z magnesami trwałymi, a także o wiele większy współczynnik mocy. Dzięki osiągnięciu wysokiej wartości współczynnika mocy.



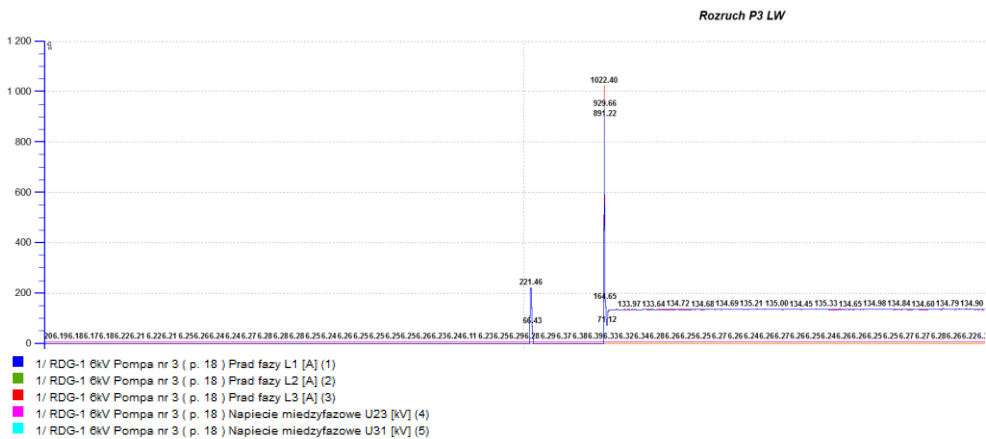
Rys. 1. Zdjęcie silnika synchronicznego z magnesami trwałymi typu S1 560X-4Apm.

Tabela 1. Zestawienie danych znamionowych silnika indukcyjnego pierścieniowego i synchronicznego z magnesami trwałymi.

Typ	-	SBUd-144	S1 560X-4Apm
Moc znamionowa	kW	1600	1600
Napięcie zasilania	V	6000	6000
Częstotliwość	Hz	50	50
Prąd znamionowy	A	180	159
Współczynnik mocy	-	0,91	0,98
Sprawność	%	94,5	98,7
Prędkość obrotowa	obr/min	1480	1500



Rys. 2. Przebiegi prądów i napięć podczas rozruchu silnika indukcyjnego typu SBUd-144



Rys. 3. Przebiegi prądów i napięć podczas rozruchu silnika synchronicznego z magnesami trwałymi LSPMSM typu S1 560X-4Apm

Analizując przebiegi prądu podczas rozruchu obu maszyn widać znacznie większy prąd rozruchowy silnika synchronicznego z magnesami trwałymi z bezpośrednim rozruchem. Podczas ustalonej pracy, prąd roboczy jest mniejszy o około 8% w stosunku do odpowiadającego mu prądu silnika typu SBUD-144 co bezpośrednio wpływa na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej. Układ pompowy charakteryzuje się o wiele większą sprawnością niż w porównaniu do napędzanego silnikiem indukcyjnym pierścieniowym.

Obliczenia kosztów zużycia energii elektrycznej dla silnika typu SBUD-144 oraz silnika typu S1 560X-4Apm w czasie trzystu dni

SBUD-144:

$$K = \frac{P_n \cdot h \cdot c_e}{\eta} = \frac{1600 \cdot 7200 \cdot 0,3}{94,5} = 36571,43 \text{ zł} \quad (1)$$

S1 560X-4Apm:

$$K = \frac{P_n \cdot h \cdot c_e}{\eta} = \frac{1600 \cdot 7200 \cdot 0,3}{98,7} = 35015,20 \text{ zł} \quad (2)$$

P_n – moc znamionow

h – czas pracy w godzinach

η – sprawność

c_e – szacowana cena energii elektrycznej za kWh

Mniejszy pobór energii to nie jedyna oszczędność związana z modernizacją napędów pomp. Silnika z magnesami trwałymi LSPMSM może być uruchamiany przez bezpośrednie

włączenie do napięcia zasilającego co umożliwia eliminację rozruszników. W silnikach typu SBUD-144 stosowane były rozruszniki wirowe WIRLEG 2, w których generowane były dodatkowe straty energii.

Zastosowanie silnika synchronicznego z magnesami trwałymi, eliminuje koszty związane z konserwacją pierścieni ślizgowych oraz wymianą szczotek. Dzięki budowie zamkniętej silników synchronicznych z magnesami trwałymi nie ma potrzeby wykonywania przeglądów (badania stanu izolacji) przed uruchomieniem, które wykonywane były dla silników typu SBUD-144.

3. PODSUMOWANIE

Dzięki modernizacji zestawów pompowych, polegającej na wymianie silników napędowych na synchroniczne wzbudzone magnesami trwałymi uzyskuje się zmniejszenie kosztów związanych z eksploatacją przez:

- zwiększenie sprawności całego zestawu pompowego,
- dzięki dużemu współczynnikowi mocy silnika, wyeliminowanie urządzeń do kompensacji energii biernej,
- zmniejszenie strat podczas rozruchu bezpośredniego,
- zmniejszenie kosztów związanych z wyeliminowaniem przeglądów technicznych oraz kosztami wymiany szczotek zestawu ślizgowego.

LITERATURA

- [1] PANTUŁA G., STRĄCZYŃSKI M., *Podręcznik eksploatacji pomp w górnictwie*, Wydawnictwo Seidel-Przywiecki Sp. z o. o. Wydanie pierwsze, Warszawa 2013.
- [2] ZAWILAK J., ZAWILAK T., *Energooszczędne silniki synchroniczne z magnesami trwałymi o dużej sprawności*, Przegląd Elektrotechniczny, 2014 vol 90, 224-226.
- [3] ZAWILAK J., ZAWILAK T., *Energooszczędne silniki synchroniczne z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim*, Instytut Maszyn, Napędów i pomiarów elektrycznych, Politechnika Wrocławska, 2013.
- [4] ZAWILAK T., *Silnik synchroniczny wzbudzany magnesami trwałymi w napędzie pompy dużej mocy*, Maszyny Elektryczne- Zeszyty Problemowe Nr 2/2015 (106).

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF THE SYNCHRONOUS MOTORS WITH PERMANENT MAGNETS IN THE PUMP DRIVES IN THE MAIN

The article contains a technical and economic analysis of the modernization of main pumping stations of the drainage system. It discusses the possibilities and economic effects of magnetic motors permanently LSPMSM (*Line Starting Permanent Magnet Synchronous Machine*) driving the main drainage pump in mines. After a brief analysis of the role of pumps in mines, the benefits of modernization will be presented and analyzed. We have also analyzed the operating cost before and after modernization.

Kateryna OSYPENKO*, Valery ZHUIKOV*, Vadym MARTYNYUK*

THE LINEAR APPROXIMATION OF WIND SPEED CHANGE FUNCTION

In the article the features of energy summation from two wind generators, located at a certain distance from each other, are considered. The method of calculating the correlation function between the wind flow speed change functions in the direction of wind distribution is presented. The formulas for describing the fluctuation components of energy at the output of the wind generator are given for two cases: when the phases of the fluctuations of the wind flow on two wind generators are the same and when the fluctuations of the wind flow are in the antiphases. It is shown that to increase the energy level that can be taken from the wind power plant it is necessary to control the phase shift between the energy fluctuations at the output of the wind generators and use the energy of the storages; and to use linear approximations to approximate the wind speed change function. Under the condition of a linear change of the internal resistance of the wind generator in time, it is advisable to introduce the wind speed change function with linear approximations. A table with formulas and graphs describing the first 8 functions of the piecewise-linear Walsh functions, which are arranged in order of increasing the number of their sign alternatings on the interval of functions definition, is presented. An example of the expansion of a linearly increasing function in a series of piecewise linear Walsh functions is given.

1. INTRODUCTION

The share of electrical energy, generated by renewable energy sources, on the territory of Ukraine is about 2% of the total amount of electrical energy produced [1]. According to the approximate estimates, the installed power of renewable sources in Ukraine is 10 GW, about 420 MW of which is accounted for the wind power plants [2]. A significant increase in the total capacity of wind power plants in Ukraine (more than 100 MW in the last year) requires a case study on increasing of energy efficiency of wind power plants.

* National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

The application of Heisenberg's uncertainty principle [3] indicates that in order to maximize the efficiency of wind power plants operation, it is necessary to implement two-channel control: on a basic interval to provide the required level of energy for the charge of the storage (the duration of the basic interval is determined on the basis of specific conditions); on the minimum duration of the observation interval to provide the required level of maximum energy that can be taken from the wind power plants. To implement the selection of maximum energy from a wind power plant it is necessary to take into account the distance between individual wind generators and their mutual influence. The dynamic change in the magnitude and direction of the wind flow speed and, consequently, the internal resistance of the equivalent wind generators source leads to changes in conditions for the maximum energy selection, the basis of which is based on the assumption that the parameters of the source linearly change in time [4]. In this regard, it is necessary: firstly, to investigate the influence of the distance between the wind generators on conditions for the maximum energy selection; and secondly, to consider the representation of the wind speed change function by linear approximations.

2. CORRELATION BETWEEN WIND SPEED CHANGE FUNCTIONS

Let us consider a simplified scheme of the wind generators $1...j$ placement (Fig. 1) at a distance from each other, both in the coordinate Ox and in the coordinate Oy . In Fig. 1 two possible directions of wind flow are given. In case I, the wind generator 1 is the first on the way to the front of the wind flow, and in the case II, the wind generator j is be the first. Each wind generator is connected to the energy summation unit Σ via converter and storage C_i .

Let us determine the conditions under which, in the case of fluctuations in the wind flow, the selection of maximum energy is ensured. In order to ensure the selection of maximum energy from a wind power plant, it is necessary to consider the mutual influence of the distance between the wind generators on the selection of energy from each of them. For example of two wind generators (1 and 2), with distance S between them in the direction of propagation of the wind flow. In given case the wind flow is considered uniform with fluctuations relative to some average wind speed. For the consistent work of wind generators a significant correlation function $C(\tau)$ for the functions of the wind speed V_1 and V_2 is given:

$$C(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T V_1(t) V_2(t + \tau) dt \quad (1)$$

This function is close to the autocorrelation function with shift τ , provided that $V_1 \approx V_2$.

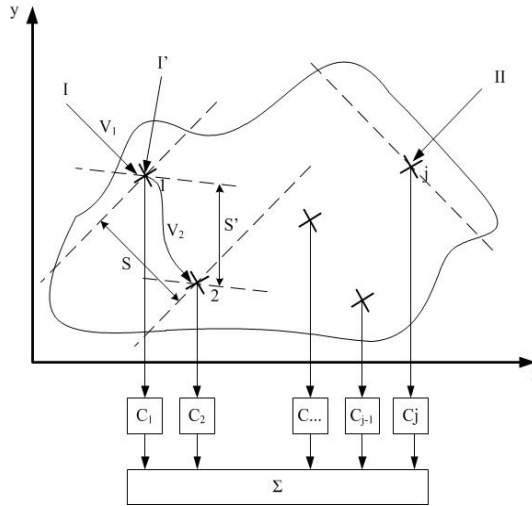


Fig. 1. Simplified scheme of a wind power plant placement

To simplify the calculations, we assume that the wind flow passes distance S for time t_s and fluctuations of the wind flow are described by the function f_f in the sinusoidal law with amplitude A_m and frequency $\Omega = 2\pi / T$; $f_f = A_m \sin \Omega t$. Then the correlation function is determined by the following equation:

$$C(t_s) = \frac{1}{T} \int_0^T A_m \sin \Omega t \cdot A_m \sin \Omega(t + t_s) dt = \quad (2)$$

$$= \frac{A_m^2}{4T\Omega} (\sin \Omega t_s - \sin(2\Omega T + \Omega t_s) + 2\Omega T \cos \Omega t_s)$$

Correlation function will be equal to 1 if the phases of the fluctuations of the wind flow V_1 and V_2 on the wind generators I and 2 are the same. Then the total energy from the two wind generators will be proportional to the wind speed in $W_w \sim V^3$, and the total value of the fluctuation energy component at the output of the wind generator f_w is described as following:

$$f_w = \frac{3}{2} A_m^3 \sin \Omega t - \frac{1}{2} A_m^3 \sin 3\Omega t \quad (3)$$

Since the correlation function depends on the time interval τ , then for certain values of this interval, for example, for $\tau = \pi / 2$, the wind speed change function on the second wind generator will vary according to the cosine law. Then the total value of the fluctuation energy component at the output of the wind generator is described as following:

$$f'_W = \frac{3\sqrt{2}}{4} A_m^3 \sin(\Omega t + 45^\circ) + \frac{\sqrt{2}}{4} A_m^3 \sin(3\Omega t - 45^\circ) \quad (4)$$

Thus, the amplitude of the energy from the fluctuation component decreases in $\sqrt{2} / 2$ times, the pulsation amplitude also decreases, but harmonic pulsations with a frequency of 3Ω appear. In order to increase the energy that can be taken from a wind power plant, it is necessary to control the phase shift between the energy fluctuations at the output of the wind generators. The energy of the storages can be used to provide the necessary phase and suppress harmonics with a frequency of 3Ω that can be generated in the supply network.

When changing the direction of the wind (case I'), the distance between the wind generators S changes accordingly, but the method for estimating the level of energy and pulsations remains the same.

3. APPROXIMATION WITH LINEARLY INCREASING FUNCTIONS

It is necessary to pay attention to the possibility of increasing of the energy level that can be taken from a wind generator, provided that the winder is oriented towards the direction of the wind flow which changes, for example, from I to I' (Fig. 1). In this case, the internal resistance of the wind generator will be considered a linear function of time [4]. The transition current in the output circle of the wind generators equivalent source varies according to Gaussian's law:

$$i(t) = A \cdot e^{-(t/\tau)^2} \quad (5)$$

which allows to increase the level of energy that can be taken from the wind generator up to 2%. Therefore, it is expedient to present the wind speed change function with linear approximations.

It is known from the approximation theory that with the appropriate choice of approximating functions, the approximation with orthogonal functions provides the least error. Since it is necessary to provide a linear approximation of the wind speed change function, it is expedient to select orthogonal functions that provide such approximation. These functions, in particular, include orthonormal functions of Franklin [5]. But, given their non-periodicity and asymmetry, it is expedient to construct a system of orthonormalized piecewise-linear Walsh functions according W_{linear} [6], which are constructed in accordance to the following equations:

$$\begin{cases} W_{linear0} = 1 \\ W_{linear i} = W_{ik} (n\sqrt{3}t - (k-1)\sqrt{3}), k = 1 \dots n \end{cases} \quad (6)$$

where i – number of piecewise-linear function, $i = 0..n$; n – system dimension (number of functions); k – number of partitioning interval; W_{ik} – value of i -th Walsh function at the k -th partitioning interval. The system of these functions satisfies the conditions of Gram-Schmidt orthogonalization.

These functions, as well as Walsh functions, can be arranged in different ways: by Hadamard, by Rademacher, by Pelley [7]. Table 1 shows the expressions that describe first, fourth and seventh functions of the piecewise-linear Walsh functions, which are arranged in order of increasing the number of their sign changes in the interval of the functions definition.

For an example, we expand a linearly increasing function $y = 3.15t$ in a series of piecewise-linear Walsh functions. The coefficients of the series are: $C_0 = 1.575$, $C_1 = -0.682$, $C_2 = 0$, $C_3 = -0.334$, $C_4 = 0$, $C_5 = 0$, $C_6 = 0$, $C_7 = -0.17$. The result of expansion is shown in Fig. 2.

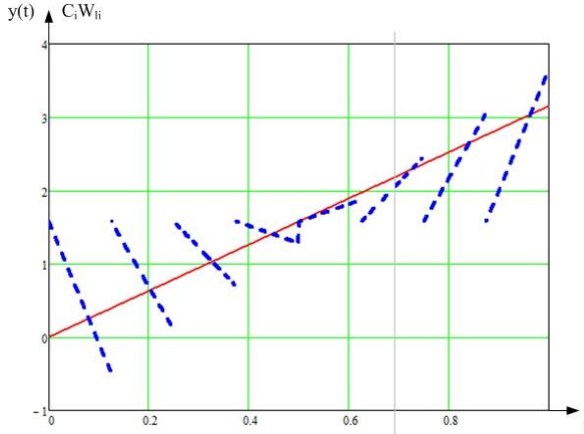


Fig. 2. The result of expansion of a linearly increasing function in piecewise-linear Walsh functions series

It should be noted that in the case when the approximation is made for a function different from a linear one, in order to obtain a linear approximation, the final result will be better than indicated.

The approximation error with such expansion is:

$$\delta = \sqrt{\int_0^1 (y(t) - C_i W_{ik})^2 dt} = 46,5\% \quad (7)$$

Table 1. The system of piecewise-linear Walsh functions

Function number, i	Formula	Graphical representation
1	$\begin{cases} 8\sqrt{3}t, & 0 \leq t \leq 0,125 \\ 8\sqrt{3}t - \sqrt{3}, & 0,125 \leq t \leq 0,25 \\ 8\sqrt{3}t - 2\sqrt{3}, & 0,25 \leq t \leq 0,375 \\ 8\sqrt{3}t - 3\sqrt{3}, & 0,375 \leq t \leq 0,5 \\ -8\sqrt{3}t + 4\sqrt{3}, & 0,5 \leq t \leq 0,625 \\ -8\sqrt{3}t + 5\sqrt{3}, & 0,625 \leq t \leq 0,75 \\ -8\sqrt{3}t + 6\sqrt{3}, & 0,75 \leq t \leq 0,875 \\ -8\sqrt{3}t + 7\sqrt{3}, & 0,875 \leq t \leq 1 \end{cases}$	
4	$\begin{cases} 8\sqrt{3}t, & 0 \leq t \leq 0,125 \\ -8\sqrt{3}t + \sqrt{3}, & 0,125 \leq t \leq 0,25 \\ -8\sqrt{3}t + 2\sqrt{3}, & 0,25 \leq t \leq 0,375 \\ 8\sqrt{3}t - 3\sqrt{3}, & 0,375 \leq t \leq 0,5 \\ 8\sqrt{3}t - 4\sqrt{3}, & 0,5 \leq t \leq 0,625 \\ -8\sqrt{3}t + 5\sqrt{3}, & 0,625 \leq t \leq 0,75 \\ -8\sqrt{3}t + 6\sqrt{3}, & 0,75 \leq t \leq 0,875 \\ 8\sqrt{3}t - 7\sqrt{3}, & 0,875 \leq t \leq 1 \end{cases}$	
7	$\begin{cases} 8\sqrt{3}t, & 0 \leq t \leq 0,125 \\ -8\sqrt{3}t + \sqrt{3}, & 0,125 \leq t \leq 0,25 \\ 8\sqrt{3}t - 2\sqrt{3}, & 0,25 \leq t \leq 0,375 \\ -8\sqrt{3}t + 3\sqrt{3}, & 0,375 \leq t \leq 0,5 \\ 8\sqrt{3}t - 4\sqrt{3}, & 0,5 \leq t \leq 0,625 \\ -8\sqrt{3}t + 5\sqrt{3}, & 0,625 \leq t \leq 0,75 \\ 8\sqrt{3}t - 6\sqrt{3}, & 0,75 \leq t \leq 0,875 \\ -8\sqrt{3}t + 7\sqrt{3}, & 0,875 \leq t \leq 1 \end{cases}$	

3. CONCLUSIONS

Thus, in order to increase the energy that can be taken from wind generators, it is necessary to fulfill several conditions. First, to control the phase shift between the functions of the energy fluctuations at their outputs. Second, to use the energy of converters and storages to suppress harmonics with a frequency of 3Ω that can be generated in the supply network. Third, to use linear approximations, for example, the piecewise-linear Walsh functions, to approximate the wind speed change function.

REFERENCES

- [1] SUHODOLYA L., *Current state, problems and prospects of hydropower development in Ukraine*, National Institute for Strategic Studies, Analytical report, 2014.
- [2] PRAHOVNYK A., *Harmony of Ukraine's energy and energy efficiency paths to world trends*, Kyiv, Knowledge, 2003, p. 100.
- [3] OSYPENKO K.; ZHUIKOV V., *Heisenberg's uncertainty principle in evaluating the renewable sources power level*, Technical Electrodynamics, Vol. 1, 2017, pp. 10-16.
- [4] ZHUIKOV V., OSYPENKO K., *Compensator currents form determination considering wind generator aerodynamic resistance*, Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), 2014 IEEE International Conference on, 2014, pp. 168-170.
- [5] OSYPENKO K., ZHUIKOV V., *The linearization of primary energy flow parameters change function Franklin discrete functions*, Electronics and communication, vol. 4, 2016, pp. 33-37.
- [6] KORN G., KORN T., *Mathematical handbook for scientists and engineers*, Moscow, USSR: Science, 1974.
- [7] TRAHTMAN A., TRAHTMAN V., *The fundamentals of the theory of discrete signals on finite intervals*, Moscow, USSR: Soviet radio, 1975.

Krystian Leonard CHRZAN*, Krzysztof BRZEZIŃSKI*

WYTRZYMAŁOŚĆ ELEKTRYCZNA POWIETRZA PRZY NAPIĘCIU PRZEMIENNYM, MODYFIKACJA PROGRAMU ĆWICZENIA W LABORATORIUM STUDENCKIM

Wykonano pomiary napięcia przebicia iskiernika płyta-płyta w zakresie odstępów 0,26-3,1 cm. Dzięki zmianie metody pomiaru odległości elektrod uzyskano wyniki zgodne z teorią Paschena. Zbadano wpływ położenia bariery w postaci kartki papieru lub folii aluminiowej na wytrzymałość elektryczną iskiernika ostrzowego. Eksperymenty te mogą być wykorzystane do modyfikacji programu ćwiczeń studenckich w laboratorium wysokich napięć.

1. WSTĘP

W laboratorium wysokich napięć Politechniki Wrocławskiej od kilkadziesiąt lat studenci wykonują dwa ćwiczenia: a) wytrzymałość powietrza w polu równomiernym i słabo nierównomiernym, b) wytrzymałość powietrza w polu nierównomiernym. W pierwszym ćwiczeniu mierzy się napięcie przebicia w iskierniku płyta-płyta. Studenci mogą tu m. in. wyznaczyć wytrzymałość powietrza zgodnie z jego definicją. W polu równomiernym wytrzymałość powietrza maleje ze wzrostem odległości elektrod. Jednak wyniki pomiarów zgodne z teorią (prawem Paschena) uzyskano dopiero po zmianie metody pomiaru odległości. W drugim ćwiczeniu studenci mierzą napięcie przebicia w iskierniku ostrze-ostrze. Program tego ćwiczenia rozszerzono o pomiary napięcia przebicia po wprowadzeniu cienkiej bariery w postaci kartki papieru lub folii aluminiowej pomiędzy elektrody iskiernika.

* Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

W dalszych dwóch podrozdziałach omówiono własności powietrza w jednorodnym polu elektrycznym (np. pomiędzy elektrodami iskiernika płyta-płyta) i wpływ cienkich płyt dielektrycznych w niejednorodnym polu elektrycznym na wytrzymałość elektryczną.

2.1. ZALEŻNOŚĆ NAPIĘCIA PRZEBICIA OD ODLEGŁOŚCI ELEKTROD W JEDNORODNYM POLU ELEKTRYCZNYM

W niejednorodnym polu elektrycznym napięcie przebicia nie jest proporcjonalne do odległości elektrod. Zwiększanie odległości powoduje coraz wolniejsze przyrosty napięcia przebicia. Innymi słowy, wytrzymałość elektryczna dużych odstępów powietrznych (mierzona w kV/cm) jest relatywnie mniejsza od wytrzymałości krótszych przerw powietrznych.

Zmiany napięcia przebicia w polu jednorodnym opisuje prawo Paschena.

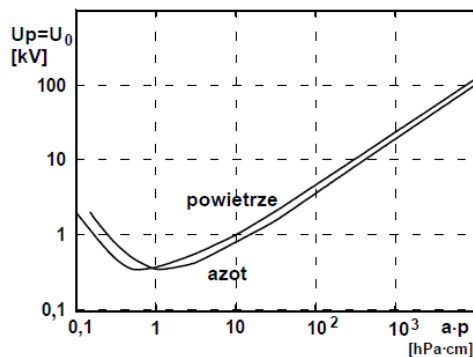
$$U_O = U_P = \frac{B \cdot p \cdot a}{\ln \frac{A \cdot p \cdot a}{\ln \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right)}} = \int f(p \cdot a) \quad (1)$$

gdzie:

U_O, U_P - odpowiednio napięcie początkowe rozwoju wyładowania samodzielnego,
napięcie przebicia (polu równomiernym $U_O = U_P$)

A, B, γ - stałe zależne od rodzaju gazu i materiału elektrod

a – odstęp elektrod



Rys. 1. Krzywa Paschena dla powietrza i azotu

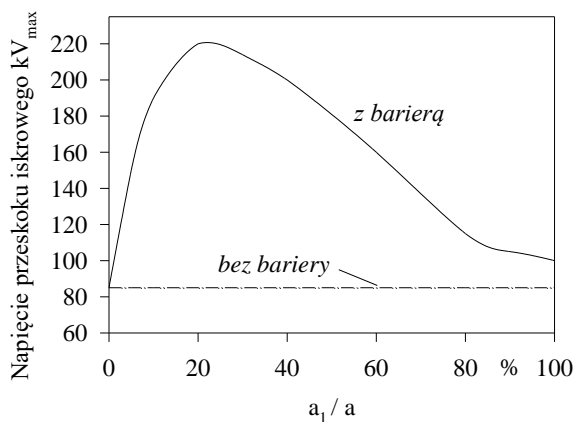
W powietrzu o ciśnieniu atmosferycznym minimum funkcji z rys. 1 $U=350$ V występuje dla bardzo małej odległości elektrod $5 \mu\text{m}$ [1]. W układach izolacyjnych tak małych odległości elektrod nie można wykorzystywać, dlatego w praktyce napięcie przebicia układu izolacyjnego w powietrzu atmosferycznym zawsze można wyznaczyć po prawej stronie minimum krzywej Paschena. Ta część krzywej nie rośnie wprost proporcjonalnie z odległością elektrod i dlatego napięcie przebicia w polu równomiernym nie jest wprost proporcjonalne do odległości elektrod, przy odległości elektrod 1 mm wynosi 45 kVmax/cm , przy odległości 1 cm wynosi 31 kVmax/cm a przy odległości 10 cm spada do wartości 26 kVmax/cm .

2.2. WPLYW CIENKICH BARIER DIELEKTRYCZNYCH

Barьеры dielektryczne są stosowane od wielu lat [2] w celu zwiększenia wytrzymałości elektrycznej układów izolacyjnych powietrznych lub olejowych. Bariery umożliwiają zmniejszenie wymiarów rozdzielni elektrycznych zwłaszcza średnich napięć lub aparatów elektrycznych, np. wyłączników. Bariery wykonywane są z różnych stałych materiałów dielektrycznych (żywice epoksydowe, ebonit, kauczuk silikonowy) i o różnej grubości. Zazwyczaj dobiera się taką grubość bariery aby nie została przebita jeśli napięcie osiągnie wartość wystarczającą do wywołania pełnego zwarcia pomiędzy elektrodami ponad (pod lub obok) bariery. Grubość takich barier może wynosić kilka, kilkanaście milimetrów. Bariera gruba wytrzymuje tzw. niepełne zwarcie, gdy napięcie osiągnie wartość wystarczającą do przebicia powietrza pomiędzy barierą a elektrodami a zbyt małą aby spowodować pełne zwarcie. Jednak zastosowanie nawet bardzo cienkiej bariery ($a \ll 1 \text{ mm}$) może istotnie zwiększyć wytrzymałość danego układu izolacyjnego. Bariera cienka może być przebita po przebiciu powietrza przez wyładowania strimerowe. Jeśli przebicie bariery jest ograniczone do cienkiego kanału, to tak uszkodzona bariera nie traci całkowicie swoich własności. Kolejne przebicia powietrza występują wówczas przy napięciu wyższym niż bez bariery a przebicie bariery może występować w innym miejscu.

Największe zwiększenie wytrzymałości elektrycznej po zastosowaniu barier wykazują układy typu ostrze płyta. Bariera wyrównuje wówczas pole elektryczne w obszarze bariera-płyta. W tym układzie optymalnym położeniem bariery jest jej miejsce odległe od ostrza o 25% całkowitego odstepu międzyelektrodowego (rys. 2).

Kartka papieru rysunkowego ustawiona w optymalnym położeniu powoduje wzrost wytrzymałości z 85 kV do 220 kV (aż o 260%). Zwraca uwagę, że gdy bariera dotyka elektrody ostrzowej, wówczas napięcie przeskoku jest takie same jak napięcie przebicia bez bariery.



Rys. 2. Wpływ położenia przegrody z papieru rysunkowego na napięcie przeskoku układu ostrze- płyta przy napięciu przemiennym 50 Hz [3]. Odległość elektrod $a=12$ cm, kartka ustawiona w odległości a_1 od wysokonapięciowej elektrody ostrzowej

3. MODYFIKACJA ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

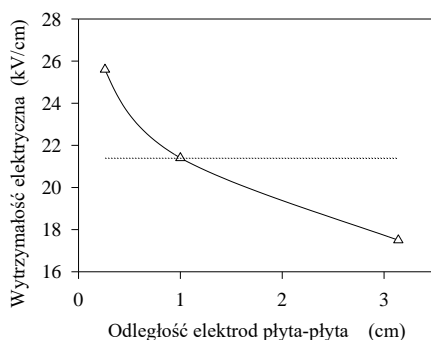
3.1. POTWIERDZENIE KRZYWEJ PASCHENA W POWIETRZU PRZY CIŚNIENIU ATMOSFERYCZNYM

Do pomiarów napięcia przebicia powietrza przy ciśnieniu atmosferycznym w jednorodnym polu elektrycznym wykorzystano iskiernik płyta-płyta o średnicy elektrod 22 cm i promieniu krawędzi 0,9 cm (rys. 3). Dotychczas odstęp pomiędzy elektrodami mierzono za pomocą zegara umieszczonego z prawej strony iskiernika (rys. 3). Okazało się, że pomiar ten jest obciążony znacznym błędem. Na przykład, odległości elektrod wyznaczone za pomocą specjalnie do celu wykonanych odstępników w postaci płyt o grubości 0,26; 1,0; 3,14 cm a zmierzone zegarem wyniosły odpowiednio: 0,28; 0,97; 28,5. Dlatego ustalanie odległości elektrod iskiernika płyta-płyta należy wykonywać za pomocą odstępników płytowych.

Pomiary napięcia przebicia wykonano metodą „schodkową” polegającą na podnoszeniu napięcia w zakresie prawdopodobnego napięcia przebicia o zaledwie 1 kV, odczekaniu 3 sekund i ponownym podniesieniu napięcia o 1 kV. Wyniki przedstawione a rys. 4 pokazują, że wytrzymałość powietrza w zakresie odstępów 0,26-3,1 cm zmniejsza się od 25-17 kV (wartości skuteczne napięcia). Napięcie przebicia przy 1 cm wynosi 21,5 kV czyli 30,3 kV wartości maksymalne napięcia. Pomiary wykonano bez korekty do warunków normalnych.



Rys. 3. Iskiernik płyt-płyta. Na podstawie widoczne są odstępniiki płytowe

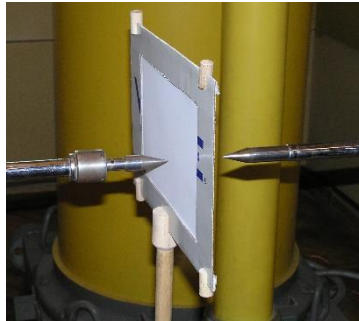


Rys. 4. Wytrzymałość powietrza pomiędzy płaskimi elektrodami mierzona przy różnych odległościach elektrod. Napięcie podane w wartościach skutecznych

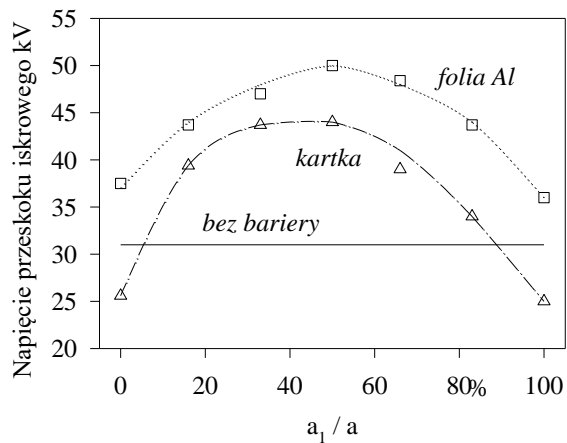
3.2. BARIERY POMIĘDZY ELEKTRODAMI ISKIERNIKA OSTRZE-OSTRZE

Zbadano wpływ barier na napięcie przebicia iskiernika ostrzowego. Bariery w postaci kartki formatu A4 z papieru do wydruków lub folii aluminiowej umieszczono w ramce pomiędzy elektrodami iskiernika (rys. 5). Jeśli bariera nie dotykała elektrody, wówczas znajdowała się na tzw. wolnym potencjale.

Wpływ położenia barier na napięcie przebicia iskrowego układu przedstawia rys. 6. Optymalne położenie barier znajduje się w połowie odległości elektrod. W odniesieniu do wytrzymałości bez barier, kartka papieru powoduje wzrost napięcia przebicia z 31 do 44 kV a folia do 50 kV. Okazuje się, że przewodząca folia aluminiowa jest bardziej skuteczną barierą niż izolacyjna kartka papieru. Umieszczenie kartki papieru bezpośrednio przy elektrodzie powoduje obniżenie napięcia przebicia. Natomiast umieszczenie folii aluminiowej przy elektrodzie podwyższa nieznacznie napięcie przebicia.



Rys. 5. Bariera z papieru do wydruków umieszczona w iskierniku ostrze-ostrze



Rys. 6. Wpływ położenia przegrody z papieru do wydruków lub z folii aluminiowej na napięcie przeskoku układu ostrze-ostrze przy napięciu przemiennym 50 Hz. Odległość elektrod $a=6$ cm, bariera ustawiona w odległości a_1 od wysokonapięciowej elektrody ostrzowej

LITERATURA

- [1] CHRZAN K. L., *Ćwiczenia w laboratorium wysokich napięć*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne 2013
- [2] ROSER H., *Schirme zur Erhoehung der Durchschlagspannung in Luft*, ETZ, H. 17, Vol. 53, pp. 411-412, 1932
- [3] BABIKOW M. A., KOMAROW N. S., SIERGIEJEW A. S., *Technika Wysokich Napięć*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1967

ELECTRICAL WITHSTAND OF ATMOSPHERIC AIR UNDER 50 HZ ALTERNATING VOLTAGE.
MODIFICATION OF STUDENT LABORATORY TRAINING

The breakdown voltage of plate-plate air gap as a function of electrode distance in the range of 0,26-3,1 cm was measured. The results agreement was found due to change in electrode distance measurement method. Influence of printing paper or aluminium foil barriers position on the spark breakdown voltage of pin-pin air gap under 50 Hz alternating voltage was shown. The presented experiments can be used for modification of student laboratory training.

Marek MARCHEWKA*

SILNIK INDUKCYJNY ŚREDNIEJ MOCY Z OGRANICZONYM HAŁASEM

Rozpatrywanie zagadnień dotyczących hałasu silników indukcyjnych jest związane z momentem elektromagnetycznym a w zasadzie z jego pulsacją. Tętnienie momentu może być ograniczane przez odpowiedni dobór liczby żłobków stojana oraz wirnika, grubości szczeliny powietrznej czy odpowiedni skos żłobków. Przy użyciu modelu silnika indukcyjnego klatkowego średniej mocy, zbadano wpływ ilości żłobków wirnika na pulsacje momentu.

1. WSTĘP

Maszyny asynchroniczne charakteryzują się prostą budową oraz stosunkowo niskim kosztem produkcji. Szacuje się, że na świecie około 46% [4] wyprodukowanej energii zużywają napędy wykorzystujące takie silniki. Właśnie ze względu na powszechność wykorzystania niezwykle ważne jest by na etapie projektowania uwzględniać zjawiska elektromagnetyczne, ciepłno-wentylacyjne, wibracyjno-akustyczne czy wytrzymałościowe.

W praktyce maszyna powinna być niezawodna, energooszczędna i możliwie cicha. Hałas w silniku indukcyjnym jest związany m. in. z pulsacją momentu elektromagnetycznego.

Moment elektromagnetyczny składa się z momentów wytworzonych przez podstawową harmoniczną prądu jak i wyższe harmoniczne. Momenty wytwarzane przez wyższe harmoniczne mogą wpływać negatywnie na pracę maszyny, dlatego nazywamy je momentami pasożytniczymi.

Na moment pasożytniczy składa się moment asynchroniczny i synchroniczny. Przy pewnych prędkościach ujawnia się moment synchroniczny. Nieodpowiedni dobór liczb żłobków wirnika i stojana prowadzi do powstania siły powodującej silne wibracje oraz niepożądany hałas.

* Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny

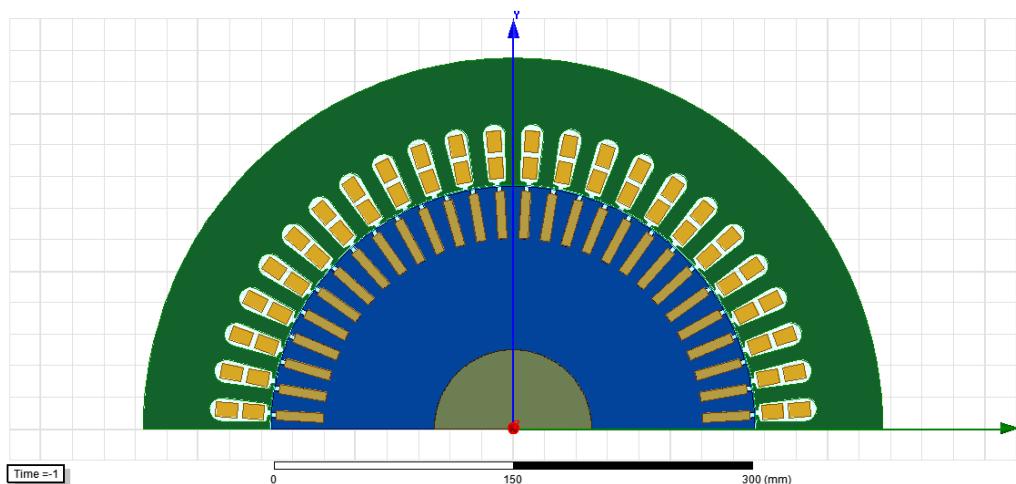
Zasilanie maszyn indukcyjnych bezpośrednio z sieci powoduje, że jedyną możliwością na ograniczenia pulsacji momentu a przy tym hałasu jest odpowiednia modyfikacja konstrukcyjna, np. przez odpowiednio wykonane skosy w żłobkach czy powiększenie szczeliny powietrznej. Jednak zmiany konstrukcyjne mogą prowadzić do pogorszenia sprawności czy współczynnika $\cos\phi$.

W projektowaniu maszyn indukcyjnych ogromne znaczenie ma model matematyczny silnika. Od modelu wymaga się wystarczającej dokładności m. in. do analizy zjawisk w maszynie oraz prognozowanie jej zachowania przy różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych. W każdym obliczeniowym procesie nieodzowna jest jednak wiedza, doświadczenie i odpowiednia interpretacja wyników.

Celem niniejszej pracy jest analiza doboru liczby żłobków na tętnienia momentu. Badania zostały wykonane na modelu silnika indukcyjnego klatkowego średniej mocy [1, 2, 3].

2.MODEL SILNIKA INDUKCYJNEGO

Model silnika klatkowego został wykonany za pomocą programu ,Maxwell z pakietu firmy Ansoft. Na rysunku 1 przedstawiono połowiczny model silnika w 2D.



Rys. 1. Fragment siatki 2D silnika indukcyjnego z modelu wykonanego w programie Maxwell

Jest to klasyczny silnik indukcyjny klatkowy z uzwojeniem stojana rozmieszczonym na 48 żłobkach. Uzwojenie wirnika jest zwarte wykonane w postaci klatki, czyli masywnych nieizolowanych prętów połączonych po obu stronach rdzenia pierścieniami. Dobór liczby żłobków wirnika jest niezwykle istotny, bowiem od niego zależy liczba faz w wirniku oraz zawartość harmonicznych w wypadkowym polu magnetycznym, które powodują niekorzystne zjawiska. W teorii maszyn elektrycznych pojawia się opisywane zjawisko tzw. „klejenia” się wirnika do stojana, dlatego jedną z zasad doboru liczby żłobków wirnika i stojana jest by nie były one równe.

Tabela 1. Tabliczka znamionowa

Moc znamionowa	kW	160
Napięcie uzwojeń stojana	kV	0,4
Częstotliwość znamionowa	Hz	50
Prąd znamionowy	A	147,12
Prędkość znamionowa	obr/min	1490

W modelu wirnika zmieniano liczbę żłobków wirnika i odpowiednio dostosowywano konstrukcyjne parametry by model możliwie dobrze przedstawiał rzeczywistą maszynę.

Symulacje przeprowadzono dla liczby żłobków równej 56, 58, 60, 62 dla dwóch różnych prędkości przy obciążeniu znamionowym 1486 obr/min oraz połowie obciążenia znamionowego 1493 obr/min. Wynikiem symulacji były przebiegi momentu elektromagnetycznego, prądu, prędkości, strat w żelazie i miedzi. Do analizy wpływu wykorzystano bardzo dokładny pomiar wartości momentu elektromagnetycznego. Symulacja trwała 6 sekund a próbkowanie odbywało się co 0,002 sekundy.

3. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH

Analiza badań symulacyjnych dotyczy stanów ustalonych pracy maszyny, niemniej jednak należy wspomnieć, że zjawiska momentów pasożytniczych mają znaczący wpływ na rozruch silników indukcyjnych klatkowych.

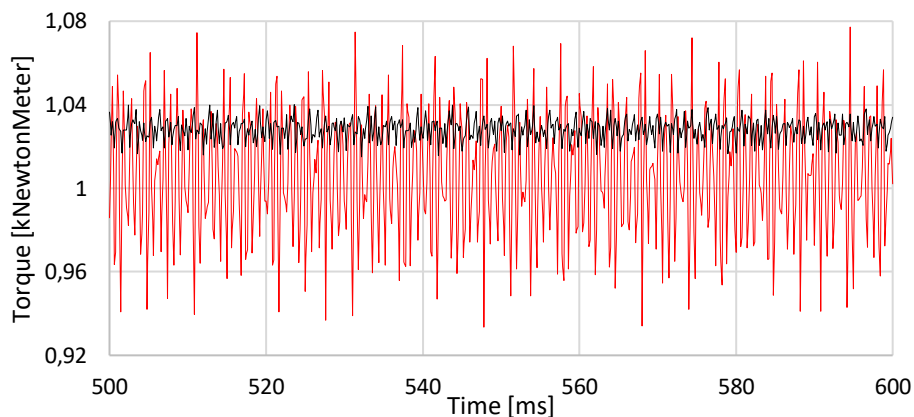
W przypadku modelu użytego za stan ustalony przyjęto czas 500 do 600 ms. Silnik w tym czasie pracował ze stałą wartością skutecznej prądu.

Na rysunku 2 przedstawiono tętnienie momentu dla dwóch różnych ilości żłobków w wirniku $Q_r=56$ oraz $Q_r=62$.

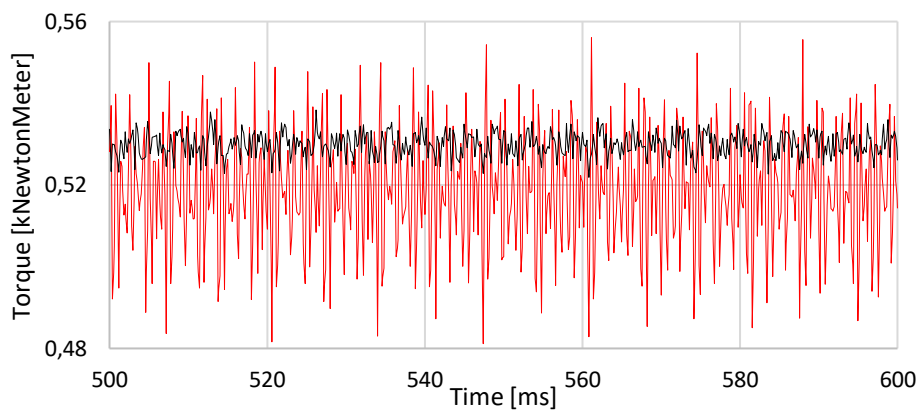
Od strony użytkownika najbardziej interesujące są wartości decydujące o wskaźnikach techniczno-ekonomicznych maszyny takich jak sprawność straty i współczynnik mocy. Na podstawie badań symulacyjnych wyznaczono te wskaźniki dla różnej liczby żłobków w wirniku. W tabeli 2 i 3 przedstawiono wyniki symulacji.

Dla wyznaczenia wpływu liczby żłobków na hałas występujący w maszynie wykorzystano wartość T_{pkavg} czyli tętnienie momentu (ang. Tripple Torque), została ona przeliczona na procentowy współczynnik. Wartość T_{pkavg} [%] jest to wartość szczytowa do wartości średniej (pk-avg) przemnożona przez 100%.

Na rysunku 5 przedstawiono wykres słupkowy T_{pkavg} względem liczby żłobków dla dwóch prędkości 1486 i 1494 obr/min.

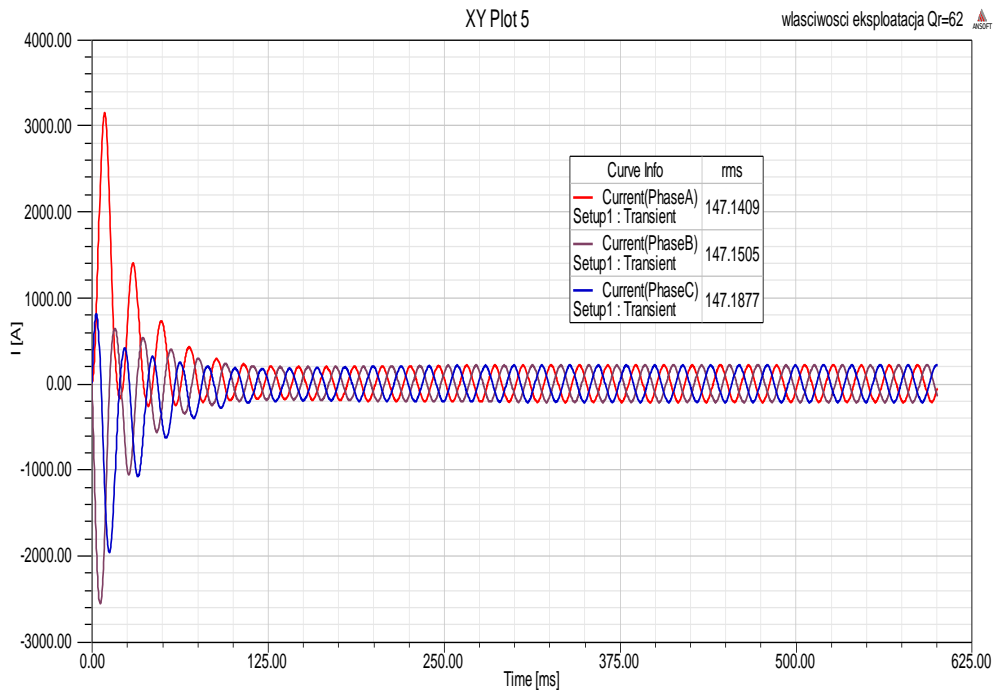


Rys. 2.1 Wykres momentu elektromagnetycznego przy prędkości 1486 obr/min dla $Q_r=56$ -czerwony oraz $Q_r=62$ -czarny



Rys. 2.2 Wykres momentu elektromagnetycznego przy prędkości 1493 obr/min dla $Q_r=56$ -czerwony oraz $Q_r=62$ -czarny

Na rysunku 4 przedstawiono przebieg prądu w uzwojeniu stojana od rozruchu do stanu ustalonego.



Rys. 4 Wykres prądu przy prędkości 1486 obr/min dla $Q_r=62$

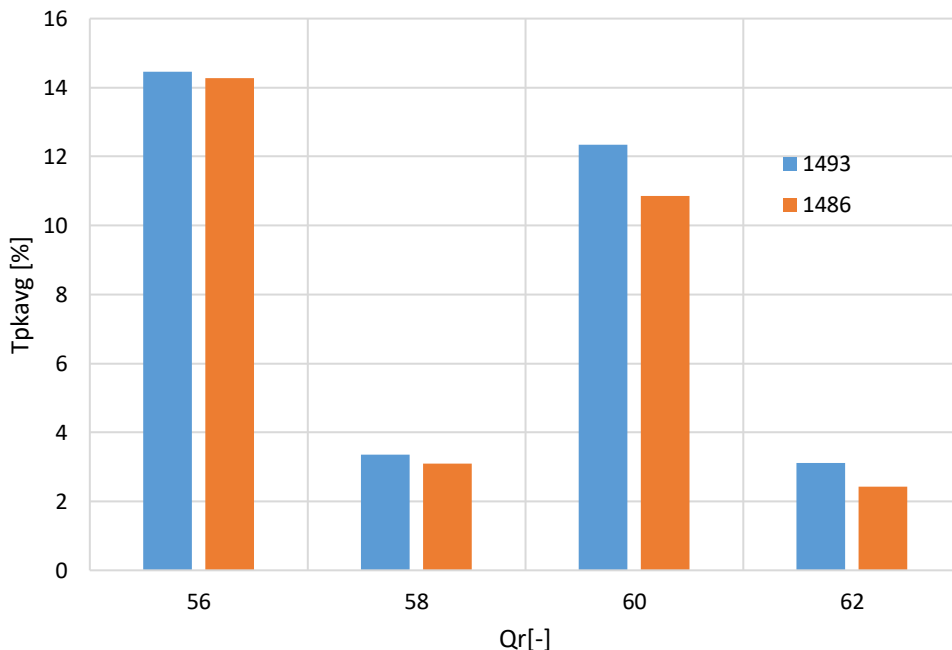
Interpretacja otrzymanych wyników pokazuje, że największe tętnienia momentu występują przy ilości żłobków równej 56 natomiast najlepsze tłumienie wystąpiło dla $Q_r=62$. Przy 56 żłobkach wskaźnik T_{pkavg} był na poziomie 14% natomiast dla 62 ok 3%. Z perspektywy ograniczenia hałasu jest zrozumiałe, która ilość jest najbardziej korzystna. Warto jednak zauważyć, jak zachowują się wskaźniki techniczno-ekonomiczne maszyny. Wartość $\cos\phi$ dla 56 żłobków jest najlepsza i wynosi 0,94 natomiast dla 62 jest na poziomie 0,92. Widać również że zwiększanie liczby żłobków prowadzi do utraty sprawności maszyny. Mimo iż spadek sprawności dotyczy tylko pięciu setnych procenta, w perspektywie mocy maszyny oraz czasu pracy daje to względnie duże straty ekonomiczne.

Przy zmianie prędkości na 1493 obr/min wyniki były zbieżne T_{pkavg} utrzymywał się na podobnym poziomie, natomiast nie zanotowano negatywnego wpływu na wartość $\cos\phi$.

Liczba żłobków ma wpływ na udział wyższych harmonicznych pola magnetycznego w szczelinie i na związane z nim niepożądane zjawiska, takie jak dodatkowe straty mocy, elektromagnetyczne momenty pasożytnicze, nagrzewanie się uzwojeń czy też koszt maszyny. Zmniejszanie wpływu harmonicznych prowadzi do zwiększania liczby żłobków. Biorąc pod uwagę koszt maszyny dąży się jednak do ograniczenia ich ilości.

Podsumowując, powinno dążyć się do pewnego kompromisu pomiędzy wymaganiami, które są sobie przeciwstawne. Dodatkowo należy pamiętać, że momenty pasożytnicze

można zmniejszać przez odpowiednio wykonane skośne żłobki czy zmniejszenie szczeliny powietrznej.



Rys. 5. Wykres Tpkavg [%] dla $Q_r=56,58,60,62$ przy 1486 oraz 1493 obr/min

Tabela 2 Wartości uzyskane podczas symulacji i obliczane dla 1486 obr/min

Q_r	n	ΔP_{fe}	ΔP_{cu}	η	$\cos\phi$	T_{pkavg}
-	rpm	kW	kW	-	-	%
56	1486	1,43	1,32	96,35	0,94	14,28
58	1486	1,45	1,36	96,24	0,92	3,09
60	1486	1,45	1,46	96,12	0,90	10,85
62	1486	1,43	1,51	96,16	0,92	2,43

Tabela 3 Wartości uzyskane podczas symulacji dla 1493 obr/min

Q_r	n	ΔP_{fe}	ΔP_{cu}	η	$\cos\phi$	T_{pkavg}
-	rpm	kW	kW	-	-	%
56	1493	1,3019	0,3641	96,20	0,88	14,45
58	1493	1,3137	0,3796	96,23	0,89	3,35
60	1493	1,3179	0,4152	96,22	0,89	12,34
62	1493	1,3124	0,4404	96,15	0,89	3,11

4. PODSUMOWANIE

Model silnika indukcyjnego daje możliwość odwzorowania zjawisk fizycznych będących wynikiem zmiany liczby żłobków wirnika. Warto zaznaczyć, że jest to model nieidealny obciążony błędem konstruktora. W rzeczywistości negatywne zjawiska nasilają się.

W pracy przedstawiono jeden ze sposobów ograniczenia tętnienia momentu, co za tym idzie hałasu jakim jest odpowiedni dobór liczby żłobków wirnika w silniku indukcyjnym klatkowym. Przybliżono problem momentów pasożytniczych w maszynach asynchronicznych oraz ich niekorzystny wpływ na właściwości eksploatacyjne.

Wyniki obliczeń wskazują na możliwość ograniczenia pulsacji momentu, kosztem wskaźników ekonomicznych maszyny.

Obliczenia wykonano przy użyciu zasobów udostępnionych przez Wrocławskie Centrum Sieciowo-Superkomputerowe (<http://wcss.pl>), grant obliczeniowy Nr 400.

LITERATURA

- [1] DĄBROWSKI M., *Projektowanie maszyn elektrycznych prądu przemiennego*, WNT, Warszawa 1988,
- [2] GOŹLIŃSKA E., *Maszyny elektryczne*, WSiP, Warszawa 2014,
- [3] PLAMITZER A., *Maszyny elektryczne*, WNT, Warszawa 1982,
- [4] DĄBAŁA K., SULIMA R., *Ocena wpływu na zastosowania wysokosprawnych silników elektrycznych na oszczędność energii*, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 2/2017

MEDIUMPOWER INDUCTION MOTOR WITH LIMITED NOISE

This paper presents some aspects of electromagnetic torque ripples in semi-power asynchronous motor and presents one of the way to limit the ripple and consequently to suppress the noise.

Olexander AZUIKOVSKIY*, Oleksii SHESTAKOV*, Tetiana LIABANOVA*,
Pavlo KRASOVSKIY*

INVESTIGATION OF THE TRANSIENT PROCESSES IN SEMICONDUCTOR CHOPPERS THAT CONVERT ENERGY FROM LOW-POWER RENEWABLE ENERGY SOURCES

Nowadays, using unstable and high cost for installation renewable energy sources is widespread. These renewable energy sources can be wind generator or photovoltaic panel, or hydrogenators. Unlike the convenient electrical power stations: thermal power plant or nuclear plant the renewable energy sources depend on stability of raw: wind speed, quantity of solar intensity, temperature, etc. As a result the value of generated energy isn't constant. So, consumer doesn't received needed power all the time. This problem can be solved by using combined energy sources. But what also can influenced on output power from source? These are losses. The main losses are in converter. This converter is between renewable energy source and consumer. In this article losses that appear in power choppers are discussed.

1. MAIN PART

The existing electrical devices of secondary energy sources are connected to different primary sources. These primary sources can be with constant power or with variable power value in wide range. For example, as a primary energy source it can be renewable energy source. Wind generator that depends on flow of air masses, or photovoltaic panel, that depends on sun intensity, or thermoelectrical Peltier blocks, that depend on differences of temperature. Each of these sources are infinity and produce constant power. But, because of different raw value the different value obtained from these power sources. Now in combined supply energy systems together with renewable energy sources are used buffer devices as accumulator or central power station. Such schemes are expanding and improved [1]. But, the task is to get all needed full-time constant power from renewable energy source. And here is another problem: losses in converter.

* National mining university of Ukraine. Dnipro

Because of the losses during generation, transformation and transmission of energy to consumers, small amounts of generated electric energy are received, which at present it is more profitable to accumulate than to immediately use.

Each converter has an algorithm of work, which allows to get at the output of a certain signal curve: alternating sinusoid, meander or constant value of voltage or current. Consequently, when forming the algorithm of the device, it is necessary to take into account the processes occurring in the power switches during switching. It is possible to separate some of the main tasks related to power switching devices:

1. Influence of the driver on the speed of working out a task by a power key;
2. Effect of the snubber chain on the output parameters of the power key;
3. Influence of type of load and power consumption on the process of transition process in the power key.

It is known that the load that is connected to the converter may vary in a wide range. Let's consider the effect of the load change on the power consumed by the load, and on the transient processes that occur in the converter's power key.

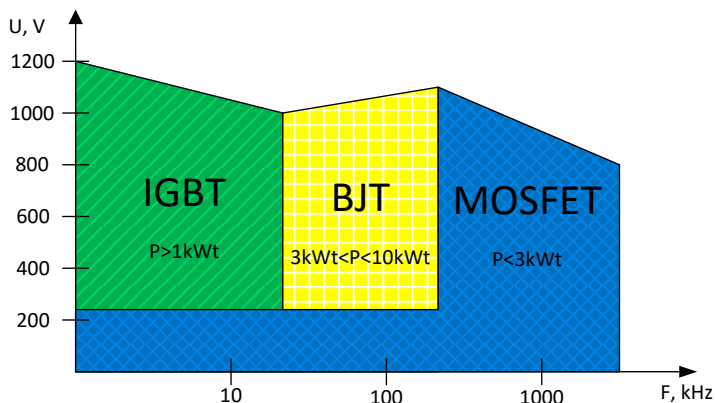


Fig. 1. Compare diagram for different types of transistors

There are different types of switching devices used in modern converters:

1. BT (bipolar transistor);
2. MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor);
3. IGBT (insulated gate bipolar transistor).

Each of these switching devices has both advantages and disadvantages. Analysis of articles on the choice of power transistor key, depending on the needs and use of the purpose can be reduced to the diagram, as shown in Fig. 1.

As you can see, IGBT transistors are used if necessary to switch the large power (up to 4 kV and more than 50 A) with a small switching frequency of about 10-20 kHz and the MOSFET transistors have a smaller range of voltage and current (600-1000 V and up to 50 A), but can switch loads with frequencies up to hundreds of kilohertz. At the same time, the large resistance of the collector-emitter transition in the MOSFET transistors makes it

difficult to use them at low input power values. This is due to the fact that the transistor is already presenting to the load generator. So, before the energy goes to the end user, you need to take into account possible losses on the components of the converter.

Let's consider several options that may appear when using a source with a finite power value:

1. The resistance of the load is greater than the internal resistance of the source;
2. Resistance load is less than the internal source resistance;
3. Resistance load is equal to the internal resistance of the source.

When the load is greater than the internal resistance of the source, the effect of falling output voltage appears. This is due to voltage losses. Thus, with decreasing load resistance, the current that flows in the electric circuit increases. As a result, losses increase, which lead to a decrease in the initial value of the voltage. This dependence is described by the formula:

$$U_{load} = \frac{R_{load} * E}{r + R_{load}} \quad (1)$$

where E – source emf; r – inner source resistance; R_{load} – load resistance.

The main problem appearing when using renewable energy sources is the instability of generating electricity. This fact complicates the regulation of transients in power switching equipment.

To analyze the transient processes occurring in power keys, consider the simplest electrical circuit shown in Fig. 2.

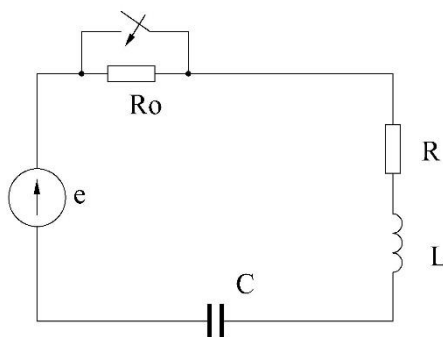


Fig. 2. The simplest electrical circuit to analyze transient processes

The electric state of the circuit after the commutation is described by the integral-differential equation, which is compared on the basis of Kirchoff's 2nd law:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int idt = e \quad (2)$$

After differentiate this equation we obtain:

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \frac{de}{dt} \quad (3)$$

In Fig. 2, the power key is an ideal model. In the analysis of the actual scheme, an equivalent circuit for replacing the switching device is used. Types of schemes of replacement of actual power keys are shown in Fig. 3.

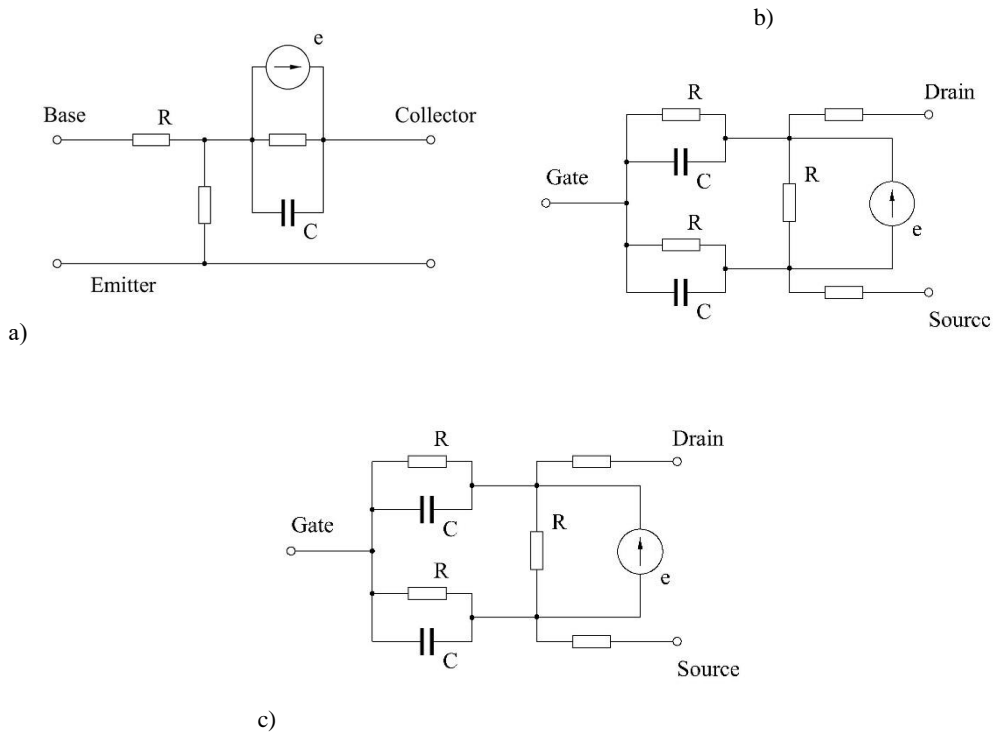


Fig. 3. Equivalent schemes of: a) BJT, b) MOSFET, c) IGBT

Semiconductor power choppers enable the transmission of energy with short-term impulses. This idea can be used when designing low-power energy systems. The energy upgrade system will consist of two electric circuits. The first circle is a circle with a coil of inductance, in which energy will accumulate to a little greater than the limit value of the tripping of the transistor. The second circle is a direct circle with a load, which can be a stacking and amplifying cascade, or directly to consumer of energy (Fig. 4) [2].

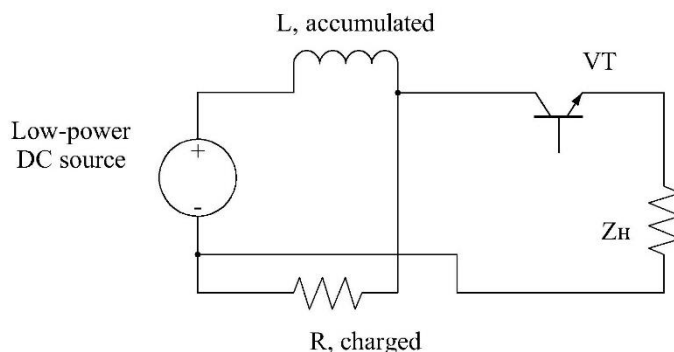


Fig.4. Booster scheme

In order for the current to charge the inductor, the transistor must be in the open state. Then the current from a low-power power source flows through the inductor's coil and then through the current limiting resistor. At a time when enough energy has been accumulated in the coil, the transistor VT is closed and the current flows from the power source through the coil, the collector-emitter transistor transition, the load limiting current resistor.

That is, for a current to flow through a closed transistor, the following resistances ratio is required:

$$R_{ch} \gg R_{VT} + Z_H \quad (4)$$

2. CONCLUSION

One of the main losses in all converter devices is losses in power key during commutation. It is very important to take into account comprehension of dependence between inner and output load. Also, this knowledge needed for designing and calculating choppers for combined converter of renewable energy sources.

REFERENCES

- [1] S. M. SHINDE S.M., PATIL K. D., KHAIRNAR MS. S. S. and GANDHARE W. Z., *The Role of Power Electronics in Renewable Energy Systems Research and Development*, Second International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET-09, - 2009, pp.726-730
- [2] PIRIENKO S., BALAKHONTSEV A., BESHTA A. and KHUDOLIY S., *Optimization of hybrid energy storage system for electric vehicles*, Power electronics and drives, vol. 1, no. 2, pp. 97-111, 2016.
- [3] ROCKOT J.H., *Losses in high bipolar transistors*, Westingstone Electric Corp., IEEE – 1985, pp.469-479

Paweł CZELNY*

NOWOCZESNE REJESTROWANIE ZMIENNYCH PROCESOWYCH W PRZEMYŚLE

Artykuł przedstawia założenia projektu czwartej rewolucji przemysłowej oraz sposoby wdrażania nowoczesnych rozwiązań do systemów automatyki przemysłowej. Przybliżone zostało samo pojęcie jak i elementy systemu pomiarowego, które już w dzisiejszych czasach wprowadzane są do przemysłu.

1. WSTĘP

Automatyka przemysłowa jest dziedziną zajmującą się zagadnieniami sterowania procesami produkcji oraz procesami technologicznymi. Uważa się, iż w tej chwili jest to jeden z najszybciej rozwijających się działów inżynierii elektrycznej [1]. Silna konkurencja oraz oczekiwania rynku sprawiają, że nieustannie dąży się, aby zwiększać efektywność wytwarzania dóbr w powtarzalnym procesie, przy jednoczesnym obniżaniu kosztów z tym związanych. Ważną kwestią jest również to, aby krótkoseryjne wyroby, które są projektowane pod kątem potrzeb konkretnych klientów nie przewyższały ceną towarów produkowanych masowo, czyli dążenie do stworzenia pewnej elastyczności. Różne systemy nie dość, że ulepszają jakość i bezawaryjność produkcji to w coraz większym stopniu zastępują rolę człowieka, zaś rola pracowników ogranicza się do sprawowania kontroli nad całą aparaturą.

W przemyśle aktualnie następuje przełom i wejście w nową erę. Do tej pory mogliśmy zaobserwować trzy takie przełomy. Pierwszy z nich miał miejsce pod koniec XVIII wieku i był to początek produkcji mechanicznej, która to była wspomagana siłą pary oraz wody. Następny przełom miał miejsce na początku XX wieku, kiedy zaczął się tzw. Wiek elektryczności, powstała wtedy pierwsza linia produkcyjna. Dzięki zastosowaniu energii elektrycznej rozpoczęto produkcję masową. Era elektryczności ustąpiła rewolucji, którą wniosły komputery w latach 70 ubiegłego wieku. Powstały pierwsze programowalne układy logiczne, które zautomatyzowały dotychczas znaną produkcję. Aktualnie znajdujemy się na przełomie III i IV ery [2], ale co właściwie przyniesie nam nowa rewolucja w świecie przemysłu?

* Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny

2. IV REWOLUCJA PRZEMYSŁOWA

Coraz częściej w branży słyszy się o tzw. Przemysle 4.0 lub o czwartej rewolucji przemysłowej, która to idzie w parze z nowoczesnymi rozwiązaniami między innymi w dziedzinie automatyki. Rewolucja ta ma sprawić, iż bariera pomiędzy ludźmi i maszynami zniknie. Za kluczowy wynalazek, który pozwolił na dążenie do wejścia w nową erę uważa się internet. To za jego sprawą powstaje coraz więcej urządzeń nazywanych powszechnie smart. Poza oczywistym udogodnieniem życia codziennego, wynalazek ten wprowadził wiele zmian do wielu dziedzin, między innymi do przemysłu.

Pod pojęciami przemysłu 4.0 oraz czwartej rewolucji przemysłowej określa się aktualną tendencję do automatyzacji i wymiany danych w technologiach produkcyjnych. Obejmuje ona systemy cyberfizyczne, internet rzeczy, przetwarzanie chmurowe i informatykę kognitywną. Przemysł 4.0 tworzy to, co nazywa się "inteligentną fabryką". W modułowych, zorganizowanych inteligentnych fabrykach systemy cyberfizyczne monitorują procesy fizyczne, tworzą wirtualną kopię świata fizycznego i podejmują zdecentralizowane decyzje. W internecie rzeczy, systemy cyberfizyczne komunikują się i współpracują ze sobą oraz z ludźmi w czasie rzeczywistym.

Termin "Industrie 4.0" pochodzi z projektu w strategii high-tech rządu niemieckiego, która promuje komputeryzację produkcji [3]. Termin "industrie 4.0" został wznowiony w 2011 r. Na targach w Hanowerze [4]. W październiku 2012 r. Grupa robocza ds. Przemysłu 4.0 przedstawiła rządowi federalnemu zestaw zaleceń wdrożeniowych dotyczących sektora 4.0.

W Industry 4.0 istnieją cztery zasady projektowania. Zasady te wspierają firmy w identyfikacji i wdrażaniu scenariuszy[1].

Jednym z założeń projektu przemysł 4.0 jest interoperacyjność co można przedstawić jako zdolność maszyn, urządzeń, czujników i osób do łączenia się i komunikowania się ze sobą za pośrednictwem internetu rzeczy (IoT), czyli koncepcji która oznacza, iż przedmioty mogą pośrednio lub bezpośrednio gromadzić, a następnie przetwarzać dane oraz wymieniać je za pośrednictwem sieci z innymi urządzeniami. W przypadku, gdy urządzenia na bieżąco monitorują tak wiele zmiennych powstaje potrzeba utworzenia rozwiązania, które pozwoli na przetwarzanie tak dużych zbiorów danych nazywanych z angielskiego big data. W celu przechowywania tak dużych zbiorów zmiennych procesowych powstała koncepcja przetwarzania chmurowego. Jest to model przetwarzania danych, który oparty jest na przechowywaniu danych w chmurze. Wraz z tą koncepcją pojawia się wiele nowych zagadnień związanych z ochroną poufności czy choćby know-how przedsiębiorstw.

Jednym z podstawowych celów przedstawionej koncepcji jest stworzenie inteligentnych przestrzeni tj. miast, transportu, produktów, budynków czy systemów przemysłowych. W przemyśle wykorzystanie tych technologii wiąże się m.in. ze stosowaniem radiowych identyfikatorów (RFID), przez co produkty stają się „widoczne”, a robot umieszcza je na przeznaczonym do tego miejscu.

Zastosowanie internetu rzeczy przyczynia się do tworzenia inteligentnych maszyn, które poprzez zastosowanie również inteligentnych czujników same „wiedzą” w jakim są stanie i kiedy nadchodzi czas ich konserwacji lub wymiany.

Dodanie IoT znacznie przyspieszy proces produkcji, pozwoli na obniżenie kosztów oraz uniknięcie przyszłych awarii i zatrzymań linii produkcyjnych.

Drugim założeniem projektu jest pomoc techniczna po pierwsze, zdolność systemów wspomagających ludzi poprzez gromadzenie i wizualizację informacji w sposób zrozumiały dla podejmowania świadomych decyzji i rozwiązywania krótkotrwałych problemów. Po drugie, zdolność cyberfizycznych systemów do wspierania ludzi, prowadząc szereg zadań, które są nieprzyjemne, zbyt wyczerpujące lub niebezpieczne dla ich współpracowników.

Ostatnim założeniem jest dostosowanie elementów automatyki do podejmowania zdecentralizowanych decyzji czyli stworzenie warunków, w których systemy mają zdolność do samodzielnego podejmowania decyzji i wykonywania ich zadań w sposób autonomiczny. Jedynie w przypadku wyjątków lub sprzecznych celów są zadaniami delegowanymi na wyższy poziom.

3. CZWARTA REWOLUCJA, A DZISIEJSZE ROZWIĄZANIA

Dzisiejsze zakłady przemysłowe są świadome nadchodzącej nowej ery. Wydajna komunikacja sieciowa pomiędzy urządzeniami oraz usługami to podstawowe koncepcje które umożliwiają implementację internetu rzeczy oraz założenia związane z przemysłem 4.0. W związku z tym coraz częściej łączy się aparaturę pomiarową, regulującą i rejestrującą z systemami informatycznymi i w ten sposób próbuje się osiągnąć w jak największym stopniu autonomiczność oraz możliwość kontroli procesu poprzez elektronikę użytkową jak smartphome, tablet lub komputer PC.

Standardowymi sposobami komunikacji są interfejsy Modbus, Profibus i Profinet, zaś na potrzeby przemysłu 4.0 coraz większego tempa nabiera rozwój bezprzewodowego przesyłania danych procesowych drogą radiową lub poprzez wi-fi oraz bluetooth.

Firma JUMO operuje urządzeniem służącym do bezprzewodowego pomiaru ciśnienia i temperatur, które zostały przedstawione na rys. 1. Takie rozwiązanie umożliwia ograniczenie liczby przewodów. Na otwartej przestrzeni sygnał może być wysyłany do 300m drogą radiową do urządzenia nadrzędnego, które z kolei można podłączyć do sieci i śledzić wskazania z każdego miejsca zakładu przemysłowego.

To właśnie te nowe opcje wnoszą największe możliwości. Metody tradycyjne systemów automatyki i sterowania stają się coraz mniej aktualne. Usługi i procesy wywoływane przez zdarzenia lub rozpoczynające się cyklicznie, gdzie komunikacja jest inicjowana przez poziomy wyższe systemu, zaś poziomy niższe pełnią funkcję wykonawczą w epoce

przemysłu 4.0 odchodzą w zapomnienie, bowiem systemy inteligentne cechuje możliwość autonomicznego nawiązywania łączności z innymi.



Rys. 1. Czujniki firmy JUMO komunikujące się bezprzewodowo z kontrolerem[8], [9]



Rys. 2. Czujniki serii digiLine z oddzielną częścią elektroniczną i pomiarową[10]

Czujniki które niegdyś można było parametryzować przy pomocy dodatkowej aparatury w specjalnych laboratoryjnych warunkach dziś są wyposażone w elektronikę, która pozwala wykonać to samo przy wykorzystaniu jedynie stanowiska komputerowego lub tabletu. Po podłączeniu do takiego czujnika, aplikacja umożliwia dostęp do instrukcji obsługi i kart katalogowych, a operacje te nie mają wpływu na przebieg produkcji. Możliwa jest konserwacja oraz dostęp do danych diagnostycznych bez przerywania ich pracy. Jest to szczególnie przydatne, gdy sensor traci wraz z biegiem czasu swe właściwości podczas eksploatacji. Jako przykład można podać sensory firmy JUMO z serii digiLine. Są to cyfrowe czujniki komunikujące się z jednostką rejestrującą po interfejsie Modbus. Jest to linia urządzeń umożliwiającą prostą budowę sieci czujników, w której sensory połączone są w topologię gwiazdy lub drzewa. Do komunikacji służy pojedyncza wspólna linia sygnału. Cyfrowe czujniki umożliwiają tworzenie inteligentnych sieci. Sensory są zbudowane w sposób w którym można wyodrębnić część elektroniczną oraz część pomiarową w której zainstalowane są elementy czułe na mierzoną wartość.

Na rys.2 zostały przedstawione dwie przykładowe elektrody do pomiaru pH, w których górną część stanowi elektronika wraz z przetwornikiem, zaś w dolnej umieszczony jest wymienny człon pomiarowy.

W przypadku niezdatności sensora do dalszej pracy wymieniana jest tylko część pomiarowa, zaś elektronika pozostaje ta sama, wraz z zapisanymi danymi. Dzięki takiej konstrukcji może zostać zapewniona tzw. kontrola predykcyjna, pozwalająca na odczyt parametrów czujników i urządzeń charakteryzujących ich stan i wydajność. Można porównać je z archiwalnymi danymi i w konsekwencji zapobiec awarii. Dzięki wykorzystaniu interfejsu Modbus możliwe jest połączenie większej ilości czujników do urządzenia, przy mniejszym zużyciu przewodów doprowadzających sygnał. Wśród różnych możliwości komunikacyjnych, można wymienić m.in IO-Link, interfejs który spełnia wymagania założeń przemysłu 4.0 dla inteligentnych urządzeń. Interfejs IO-Link zapewnia pełną dwukierunkową wymianę danych, a podłączenie czujników i elementów wykonawczych do kontrolerów jest bardzo łatwe i wygodne. Poza wartościami pomiarowymi z czujników możliwy jest również przesył sygnałów diagnostycznych. W trybie IO-Link urządzenia programowane są w całości po stronie sterowania, zaś ustawienia są przechowywane centralnie, dzięki czemu możliwe jest tworzenie systematycznej kopii zapasowych danych, a także import ich po wymianie elementu. Przykładowe rozwiązanie z interfejsem IO-Link do pomiaru temperatury i ciśnienia firmy Jumo zostało przedstawione na rys. 3.

Optymalizacja procesu produkcji poprzez komunikację, aż do najniższego poziomu, to jeden z atutów tego rozwiązania. Ponadto skraca się również czas montażu i rozruchu takiego systemu pomiarowego, przejrzystość instalacji, aż do poziomu czujnika zwiększa wydajność oraz obniża koszty konserwacji. Dzięki długiej żywotności oraz dużej dokładności sensory gwarantują zwiększony stopień niezawodności.



Rys. 3. Czujniki wyposażone w interfejs IO-LINK [11]

Zintegrowana diagnostyka pozwala na wczesne rozpoznanie awarii. W sensorze zawarte są takie informacje jak licznik czasu pracy, wskaźnik oporu oraz zdolność do wykrywania zwarć i przerw w obwodzie, dzięki czemu można wystarczająco szybko zareagować na pojawiające się trudności i szybko je eliminować co znacząco zwiększa wydajność zakładu [6].

Ciekawym rozwiązaniem, które stanowi łącznik pomiędzy czujnikami, a przemysłem 4.0 jest technologia SmartBridge® od firmy Pepperl+Fuchs, które zostało zilustrowane na rys.4. Jest to interfejs wpięty pomiędzy jednostką sterującą, a urządzenie IO-Link. Zadaniem jego jest pobieranie informacji przesyłanych między infrastrukturą IO-Link, a czujnikiem lub urządzeniem wykonawczym i przesyłanie tych danych do urządzenia mobilnego poprzez łączność bluetooth np. do smartfona [5]. Pozwala to ułatwić obsługę danych stanu i procesu oraz obsługę parametrów. Sterowniki są wgrywane automatycznie, natychmiast po wykryciu nowego urządzenia, dzięki czemu możliwe jest graficzne i tekstowe przedstawienie odpowiedniego urządzenia polowego.

W dobie cyfryzacji i szerokiego dostępu do Internetu oprócz czujników podłączonych do sieci wymagany jest zdalny dostęp do urządzeń nadrzędnych oraz możliwość śledzenia rejestracji online, zmiany parametrów regulacji, pobranie bezpośrednie wykresów do folderu sieciowego oraz informowanie o zaistniałej sytuacji awaryjnej np. poprzez wiadomość e-mail. Dodatkowo powstają dedykowane aplikacje do smartfonów oraz tabletów, przykładowe rozwiązanie firmy jumo zostało przedstawione na rys.5 które to umożliwia połączenie się z systemem i zdalne sterowanie procesem bez fizycznego dostępu do urządzenia.

Jednym z założeń przemysłu 4.0 jest łatwość zmiany profilu produkcyjnego, która może być zapewniona jest poprzez liczne generatory programów do indywidualnych zadań. W łatwy sposób szybko można przechodzić do następnych programów w zależności od wykonywanego zadania. Polecenie programu do obsługi maszyn automatycznie włącza moduły potrzebne do wykonania danego procesu, a niepotrzebne wyłącza. Umożliwia to produkcję małoseryjną, dzięki czemu koszt jednej sztuki nie przewyższa kosztów całej serii. Sprawia to że produkcja staje się wydajniejsza, a dzięki przejrzystości łańcucha wartości wykrywane są przypadki obniżania efektywności i w konsekwencji natychmiast można przedsięwziąć środki zaradcze.

Elementy pomiarowe, wykonawcze, oraz rejestrujące w połączeniu rozbudowaną siecią przemysłową sprawiają że urządzenia te mają możliwość wymiany danych między sobą w celu zwiększenia wydajności produkcji w całym łańcuchu wartości. Oprogramowanie i platformy do przetwarzania i wizualizacji danych produkcyjnych w czasie rzeczywistym stanowią główne miejsce gromadzenia informacji. Wyświetlanie i analizowanie danych wraz z ich kojarzeniem ze sobą jest możliwe poprzez tradycyjne HMI, oraz tablety i laptopy.

Dane te mogą być prezentowane w kontekście całych linii produkcyjnych i zakładów, ale również dla pojedynczych maszyn, czy nawet produktów. Pozwala to na dogłębną analizę produkcji oraz optymalizację pod względem kosztów i zużycia energii.

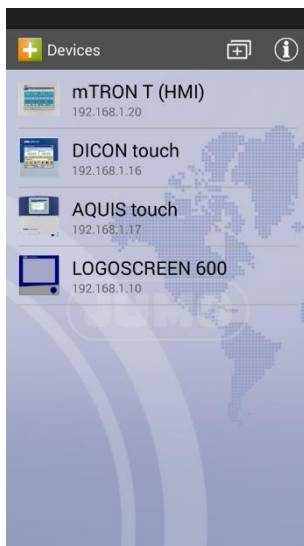
Już dziś powstają linie produkcyjne w których wiele różnych wariantów produktów powstaje przy użyciu jednej uniwersalnej linii produkcyjnej bez konieczności modyfikowania maszyn. Dzięki wykorzystaniu technologii opartych na chipach RFID poszczególne elementy oraz etapy produkcji mogą być identyfikowane. Pozwala to na rozpoznanie jaki następny krok jest konieczny w procesie montażu. Sterowniki PLC, które sterują maszynami otrzymują informacje bezpośrednio z serwera. Każdy pracownik loguje

do na danym stanowisku za pomocą technologii Bluetooth, dzięki czemu zostają wyświetlone mu instrukcje na temat danego wariantu produktu.

Przemysł 4.0 nie ma na celu wyeliminować czynnika ludzkiego i zastąpić go robotami, lecz założenie jest takie, iż człowiek, maszyna i proces są ze sobą zintegrowane.



Rys. 4. Technologia SmartBridge firmy Pepperl+Fuchs[12]



Rys. 5. Aplikacja do łączności z urządzeniami firmy JUMO przy pomocy smartfona [13]

4. PODSUMOWANIE

Jak pokazuje podejście wielu czołowych firm z branży automatyki, założenia zawarte w Industry 4.0 coraz prężniej wchodzą do przemysłu. Nowoczesne rozwiązania pomagają jednocześnie obniżyć koszty produkcji oraz przyspieszyć proces, dzięki zastosowaniu czujników, które są w stanie rejestrować wszystkie zmiany w ich otoczeniu, a ponadto diagnozować swój stan i przysyłać dane. Dzięki odpowiedniemu interfejsowi dostępny jest wgląd do najniższego poziomu produkcji. Współpraca systemów z ludźmi zwiększa efektywność oraz poprawia ogólne warunki pracy. Rozbudowane systemy pozwalające na komunikację i wypracowywanie odpowiednich algorytmów sterowania pomiędzy urządzeniami, pozwalają w coraz to większym stopniu na autonomiczność. Na ten moment istnieje jeszcze wiele trudności przy wprowadzaniu założeń projektu, zaś jak pokazują liczne przykłady zakładów przemysłowych koncepcje te już są wdrażane i jak pokazują statystyki przynoszą oczekiwane rezultaty, a więc w najbliższych latach możemy dostrzec jeszcze większy rozwój w tym kierunku.

LITERATURA

- [1] https://pl.wikipedia.org/wiki/Automatyka_przemys%C5%82owa
- [2] https://pl.wikipedia.org/wiki/Czwarta_rewolucja_przemys%C5%82owa
- [3] JÜRGEN J., *Was hinter Begriffen wie Industrie 4.0 steckt in Computer & Automation*, 19 Dezember 2012 accessed on 23 December 2012
- [4] BMBF-INTERNETREDAKTION (2016-01-21). *Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - BMBF*. Bmbf.de. Retrieved 2016-11-30.
- [5] *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution*, Vdi-nachrichten.com (in German). 2011-04-01. Retrieved 2016-11-30.
- [6] <https://www.pepperlfuchs.com>
- [7] <http://www.jumo.pl>
- [8] <http://www.jumo.pl>
- [9] <http://www.jumo.de>
- [10] <http://1.bp.blogspot.com>
- [11] <https://encrypted-tbn0.gstatic.com>

MODERN PROCESS VARIABLES RECORDING IN INDUSTRY

This article presents the assumptions of the Fourth Industrial Revolution and the ways in which these methods are applied to modern industrial automation systems. The notion of what elements of the system are already being implemented in nowadays industry.

Przemysław BELKA*

ZASADY WYKONYWANIA POMIARÓW INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ Z WYKORZYSTANIEM SILNOPRĄDOWYCH MIERNIKÓW IMPEDANCJI PĘTLI ZWARCIA

W artykule zaprezentowano tematykę związaną z wykonywaniem pomiarów instalacji elektrycznych, o napięciu znamionowym do 1 kV w układzie TN, przy pomocy silnoprądowych mierników impedancji pętli zwarcia. Pomiary przy pomocy tych urządzeń wykonuje się przede wszystkim w instalacjach przemysłowych, w których są zastosowane urządzenia zabezpieczające o dużych prądach znamionowych. Prądy powodujące samoczynne wyłączenie napięcia tych urządzeń są odpowiednio wysokie, a pomiary standardowymi miernikami, mogą być nieprawidłowe ze względu na błąd pomiaru wyższy, niż określony w normie.

1. WYMAGANIA PRZEPISÓW

Każdy obiekt budowlany na podstawie Prawa Budowlanego [1] powinien mieć wykonane pomiary instalacji elektrycznej co najmniej raz na 5 lat. Zakres i sposób wykonywania pomiarów instalacji odbiorczej określa norma PN-HD 60364-6-2008 [4]. Przedstawiony arkusz szósty normy został przywołany w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Na tej podstawie stosowanie tej normy jest obowiązkowe. W zależności od rodzaju badania należy w sposób odpowiedni dokonać wyboru urządzenia pomiarowego zgodnie z normą PN-EN 61557 [5].

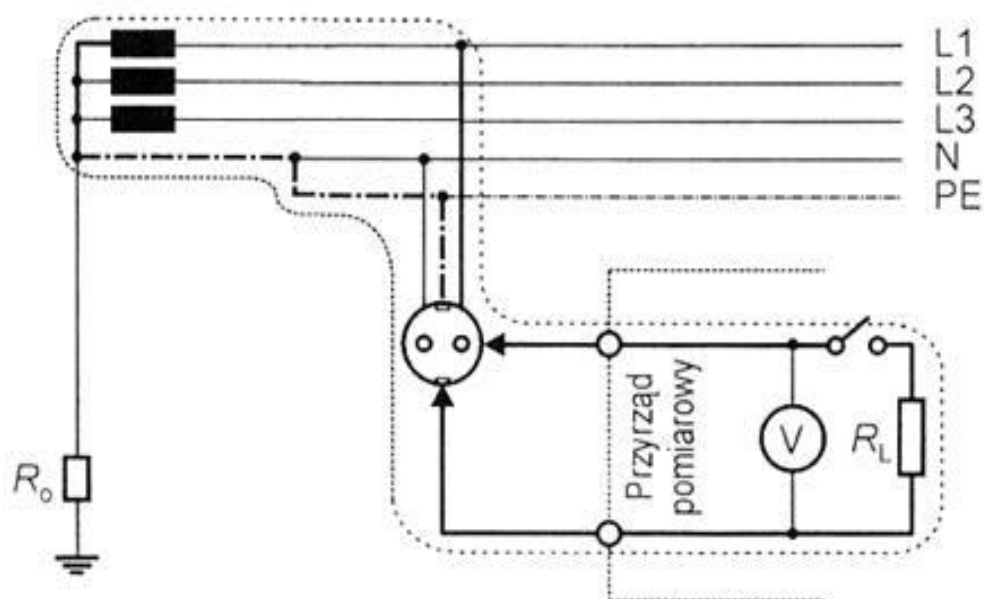
Na podstawie normy PN-HD 60364-6-2008 [4] jednym ze środków ochrony podstawowej przy uszkodzeniu, jest samoczynne wyłączenie zasilania w wymaganym czasie.

* Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny

2. TEORIA POMIARÓW IMPEDANCJI PĘTLI ZWARCIA

2.1. WPROWADZENIE

Pomiary impedancji pętli zwarciowej mają na celu sprawdzenie skuteczności zadziałania urządzeń zabezpieczających (wyłączników, bezpieczników), których zadaniem jest samoczynne wyłączenie zasilania w przypadku jednofazowych zwarć z częściami czynnymi urządzeń elektrycznych. Na rysunku nr 1 przedstawiono typowy schemat układu do badania impedancji pętli zwarcia w układzie TN.



Rys. 1. Schemat układu do wykonywania pomiarów pętli zwarcia [9]

2.2. SAMOCZYNNE WYŁĄCZENIE ZASILANIA

Dla układu sieciowego TN zgodnie z normą PN-HD 60364-4-41 [3] należy spełnić warunek:

$$Z_s * I_a \leq U_o \quad (1)$$

gdzie:

Z_s - impedancja pętli zwarcia,

I_a - prąd powodujący samoczynne wyłączenie zasilania zgodnie z tabelą nr 1,

U_o - znamionowe napięcie AC względem ziemi.

Ponadto, na podstawie (1) można wprowadzić:

$$I_{k1} = \frac{U_o}{Z_s} \quad (2)$$

Warunek konieczny:

$$I_{k1} \geq I_a \quad (3)$$

gdzie:

I_{k1} - prąd zwarcia jednofazowy z ziemią,

I_a - prąd powodujący samoczynne wyłączenie zasilania zgodnie z tabelą nr 1.

Tabela nr 1. Maksymalne czasy wyłączenia

50 V < U_o ≤ 120 V	120 V < U_o ≤ 230 V	230 V < U_o ≤ 400 V	U_o > 400 V
0,8 s	0,4 s	0,2 s	0,1 s

Dla obwodów rozdzielczych oraz obwodów zabezpieczonych wyłącznikami nadprądowymi dla prądów ponad 32A dopuszczalny maksymalny czas wyłączenia wynosi 5 s.

2.3. BŁĄD POMIARU

Na podstawie normy PN-EN 61557-3 [6] należy stosować urządzenia pomiarowe, dla których dopuszczalny błąd pomiaru wynosi nie więcej niż 30%.

2.4. ZAKRES POMIAROWY

Urządzenia do pomiarów impedancji pętli zwarcia mogą pracować w odpowiednim zakresie pomiarowym. Producenci urządzeń przedstawiają zwykle trzy podstawowe parametry:

- zakres wyświetlania,
- zakres pomiarowy impedancji pętli zwarcia wg normy PN-EN 61557 [5],
- wskazania prądu zwarciovego zgodnie z zakresem wg normy PN-EN 61557 [5].

Do wykonywania silnoprądowych pomiarów impedancji pętli zwarcia można się posłużyć m.in. miernikiem MZC-310S produkcji Sonel.

Rysunek nr 2 przedstawia wymienione powyżej parametry podstawowe urządzenia. Przy użyciu metody dużym prądem (4p) zakres pomiarowy zgodny z normą PN-EN 61557 [5] wynosi od 7,2 mΩ do 1999 mΩ. Oznacza to, że tym urządzeniem można uzyskać wskazanie prądu zwarciovego w obwodach instalacji odbiorczych, aż do 32 kA dla napięcia $U_o=230$ V.

Pomiar parametrów pętli zwarcia dużym prądem (4p, $I_{max}=280$ A)		
Silnoprądowy pomiar impedancji pętli zwarcia Z_S:		
zakres pomiarowy wg PN-EN 61557: 7,2 mΩ...1999 mΩ		
Zakresy wyświetlania	Rozdzielczość	Błąd podstawowy
0...199,9 mΩ	0,1 mΩ	±(2% w.m. + 2 mΩ)
200...1999 mΩ	1 mΩ	
Zakresy wyświetlania rezystancji R_S i reaktancji X_S pętli zwarcia		
Zakresy wyświetlania	Rozdzielczość	Błąd podstawowy
0...199,9 mΩ	0,1 mΩ	±(2% w.m. + 2 mΩ) wskazania impedancji dla danego pomiaru
200...1999 mΩ	1 mΩ	
Wskazania prądu zwarciovego		
Zakres pomiarowy wg PN-EN 61557:		
▶ dla $U_n = 230$ V 115,0 A...32,0 kA		
▶ dla $U_n = 400$ V 200 A...55,7 kA		

Rys. 2. Karta katalogowa miernika MZC-310S [9]

Niedopuszczalne jest sprawdzanie ochrony przeciwporażeniowej dla wyników wskazanych przez urządzenie pomiarowe, będących poza zakresem pomiarowym określonym normą PN-EN 61557 [5].

3. POMIARY IMPEDANCJI PĘTLI ZWARCIA DUŻYM PRĄDEM

3.1. WPROWADZENIE

Pomiary impedancji pętli zwarcia dużym prądem są wykonywane w obiektach przemysłowych, użyteczności publicznej oraz innych charakteryzujących się dużą mocą zwarciovą. Ze względu na specyfikę wybranych odbiorów elektrycznych m.in. prasy, sztance, linie technologiczne, silniki dużej mocy, są one zabezpieczone urządzeniami o dużych prądach znamionowych (co najmniej od 250 A). Sprawdzeniu skuteczności ochrony przeciwporażeniowej podlegają wszystkie urządzenia w tym również rozdzielnice elektryczne

3.2. POMIARY IMPEDANCJI PĘTLI ZWARCIOWEJ W OBWODACH ZABEZPIECZONYCH WYŁĄCZNIKAMI MOCY

Wyłączniki mocy, są wyposażone w odpowiednie zestawy zabezpieczeń w zależności od konfiguracji. Na podstawie wyłączników mocy Schneider Compact NSX, wyposażone są one w następujące rodzaje zabezpieczeń:

- L - przetężeniowe,
- S - zwarciovie o krótkiej zwłóce - nastawialne,
- S₀ - zwarciovie o krótkiej zwłóce - nienastawialne,
- I - zwarciovie bezzwłoczne,
- G - ziemnozwarciowe,
- wyzwalenie dynamiczne.

Odpowiednio do zastosowanych zabezpieczeń stosuje się następujące oznaczenia:

- I_r - zabezpieczenie przeciążeniowe, korzystające z inwersyjnej charakterystyki czasowo-prądowej I^2t ,
- I_{sd} - zabezpieczenie zwarciovie z krótką zwłoką,
- I_i - zabezpieczenie zwarciovie bezzwłoczne - jest uzupełnieniem zabezpieczenia zwarcioviego I_{sd} ,
- I^2t - całka Joule'a, pozwala na uzyskanie charakterystyki czasowo-zależnej, umożliwia zachowanie selektywności wyłączników z bezpiecznikami,
- I_g - zabezpieczenie zwarciovie doziemne,
- t_r - czas zwłoki dla charakterystyki przeciążeniowej,
- t_{sd} - czas opóźnienia wyzwalacza zwarcioviego,
- t_g - graniczny czas trwania zwarcia doziemnego.

Typową charakterystykę czasowo-prądową wyłącznika przedstawiono na rysunku nr 3. Przy wykonywaniu pomiarów należy zwrócić szczególną uwagę na zestaw zabezpieczeń, w które został wyposażony wyłącznik, ponieważ od tych parametrów zależy

ocena skuteczności ochrony przeciwporażeniowej. Dodatkowo z katalogu należy odczytać zakres błędu pomiaru przez zabezpieczenie i odpowiednio go ująć przy ocenach.

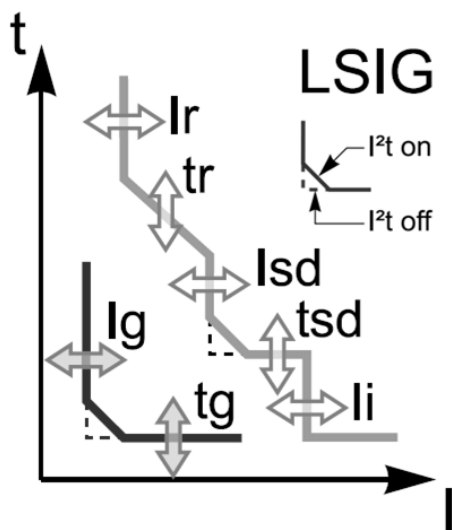
Schemat postępowania przy ocenie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w obwodach zabezpieczonych wyłącznikami mocy prezentuje następujący przykład.

W rozdzielnicy elektrycznej o napięciu znamionowym $U_0=230$ V wykonano pomiar impedancji pętli zwarcia przy pomocy miernika MZC-310S. Wartość wskazana przez miernik wynosi:

-L1-PE – 8,5 m Ω ,

-L2-PE – 8,5 m Ω ,

-L3-PE – 8,4 m Ω .



Rys. 3. Charakterystyki prądowo-czasowe dla wyłącznika Compact NSX firmy Schneider z zestawem zabezpieczeń Micrologic 5, gdzie: funkcja I^2t on (włączona) - umożliwia uzyskanie części charakterystyki czasowo-zależnej, jeżeli funkcja I^2t - off (wyłączona) - wtedy dla I_{sd} oraz I_g przebieg charakterystyki czasowo-prądowej w miejscu linii przerywanych – pozostałe oznaczenia w tekście [8]

Rozdzielnica jest zabezpieczona wyłącznikiem mocy NW32H1 3200 A z zestawem zabezpieczeń Micrologic 5.0E

- $I_r = 0,9 I_N = 2880$ A,
- $t_r = 24,0$ s,
- $I_{sd} = 5 I_r = 14,4$ kA,
- $t_{sd} = 0,4$ s,
- I^2t - wyłączone.

W obwodach rozdzielczych czas samoczynnego wyłączenia zasilania jest nie większy niż 5 s. Z danych odczytanych z wyłącznika do oceny skuteczności ochrony

przeciwporażeniowej należy wziąć pod uwagę zabezpieczenie zwarciove I_{sd} . Na podstawie danych z karty katalogowej dla zabezpieczeń elektronicznych bład zabezpieczenia jest w granicy $\pm 10\%$. Na tej podstawie prąd I_a

$$I_a = I_{sd} * 1,1 = 14,4 * 1,1 = 15,840 \text{ kA} \quad (4)$$

Prąd zwarciovy obliczony na podstawie wzoru (2)

$$I_{k1} = \frac{230 \text{ V}}{8,4 \text{ m}\Omega} = 27,380 \text{ kA} \quad (5)$$

Na podstawie (3) oraz (4) wynika

$$15,840 \text{ kA} \leq 27,380 \text{ kA} \quad (6)$$

Dla przestawionego przykłądu skuteczność ochrony porażeniowej jest spełniona. Należy mieć na uwadze, że w przypadku wyłączników z włączonym parametrem I^2t ocenę skuteczności ochrony przeciwporażeniowej można dokonać tylko w oparciu o charakterystyki czasowo-prądowe.

3.3. POMIARY IMPEDANCJI PĘTLI ZWARCIOWEJ W OBWODACH ZABEZPIECZONYCH WKŁADKAMI TOPIKOWYMI

Ze względu na niską cenę wkładki topikowe, stosowane jako urządzenia zabezpieczające są spotykane częściej niż wyłączniki mocy. Do oceny skuteczności ochrony przeciwporażeniowej należy sprawdzić jaki jest typ, prąd znamionowy oraz producent wkładki topikowej. Przy dokonywaniu oceny można się posłużyć pasmową charakterystyką czasowo-prądową wkładki topikowej, która została przedstawiona na rysunku nr 4.

Przy dokonywaniu oceny skuteczności ochrony przeciwporażeniowej na podstawie charakterystyki czasowo-prądowej należy korzystać z krzywej czasów wyłączania.

Schemat postępowania przy ocenie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w obwodach zabezpieczonych wkładkami topikowymi prezentuje następujący przykład.

W rozdzielnicy elektrycznej o napięciu znamionowym $U_0=230 \text{ V}$ wykonano pomiar impedancji pętli zwarcia przy pomocy miernika MZC-310S. Wartość wskazana przez miernik wynosi:

- L1-PE – 15,5 m Ω ,
- L2-PE – 15,4 m Ω ,
- L3-PE – 15,5 m Ω .

Rozdzielnica jest zabezpieczona wkładkami topikowymi typu gG 1250 A ETI-Polam
 W obwodach rozdzielczych czas samoczynnego wyłączenia zasilania jest nie większy niż 5 s. Na podstawie rysunku nr 5 należy odczytać prąd I_a .

Na podstawie rysunku nr 5 wynika

$$I_a = 13,125 \text{ kA} \quad (7)$$

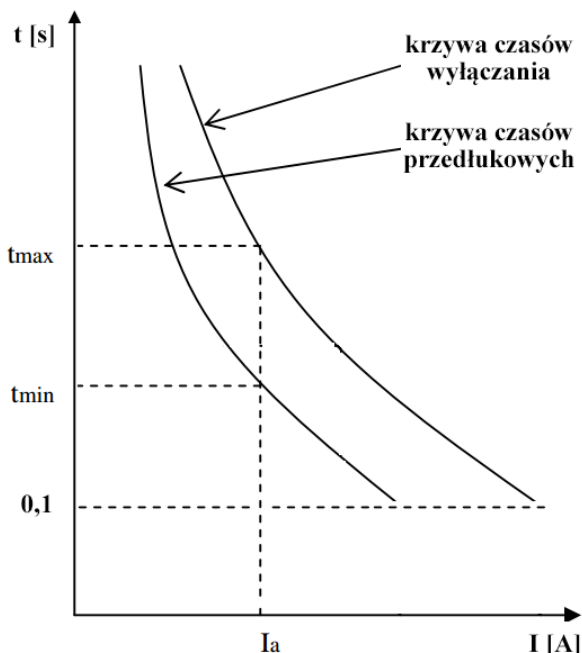
Na podstawie wzoru (2)

$$I_{k1} = \frac{230 \text{ V}}{15,4 \text{ m}\Omega} = 14,935 \text{ kA} \quad (8)$$

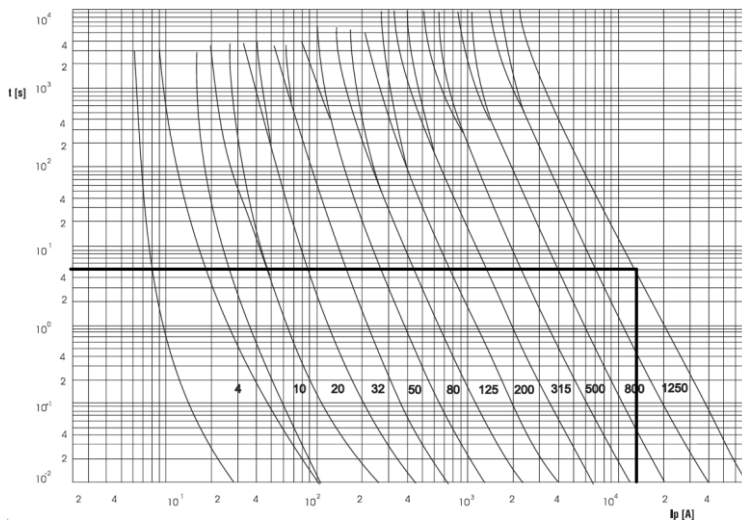
Na podstawie (3) oraz (8) wynika

$$13,125 \text{ kA} \leq 14,935 \text{ kA} \quad (9)$$

Dla przedstawionego przykładu skuteczność ochrony porażeniowej jest spełniona.



Rys.4. Przykładowa pasmowa charakterystyka czasowo-prądowa dla bezpiecznika topikowego, gdzie: I_a - prąd wyłączeniowy spodziewany, t_{max} - najdłuższy czas określający pewne zadziałanie bezpiecznika, t_{min} - najkrótszy czas określający możliwe zadziałanie bezpiecznika – źródło własne



Rys.5. Pasmowa charakterystyka czasowo-prądowa dla wkładek topikowych – źródło [7]

4. WNIOSKI

Wykonywanie pomiarów w obwodach zabezpieczonych urządzeniami o dużych prądach znamionowych może stanowić problem, ze względu na konieczność zastosowania specjalistycznych urządzeń pomiarowych. Należy zwrócić również uwagę, że podczas wykonywania tych prac należy w sposób szczególny zachować ostrożność, ze względu na duży prąd pomiarowy urządzenia.

Ocena wyników pomiarów jest również problematyczna, ponieważ do każdego urządzenia zabezpieczającego należy ocenę skuteczności ochronny przeciwporażeniowej sprawdzić indywidualnie. W trakcie jej oceny powinny być sprawdzone tabele, dane katalogowe oraz pasmowe charakterystyki czasowo-prądowe zabezpieczeń.

LITERATURA

- [1] Prawo budowlane. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. dz. U. Z 2017 r. Poz. 1332, 1529.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [3] Norma PN-HD 60364-4-41-2009. Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa - ochrona przed porażeniem elektrycznym.
- [4] Norma PN-HD 60364-6-2008. Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 6: Sprawdzanie.
- [5] Norma PN-EN 61557. Bezpieczeństwo elektryczne w niskonapięciowych sieciach elektroenergetycznych o napięciach przemiennych do 1 kV i stałych do 1,5 kV - urządzenia przeznaczone do sprawdzania, pomiarów lub monitorowania środków ochronnych.
- [6] Norma PN-EN 61557-3-2003. Bezpieczeństwo elektryczne w niskonapięciowych sieciach elektroenergetycznych o napięciach przemiennych do 1 kV i stałych do 1,5 kV - urządzenia przeznaczone do sprawdzania, pomiarów lub monitorowania środków ochronnych – Część 3: Impedancja pętli zwarcia.
- [7] Katalog produktów ETI-Polam. Bezpieczniki topikowe przemysłowe. Rozłączniki i osprzęt.
- [8] Katalog produktów Schneider Electric. Compact NSX Wyłączniki i rozłączniki w obudowach kompaktowych od 100 do 630 A.
- [9] Katalog produktów Sonel. Profesjonalne przyrządy pomiarowe Sonel 2017.

RULES OF MEASUREMENTS IN ELECTRICAL INSTALLATIONS WITH HIGH CURRENT LOOP METERS

The article presents measurements in low voltage installation in TN circuits with high current loop meters. Measurements with this meters are performed in industrial installations where high current protection devices are used.

Szymon BEDNARZ*

MOŻLIWOŚCI WYKRYWANIA I KOMPENSACJI USZKODZENIA WIRNIKA SILNIKA INDUKCYJNEGO PRZY WYKORZYSTANIU DODATKOWEGO ESTYMATORA REZYSTANCJI WIRNIKA

W artykule przedstawiono analizę możliwości wykrywania i kompensacji uszkodzenia prętów klatki wirnika silnika indukcyjnego przy wykorzystaniu dodatkowego estymatora rezystancji wirnika. Przedstawione zostały wyniki badań układu napędowego z silnikiem indukcyjnym pracującym w wektorowej strukturze bezpośredniego sterowania polowo-zorientowanego DFOC. Wykonano badania ilustrujące negatywny wpływ uszkodzenia prętów klatki wirnika na pracę układu napędowego. Następnie, w kolejnej części artykułu przedstawiono koncepcję układu pozwalającego wykrywać i jednocześnie kompensować to uszkodzenie, przy wykorzystaniu dodatkowego estymatora rezystancji wirnika, a także wykonano badania ilustrujące skuteczność zaproponowanej metody. Wszystkie badania miały charakter symulacyjny i wykonano je w środowisku MATLAB/Simulink.

1. WPROWADZENIE

Raporty i statystyki pokazują, że silniki indukcyjne klatkowe (SI) są najczęściej stosowanym typem silników elektrycznych w przemyśle [4]. Obecnie dzięki rozwojowi techniki mikroprocesorowej oraz energoelektroniki jest możliwa płynna regulacja prędkości i/lub momentu elektromagnetycznego silników indukcyjnych, poprzez zasilanie ich przez przemienniki częstotliwości i zastosowanie wektorowych metod sterowania [9], [10]. Silniki indukcyjne cechują się takimi zaletami jak: stosunkowo niska cena, duża dostępność, dobre parametry techniczne, prosta w utrzymaniu konstrukcja [4]. Pomimo tego, w trakcie eksploatacji silnika indukcyjnego mogą wystąpić liczne uszkodzenia [2], [3], [8], [12]. Jednym z nich jest uszkodzenie wirnika, a w szczególności pęknięcia prętów, pierścienia zwierającego lub połączeń prętów z pierścieniami w klatce. Degradacja klatki zaczyna się od pojedynczych, niewielkich uszkodzeń pierścienia lub kilku prętów, lecz przy dalszej eksploatacji silnika postępuje lawinowo. W skrajnych przypadkach może to skutkować

* Politechnika Wrocławska, Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych

uszkodzeniem łożysk lub izolacji uzwojeń stojana co w konsekwencji wyklucza silnik z dalszej eksploatacji [2], [3], [8], [12]. Z racji tego, że silniki te stanowią często ważne ogniwa w procesach technologicznych ich uszkodzenia mogą powodować długie przestoje w produkcji, skutkiem czego mogą być duże straty finansowe a w niektórych przypadkach awarii może dojść nawet utraty zdrowia lub życia przez obsługę procesu.

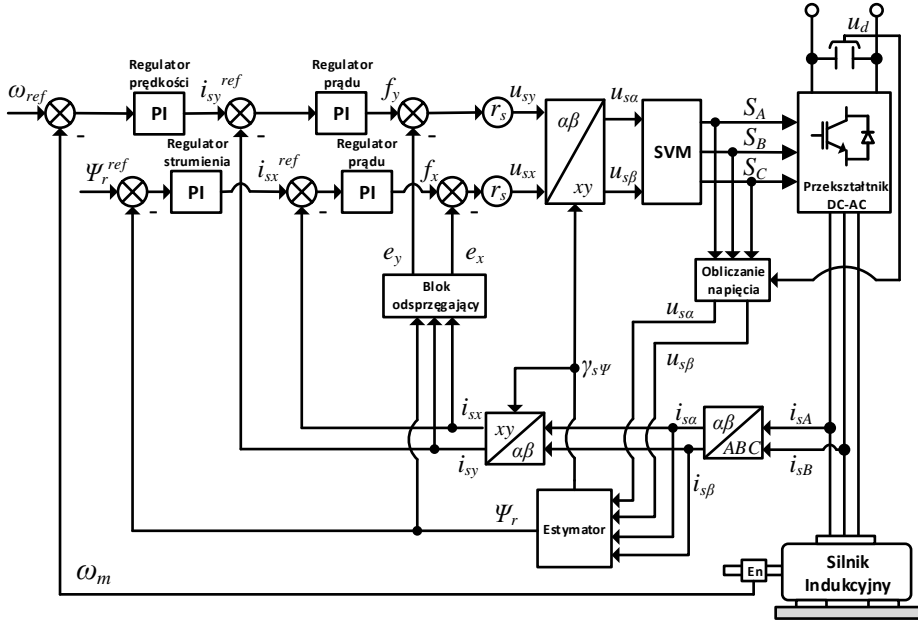
Jednym ze sposobów ograniczenia nagłych przestojów i zwiększenia bezpieczeństwa jest, stosowanie systemów wykrywania uszkodzeń i diagnostyki FDD (ang. *Fault Detection and Diagnosis*) bazujących na różnych metodach działania [6], [8]. Jedną z nich są metody porównawcze – wykorzystujące modele matematyczne diagnozowanego obiektu. W przeprowadzonych badaniach symulacyjnych wykorzystano jedną z metod porównawczych, która bazuje na identyfikacji (estymacji) wybranych parametrów silnika indukcyjnego. Identyfikacja parametrów za pomocą estymatorów, obserwatorów lub filtru Kalmana oraz śledzenie ich zmian w czasie rzeczywistym i porównanie z wartością dla normalnego stanu pracy pozwala na wykrycie uszkodzenia [1], [8], [13]. W przypadku układów napędowych z silnikiem indukcyjnym identyfikacja może dotyczyć wybranych parametrów schematu zastępczego silnika (np. rezystancje uzwojeń stojana lub wirnika). W artykule skupiono się na estymacji rezystancji zastępczej wirnika, która zmienia wraz z uszkodzeniem prętów klatki [1], [13].

Obecnie bardzo intensywnie rozwijane jest również zagadnienie układów odpornych na uszkodzenia (ang. FTCS – *Fault Tolerant Control Systems*) zwanych też układami o zwiększonym stopniu bezpieczeństwa, które pozwalają na kontynuowanie dalszej pracy napędu po wystąpieniu awarii przy zachowaniu pełnej lub częściowej funkcjonalności lub też pozwalają bezpiecznie zatrzymać napęd [5], [6], [7], [8], [10].

W zależności od rodzaju i lokalizacji uszkodzenia układu napędowego stosuje się różne strategie jego kompensacji. Jedną z nich jest stosowanie aktywnych układów napędowych odpornych na uszkodzenia (ang. AFTCS – *Active Fault Tolerant Control Systems*) [7], [10]. Są to systemy, które posiadają w strukturze układy FDD wykrywające, lokalizujące i określające stopień uszkodzenia. Po wykryciu uszkodzenia następuje odpowiednia rekonfiguracja układu sterowania polegająca na zmianie topologii i/lub parametrów regulatorów. Rekonfiguracja ta ma na celu zapewnić stabilną pracę całego układu napędowego w różnych warunkach, poprzez odpowiednie działania kompensujące. W systemach tych wykorzystuje się dodatkowe detektory, estymatory do wykrywania uszkodzenia. W tym estymatory parametrów obiektów sterowania, które ulegają zmianie w warunkach awaryjnych, a informacja o ich aktualnej wartości jest niezbędna do prawidłowej pracy [7], [10].

2. STRUKTURA STEROWANIA WEKTOROWEGO

Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy wektorowej bezpośredniej polowo-zorientowanej struktury sterowania silnikiem indukcyjnym DFOC (ang. *Direct Field Oriented Control*).



Rys. 1. Układ sterowania silnikiem indukcyjnym DFOC [9]

Idea sterowania polowo zorientowanego polega na wymuszeniu składowych wektora prądu stojana i_{sx} i i_{sy} w układzie współrzędnych (x - y) zorientowanym względem strumienia wirnika, dzięki czemu silnik staje się liniowym obiektem sterowania [9]. Jednak, przemiennik częstotliwości zasilający silnik indukcyjny nie jest w stanie bezpośrednio wymusić składowych polowych wektora prądu stojana. Dlatego w układzie sterowania należy zastosować układy transformacji współrzędnych wykorzystując transformację Clarka oraz Parka [9]. W układzie sterowania można wyróżnić dwa niezależne tory sterowania z kaskadowym połączeniem regulatorów typu PI: tor regulacji prędkości (momentu), oraz tor regulacji strumienia. Prędkość kątowna może być mierzona np. przy pomocy enkodera. Przy zasilaniu silnika indukcyjnego ze źródła napięcia (falownika napięcia) wymagane jest odsprzęgnięcie torów sterowania wykorzystując specjalny blok, który generuje odpowiednie sygnały odsprzęgające e_x i e_y [9]. Do prawidłowego działania układu sterowania wymagana jest również znajomość aktualnej pozycji oraz modułu wektora strumienia skojarzonego wirnika, który jest trudnomierzalną zmienną stanu silnika indukcyjnego, dlatego też do jego odtwarzania wykorzystuje się różne estymatory

zmiennych stanu [5], [9]. Jednym z nich może być estymator, nazywany symulatorem lub model prądowym, którego model matematyczny bazuje na równaniu różniczkowym obwodu wirnika silnika indukcyjnego. Wektor strumienia wirnika można obliczyć z zależności, wyrażoną w jednostkach względnych [5], [9]:

$$\frac{d}{dt} \Psi_r^i = \left[\frac{r_r}{x_r} (x_m \mathbf{i}_s - \Psi_r^i) + j \omega_m \Psi_r^i \right] \frac{1}{T_N} \quad (1)$$

gdzie:

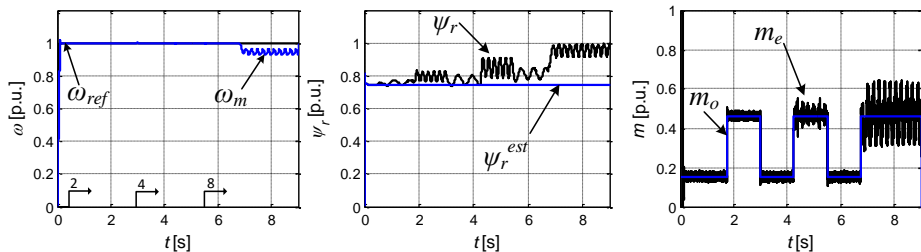
Ψ_r^i – estymowany wektor strumienia skojarzonego wirnika, \mathbf{i}_s – wektor prądu stojana, ω_m – prędkość kąтова wirnika, r_r, x_r, x_m – rezystancja i reaktancja zastępcza wirnika, reaktancja magnesująca, $T_N = 1/2\pi f_{sN}$.

Indeks *i* wskazuje na wykorzystanie symulatora prądowego do estymacji strumienia wirnika.

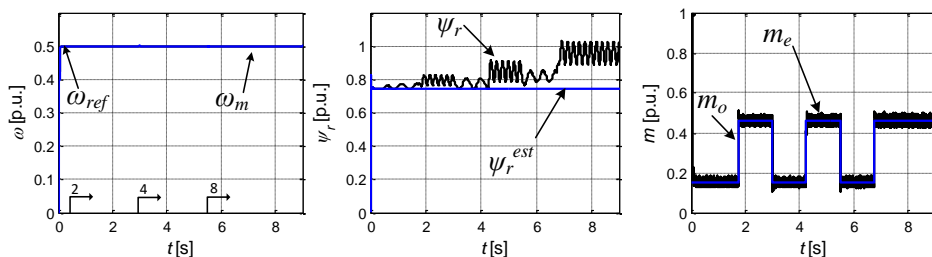
3. WPŁYW USZKODZENIA WIRNIKA SILNIKA INDUKCYJNEGO NA PRACĘ UKŁADU NAPĘDOWEGO

W tej części artykułu przedstawiono wyniki ilustrujące wpływ uszkodzenia prętów klatki wirnika silnika indukcyjnego na pracę układu napędowego. Do symulacji uszkodzenia prętów klatki wirnika wykorzystano uproszony obwodowy model dwuosiowy silnika indukcyjnego z uszkodzeniem wirnika, zaproponowany w [11]. Ideą niniejszego modelu jest zastąpienie stałej rezystancji zastępczej wirnika wielkością zmienną, tzw. wirtualnym wektorem rezystancji, którego moduł zmienia się w funkcji kąta położenia wirnika względem stojana, oraz w zależności od lokalizacji uszkodzonych prętów. Przerwanie pręta klatki powoduje zmianę rezystancji zastępczej wirnika (im więcej uszkodzonych prętów tym większy wzrost rezystancji), która dodatkowo charakteryzuje się oscylacjami. Badany silnik indukcyjny posiadał 22 pręty w klatce wirnika, a pozostałe parametry silnika zostały przedstawione w tabeli 1 (załącznik).

Podczas badań symulowano całkowite przerwanie prętów sąsiadujących, przy czym ich liczba wynosiła 2, 4 lub 8. Ilość uszkodzonych prętów oraz chwile ich uszkodzeń zaznaczono na przebiegu czasowym prędkości kątowej wirnika strzałkami oraz cyframi (odpowiadającymi liczbie uszkodzonych prętów). Silnik obciążony był zmiennym w czasie momentem m_o , a badania przeprowadzono dla różnych prędkości zadanych: $\omega_{ref} = \omega_{mN}$, $\omega_{ref} = 0,5\omega_{mN}$. Wyniki przedstawiono w postaci przebiegów czasowych mierzonej prędkości kątowej wirnika ω_m , modułu wektora strumienia skojarzonego (rzeczywistego i estymowanego) wirnika Ψ_r, Ψ_r^{est} oraz momentu elektromagnetycznego m_e .



Rys. 2. Przebiegi wybranych zmiennych stanu w układzie DFOC podczas uszkodzenia wirnika silnika indukcyjnego, $\omega_{ref} = \omega_{mN}$



Rys. 3. Przebiegi wybranych zmiennych stanu w układzie DFOC podczas uszkodzenia wirnika silnika indukcyjnego, $\omega_{ref} = 0,5\omega_{mN}$.

Analizując przebiegi wybranych zmiennych stanu silnika indukcyjnego można zauważyć, że uszkodzenie wirnika powoduje ich oscylację. Kolejnym zjawiskiem jakie można zaobserwować to pojawienie się błędów estymacji strumienia wirnika, którego wartość rośnie wraz ze wzrostem liczby uszkodzonych prętów i momentu obciążenia. Zjawisko to wynika z faktu, że model matematyczny symulatora prądowego (1) zależy jawnie od wartości rezystancji wirnika r_r , która w estymatorze jest stałym parametrem wprowadzającym do układu podczas jego wstępnej konfiguracji (wstępnej identyfikacji parametrów silnika przez przemiennik częstotliwości przed pierwszym uruchomieniem). Pomimo zmian rzeczywistej wartości r_r wskutek uszkodzenia prętów klatki wirnika nie ulega ona zmianie w estymatorze, ponieważ nie jest on wyposażony w dodatkowy układ do estymacji rzeczywistej wartości rezystancji wirnika [1]. Można również zauważyć zjawisko kompensacji skutków uszkodzenia przez zamknięty układ regulacji. Przyczyną jest to, że w torze stabilizacji strumienia wirnika jako sygnał sprzężenia zwrotnego podawana jest jego wartość estymowana Ψ_r^{est} , która utrzymywana jest na zadanym poziomie - w przeciwieństwie do wartości rzeczywistej. Zamknięty układ regulacji traktuje uszkodzenie wirnika (oscylacje zmiennych stanu) jako zewnętrzne zakłócenie i kompensuje je w pewnym stopniu. Dla znamionowej prędkości widoczny jest uchyb między prędkością zadaną a mierzoną.

5. DETEKCJA I KOMPENSACJA USZKODZENIA WIRNIKA SILNIKA INDUKCYJNEGO Z WYKORZYSTANIEM DODATKOWEGO ESTYMATORA REZYSTANCJI WIRNIKA

Przedstawione wyniki badań wyraźnie pokazały, że zmiana rezystancji wirnika wskutek uszkodzenia jego prętów ma niekorzystny wpływ na jakość estymacji strumienia wirnika - co bezpośrednio przekłada się na jakość pracy układu napędowego. Dlatego zaproponowano koncepcję układu pozwalającego wykrywać i kompensować uszkodzenie wirnika silnika indukcyjnego. W tym celu do struktury sterowania z rys. 1 dodano estymator rezystancji wirnika bazujący na technice MRAS (ang. *Model Reference Adaptive System*), czyli układ adaptacyjny z modelem odniesienia. Estymator ten został szczegółowo omówiony w [14], a jego strukturę przedstawiono na rys. 4. Estymator bazuje na modelu prądowym oraz napięciowym strumienia wirnika silnika indukcyjnego. Jako model referencyjny wykorzystany jest symulator napięciowy, który jest niezależny od rezystancji wirnika. Symulator prądowy, który jawnie zależy od tego parametru stanowi model przestrajalny estymatora. Idea estymacji opiera się na minimalizacji błędów ε_α , ε_β wynikających z różnicy estymacji między symulatorem napięciowym i prądowym:

$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon_\alpha &= \psi_{r\alpha}^u - \psi_{r\alpha}^i, & \varepsilon_\beta &= \psi_{r\beta}^u - \psi_{r\beta}^i \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Indeks u wskazuje na wykorzystanie symulatora napięciowego do estymacji strumienia wirnika.

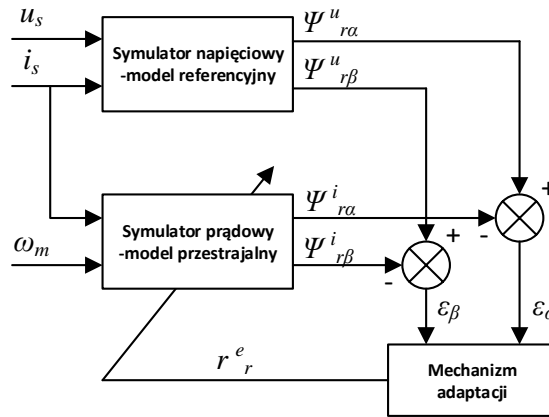
Błędy te wykorzystywane są w mechanizmie adaptacji rezystancji, który wyrażony jest zależnością:

$$r_r^e = \int A_3 dt + A_4 \quad (3)$$

gdzie:

$$\left\{ \begin{aligned} A_3 &= K_3 \left[\left(\frac{-\psi_{r\alpha}^i + x_s i_{\alpha s}}{x_r} \right) \varepsilon_\alpha + \left(\frac{-\psi_{r\beta}^i + x_s i_{\beta s}}{x_r} \right) \varepsilon_\beta \right] \\ A_4 &= K_4 \left[\left(\frac{-\psi_{r\alpha}^i + x_s i_{\alpha s}}{x_r} \right) \varepsilon_\alpha + \left(\frac{-\psi_{r\beta}^i + x_s i_{\beta s}}{x_r} \right) \varepsilon_\beta \right] \end{aligned} \right. \quad (4)$$

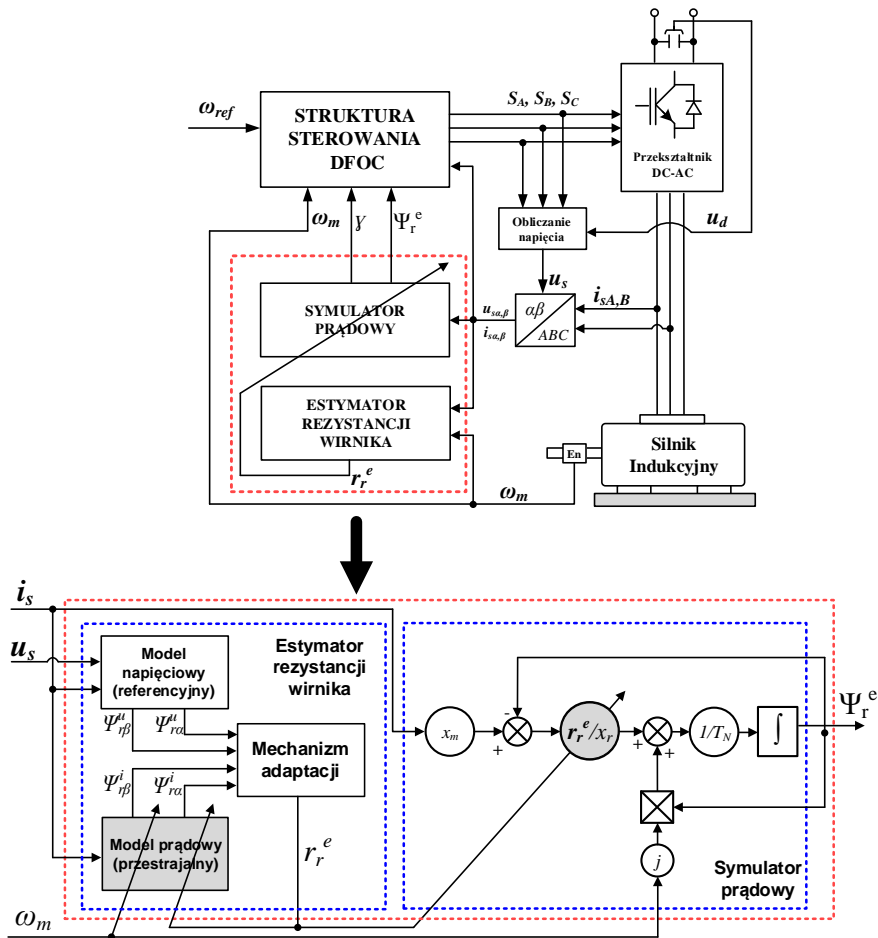
Parametry K_3 i K_4 stanowią stałe, dodatnie współczynniki. Ważną cechą tego układu jest to, że działa on poprawnie tylko w przypadku, gdy moment obciążenia jest różny od zera. Na wyjściu estymatora konieczne jest stosowanie filtra dolnoprzepustowego, którego stała czasowa dobierana jest w zależności od struktury sterowania.



Rys. 4. Schemat blokowy estymatora rezystancji wirnika [14]

W ogólnym przypadku detekcja uszkodzenia wirnika jest wystarczającą czynnością, która pozwala na natychmiastowe wyłączenie silnika z eksploatacji. Jednak w układach o zwiększonym stopniu bezpieczeństwa gwałtowne wyłączenie silnika nie powinno zostać zastosowane, ponieważ przerwanie pewnych procesów grozi jeszcze większymi stratami lub zagraża bezpieczeństwu obsługi. Dlatego od takich układów wymaga się, aby były w stanie pracować z uszkodzeniem przy obniżonej jakości działania przez określony czas pozwalający na zakończenie i bezpieczne zatrzymanie całego procesu. Takie podejście może bazować na aktywnych układach napędowych odpornych na uszkodzenia (AFTCS) [7]. Na bazie ogólnej koncepcji takich systemów zaproponowano układ kompensacji uszkodzenia wirnika dla wektorowego sterowania silnikiem indukcyjnym, którego schemat poglądowy przedstawiono na rys. 5. W podejściu tym estymowana rezystancja wirnika jest dodatkowym sygnałem wejściowym symulatora prądowego i jest ona aktualizowana na bieżąco [1]. Można zauważyć, że układ mógłby zostać zredukowany jedynie do estymatora rezystancji wirnika, ponieważ pracujący w jego strukturze symulator prądowy przestrajany przez estymowaną rezystancję również estymuje składowe wektora strumienia skojarzonego wirnika.

Podczas badań symulowano całkowite uszkodzenie od 1 do 8 prętów sąsiadujących prętów klatki wirnika, przy czym uszkodzenie pierwszego pręta nastąpiło w 1s natomiast kolejnych co sekundę. Ilość uszkodzonych prętów oraz chwile ich uszkodzeń również zaznaczono strzałkami oraz cyframi. Silnik obciążony był stałym momentem $m_o=m_N$, a badania przeprowadzono dla różnych prędkości zadanych: $\omega_{ref} = \omega_{mN}$, $\omega_{ref} = 0,5\omega_{mN}$ oraz $\omega_{ref} = 0,1\omega_{mN}$. Na rys. 6 przedstawiono przebiegi czasowe rezystancji rzeczywistej r_r^{real} , estymowanej r_r^{est} i znamionowej r_{rN} , które można wykorzystać do wykrywania uszkodzenia prętów klatki wirnika.

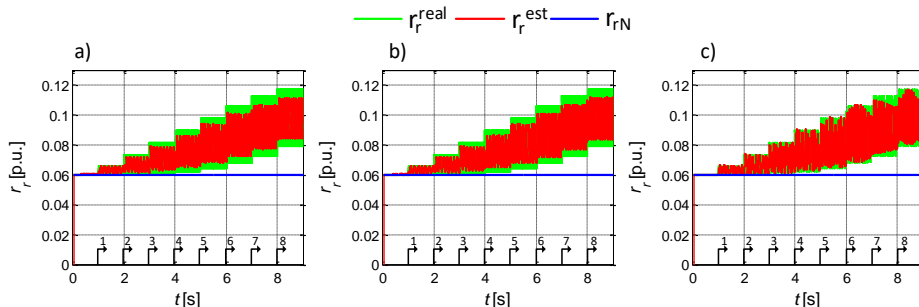


Rys. 5. Układ sterowania silnikiem indukcyjnym DFOC z dodatkowym estymatorem rezystancji wirnika

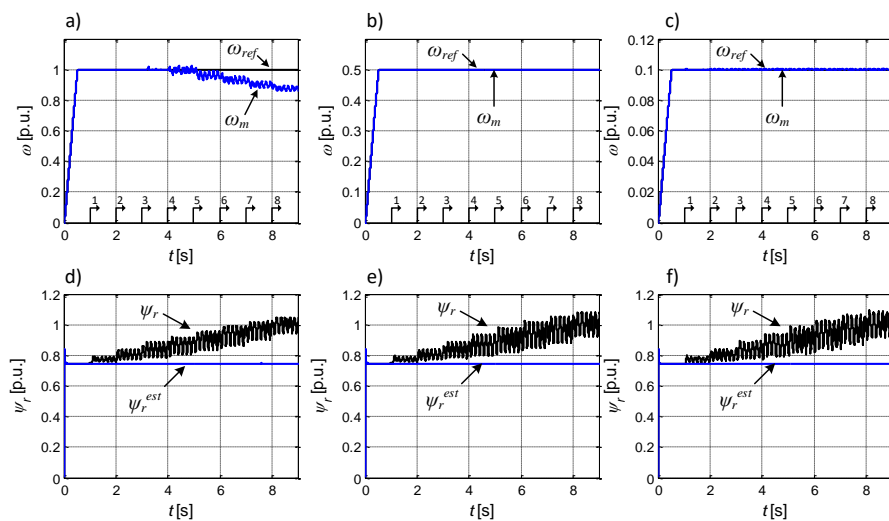
Analizując wyniki z rys. 6 można zauważyć, że rezystancja wirnika jest estymowana prawidłowo w całym zakresie zmian prędkości. Dzięki czemu, bazując na omawianej we wprowadzeniu metodzie diagnostyki wykorzystującej identyfikację parametrów silnika indukcyjnego możliwe jest wykrycie uszkodzenia wirnika.

Jak wcześniej wspomniano estymowana rezystancja wirnika była wprowadzana do układu sterowania. Poniżej przedstawiono przebiegi wybranych zmiennych stanu silnika indukcyjnego przed (rys. 7) i po (rys. 8) kompensacji zmian rezystancji wirnika. Porównując otrzymane przebiegi widać, że wprowadzenie estymowanej rezystancji wirnika do struktury wewnętrznej symulatora prądowego kompensuje skutki jej zmiany, spowodowanej uszkodzeniem prętów klatki wirnika. Jednak należy zaznaczyć, że jest to kompensacja w ograniczonym stopniu, ponieważ błąd estymacji strumienia wirnika jest widoczny, ale

oscyluje on wokół zera. Prędkość kątową utrzymywana jest na wymaganym poziomie dla wszystkich wartości zadanych.



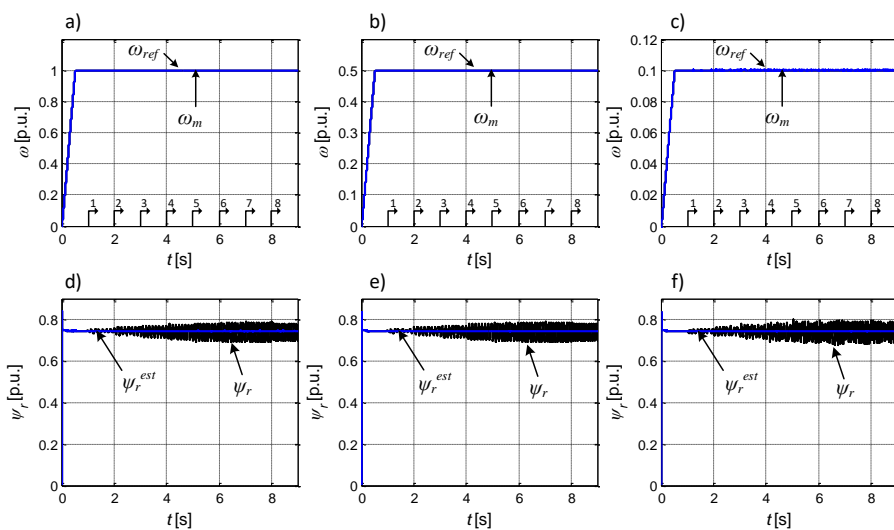
Rys. 6. Przebiegi rezystancji rzeczywistej, estymowanej i znamionowej wirnika podczas uszkodzenia wirnika dla struktury DFOC z dodatkowym estymatorem rezystancji wirnika, $\omega_{ref} = \omega_{mN}$ (a), $\omega_{ref} = 0,5\omega_{mN}$ (b), $\omega_{ref} = 0,1\omega_{mN}$ (c), $m_o = m_N$



Rys. 7. Przebiegi wybranych zmiennych stanu w układzie DFOC bez dodatkowego estymatora rezystancji podczas uszkodzenia wirnika (przed kompensacją), $\omega_{ref} = \omega_{mN}$ (a, d), $\omega_{ref} = 0,5\omega_{mN}$ (b, e), $\omega_{ref} = 0,1\omega_{mN}$ (c, f), $m_o = m_N$

Tabela 1. Parametry silnika indukcyjnego

$P_N = 1,1$ [kW]	$n_N = 1400$ [rpm]	$R_s = 5,9$ [Ω]	$X_r = 131,1$ [Ω]	$r_s = 0,0778$ [p.u.]	$x_r = 1,7281$ [p.u.]
$U_N = 220/380$ [V]	$f_N = 50$ [Hz]	$R_r = 4,559$ [Ω]	$X_m = 123,3$ [Ω]	$r_r = 0,0601$ [p.u.]	$x_m = 1,6253$ [p.u.]
$I_N = 5,0/2,9$ [A]	$p_b = 2$	$X_s = 131,1$ [Ω]		$x_s = 1,7281$ [p.u.]	



Rys. 8. Przebiegi wybranych zmiennych stanu w układzie DFOC z dodatkowym estymatorem rezystancji podczas uszkodzenia wirnika (po kompensacji), $\omega_{ref} = \omega_{mN}$ (a, d), $\omega_{ref} = 0,5\omega_{mN}$ (b, e), $\omega_{ref} = 0,1\omega_{mN}$ (c, f), $m_o = m_N$

6. PODSUMOWANIE

Podsumowując przedstawione wyniki badań można stwierdzić, że istnieje możliwość wykrywania i kompensacji uszkodzenia wirnika silnika indukcyjnego w układach wektorowego sterowania DFOC. W wyniku wprowadzania do układu sterowania estymowanej rezystancji wirnika zmniejsza się błąd estymacji strumienia wirnika oraz uchyb ustalony między prędkością zadaną a mierzoną. Zmieniająca się w wyniku uszkodzenia prędkość rezystancja wirnika jest estymowana prawidłowo zarówno dla dużych jak i małych prędkości kątowych, dzięki czemu może zostać wykorzystana do wczesnego wykrywania uszkodzenia. Przechodzenie symulatora prądowego w trakcie pracy przez dodatkowy estymator rezystancji nie powoduje utraty jego stabilności w całym zakresie regulacji prędkości.

Należy jednak zwrócić uwagę na to, że nie jest możliwa idealna kompensacja uszkodzenia wirnika, ponieważ estymowany strumień stosunkowo silnie oscyluje wokół wartości zadanej. Jednak z punktu widzenia układów odpornych na uszkodzenia jakością pracy napędu nie jest czynnikiem najważniejszym.

LITERATURA

- [1] BEDNARZ SZ., *Możliwości wykrywania i kompensacji wybranych uszkodzeń silnika indukcyjnego przy wykorzystaniu parametrów silnika indukcyjnego*, Praca magisterska, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2017.
- [2] DRĄK B., *Awaryjność maszyn elektrycznych i transformatorów w energetyce*, BOMBRE KOMEL, Katowice 2013.
- [3] DRĄK B., *Typowe uszkodzenia silników indukcyjnych dużej mocy*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, BOMBRE KOMEL, nr 89, 2011, 7-14.
- [4] CIENIAK I., *Polski rynek napędów i serwonapędów*, Control Engineering Polska, nr 82, 2011, 52-58.
- [5] DYBKOWSKI M., *Estymacja prędkości kątowej w złożonych układach napędowych - zagadnienia wybrane*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
- [6] KLIMKOWSKI K., *Układy napędowe odporne na uszkodzenia – stan zagadnienia*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 70, Studia i Materiały nr 34, Wrocław 2014, 133-143.
- [7] KLIMKOWSKI K., DYBKOWSKI M., *Fault Tolerant Control Structure for Induction Motor Drive System*, *Automatika - Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications*, 57 (3), 2016, 638-647.
- [8] KOWALSKI C. T., *Diagnostyka układów napędowych z silnikiem indukcyjnym z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
- [9] ORŁOWSKA-KOWALSKA T., *Bezczujnikowe układy napędowe z silnikami indukcyjnymi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [10] ORŁOWSKA-KOWALSKA T., DYBKOWSKI M., *Industrial drive systems. Current state and development trends*, *Power Electronics and Drives*, 36 (1), 2016, 5-25.
- [11] PAWLAK M., ORŁOWSKA-KOWALSKA T., *Zastosowanie uproszczonego modelu dwuosowego do modelowania uszkodzeń wirnika silnika klatkowego*, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 10, 2006, 48-53.
- [12] SZYMANIEC S., *Badania, eksploatacja i diagnostyka zespołów maszynowych z silnikami indukcyjnymi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Studia i Monografie z. 333, Opole 2013.
- [13] WIERZBICKI R., *Diagnostyka silników indukcyjnych z zastosowaniem estymatorów stanu i parametrów*, Rozprawa doktorska, Politechnika Wrocławska, Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, Wrocław, 2011.
- [14] ZORGANI Y.A., KOUBAA Y., BOUSSAK M., *Simultaneous estimation of speed and rotor resistance in sensorless ISFOC induction motor drive based on MRAS scheme*, ICEM, Rome 2010.

DETECTION AND COMPENSATION OF ROTOR FAULT IN THE INDUCTION MOTOR USING AN ADDITIONAL ROTOR RESISTANCE ESTIMATOR

The article presents an analysis of the possibility of detecting and compensating the rotor bars fault of the induction motor using an additional rotor resistance estimator. The results of induction motor operating in the DFOC direct field-oriented vector control structure were presented. To illustrate a negative influence of the rotor fault on the properties of drive the studies has been performed. The next part of this paper presents a concept of a system that can detect and compensate rotor fault using an additional rotor resistance estimator, and also the results of the effectiveness of the proposed method were presented. Simulation test were performed in the MATLAB/Simulink software.

Tomasz DEMIDOWICZ*, Mariusz BALICKI*

DZPW- ZASADY ORAZ WYKORZYSTANIE PRAKTYCZNE NA OBIEKTACH PRZEMYSŁOWYCH I WYTWÓRCZYCH

Artykuł opisuje o zagrożeniach spowodowanych różnymi czynnikami zewnętrznymi. Podstawowe informacje na temat wybuchu jak i jego klasyfikacji oraz o zasadach tworzenia dziennika zagrożenia przeciwwybuchowego oraz przeciwdziałaniu tym zagrożeniom. Porusza kwestie programowe do wykorzystania jako narzędzia ułatwiające przeciwdziałaniu zagrożeniu wybuchem.

1. WSTĘP – PODSTAWOWE INFORMACJE NA TEMAT WYBUCHU ORAZ PODSTAWY PRAWNE

Dziennik zagrożenia wybuchem tworzony jest na wielu obiektach przemysłowych, wszędzie tam, gdzie możliwe jest dojście do wybuchu, którym jest gwałtownie przebiegająca reakcja spalania połączona z wydzielaniem dużej ilości ciepła. Jeśli do wybuchu dochodzi w ograniczonej przestrzeni następuje wzrost ciśnienia. Aby mogło dojść do wybuchu w tym samym miejscu i w tym samym czasie muszą wystąpić trzy czynniki (zgodnie z rysunkiem 1):

- a. paliwo (może nim być zarówno gaz palny, opary cieczy palnych czy pyły palne),
- b. tlen (wybuch jest gwałtownie przebiegającą reakcją utleniania),
- c. źródło zapłonu o odpowiedniej energii zdolnej do zapoczątkowania wybuchu.

Jeśli w zakładzie przetwarza, magazynuje lub produkuje się substancje stwarzające zagrożenie wybuchem, pracodawca zobowiązany jest spełnić wymagania zawarte w Dyrektywie 1999/92/WE określanej jako ATEX USER lub ATEX 137. Dyrektywa ta została wprowadzona do prawodawstwa polskiego poprzez rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej. Rozporządzenie określa minimalne wymagania dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy w środowisku pracy, w którym może wystąpić atmosfera wybuchowa.

* Firma Procom system i Grupa WOLFF



Rys. 1. Schemat powstawania wybuchu [2]

Przepisów rozporządzenia nie stosuje się do:

- używania urządzeń spalających paliwa gazowe,
- środków transportu lądowego, morskiego, lotniczego lub śródlądowego,
- środków transportu przeznaczonych do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem,
- produkcji, używania, przechowywania i transportu materiałów wybuchowych lub nietrwałych substancji chemicznych,
- zakładów górniczych,
- miejsc przeznaczonych bezpośrednio do opieki medycznej.

Zgodnie z zapisami zawartymi w rozporządzeniu, aby zapobiegać wybuchom i zapewnić ochronę pracownikom przed ich skutkami, pracodawca powinien stosować, odpowiednie do rodzaju działalności, techniczne i organizacyjne środki ochronne. Powinny one zapewnić:

- zapobieganie tworzeniu się atmosfery wybuchowej,
- zapobieganie wystąpieniu zapłonu atmosfery wybuchowej,
- ograniczenie szkodliwego efektu wybuchu, w celu zapewnienia ochrony zdrowia i bezpieczeństwa osób pracujących.

Ponadto rozporządzenie obowiązuje pracodawcę do:

- przeprowadzenia kompleksowej oceny ryzyka wybuchu
- sporządzenia dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem na podstawie przeprowadzonej oceny ryzyka
- sporządzenia dokumentu zabezpieczania przed wybuchem, który powinien zawierać:
 - opis środków ochronnych, które zostaną podjęte w celu spełnienia wymagań określonych w rozporządzeniu oraz ograniczenia szkodliwych skutków wybuchu;
 - wykaz przestrzeni zagrożonych wybuchem wraz z ich klasyfikacją na strefy;

- zostały określone terminy dokonywania przeglądów stosowanych środków ochronnych,
- **oświadczenie pracodawcy** informujące, że:
 - ✓ miejsca pracy, urządzenia, a także urządzenia ostrzegawcze są zaprojektowane, używane i konserwowane w sposób zapewniający bezpieczne i właściwe ich funkcjonowanie,
 - ✓ urządzenia spełniają wymagania przewidziane w przepisach dotyczących minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy,
 - ✓ została dokonana ocena ryzyka związanego z możliwością wystąpienia atmosfery wybuchowej
- zostały określone dla wszystkich osób wykonujących pracę na rzecz różnych pracodawców w tym samym miejscu pracy:
 - ✓ środków ochronnych, o których mowa pkt. 1,
 - ✓ zasad koordynacji stosowania tych środków przez pracodawcę odpowiedzialnego za miejsce pracy,

2. ZAGROŻENIA WYSTĘPUJĄCE W PRZEMYSŁE

Zagrożenie wybuchem występuje w wielu gałęziach przemysłu i związane jest z substancjami, które mogą być wytwarzane, przetwarzane lub magazynowane w zakładzie.

Przykłady zagrożeń w różnych gałęziach przemysłu:

- **przemysł chemiczny**
łatwopalne gazy, ciecze i pyły są przerabiane i przetwarzane podczas różnych procesów
- **energetyka**
kawałki węgla, które nie stanowią zagrożenia wybuchem, w połączeniu z powietrzem mogą zostać przekształcone podczas transportu, mielenia lub suszenia w pył węglowy sprzyjający tworzeniu mieszaniny wybuchowej pył/powietrze
- **przemysł drzewny**
podczas obróbki drewna powstaje pył drzewny; może to sprzyjać tworzeniu mieszanin wybuchowych pył/powietrze, np. w filtrach lub silosach
- **dostawcy gazu**
mieszaniny wybuchowe gaz/powietrze mogą powstać podczas uwolnienia gazu ziemnego, np. w wyniku wycieku

- **obróbka metali**
w przypadku obróbki części wytwarzanych z metali, mogą powstać wybuchowe pyły metali tworzące się podczas obróbki powierzchniowej (szlifowanie); jest to szczególnie niebezpieczne w przypadku metali lekkich; pyły metali mogą spowodować zagrożenie wybuchem w kolektorach pyłu
- **przemysł farmaceutyczny**
alkohole są często wykorzystywane jako rozpuszczalniki podczas produkcji farmaceutyków; mogą być również wykorzystane czynniki i materiały pomocnicze, które powodują zagrożenie wybuchem pyłu, np. laktoza
- **rafinerie**
wszystkie węglowodory przetwarzane w rafineriach są łatwopalne i w zależności od ich temperatury zapłonu, mogą spowodować powstanie atmosfer wybuchowych nawet w temperaturze otoczenia.

3. KLASYFIKACJA PRZESTRZENI ZAGROŻONYCH WYBUCHEM

W tej części artykułu zajmiemy się klasyfikacją przestrzeni zagrożonych wybuchem na strefy na podstawie prawdopodobieństwa i czasu występowania atmosfery wybuchowej zaczynając od początku:

- **strefa 0** – przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę z powietrzem substancji palnej w postaci gazów, par, mgieł, występuje stale, często lub przez długie okresy,
- **strefa 1** – przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę z powietrzem substancji palnej w postaci gazów, par, mgieł, może wystąpić w trakcie normalnego działania,
- **strefa 2** – przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę z powietrzem substancji palnej w postaci gazów, par, mgieł, nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia, utrzymuje się przez krótki okres,
- **strefa 20** – przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu występuje stale, często lub przez długie okresy,
- **strefa 21** – przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu może wystąpić w trakcie normalnego działania,
- **strefa 22** – przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia, utrzymuje się przez krótki okres.

Następnie uwzględniając zależność od doboru urządzeń przeznaczonych do pracy w strefach zagrożonych wybuchem wg kategorii

- w strefie 0 lub 20 – mogą być stosowane urządzenia kategorii 1,


- w strefie 1 lub 21 – mogą być stosowane urządzenia kategorii 1 lub 2,
 - w strefie 2 lub 22 – mogą być stosowane urządzenia kategorii 1, 2 lub 3,
- Strefy można klasyfikować również według:
- opracowania i stosowania w zakładzie systemu zezwoleń na wykonywanie pracy w odniesieniu do wykonywania czynności niebezpiecznych,
 - opracowania i wdrożenia instrukcji wykonywania prac w przestrzeniach zagrożonych wybuchem,
 - zapewnienia osobom pracującym w miejscach, w których istnieje możliwość wystąpienia atmosfery wybuchowej odpowiedniego szkolenia dotyczącego ochrony przed wybuchem,
 - oznaczenia w miejscu wstępu do przestrzeni, w których istnieje możliwość wystąpienia mieszaniny wybuchowej w ilościach zagrażających bezpieczeństwu i zdrowiu, odpowiednim znakiem ostrzegawczym rys 2:



Rys. 2. Znak ostrzegawczy EX [2]

W strefach zagrożonych wybuchem musimy stosować urządzenia iskrobezpieczne dla które oznacza się specjalnymi oznaczeniami tak jak na Rys 3. Kod ten zawiera wszystkie informacje na temat danego urządzenia takie jak. Numer jednostki która wydała certyfikat, typ certyfikatu dzięki temu wiemy na przykład czy urządzenie jest przewidziane do strefy pyłowej czy gazowej, grupę wybuchowości czy kategorii urządzenia. Dodatkowo na samym końcu mamy informacje na temat klasy temperatur. Klasy temperatur oraz ich zakresy zostały przywołane w tabeli 1. Wskazane zostały tam również maksymalne temperatury powierzchni dla każdego z zakresów.

Jeżeli w zakładzie występuje dużo substancji stwarzających zagrożenie, a co za tym idzie jest dużo stref zagrożonych wybuchem, to w konsekwencji wymusza stosowanie dużej ilości urządzeń w wykonaniu przeciwwybuchowym, aby było możliwe spełnienie zapisów przywołanego rozporządzenia. Wymaga to wiedzy, gromadzenia dokumentów, pilnowania przeglądów, koordynacji prac remontowych i inwestycyjnych. Żeby ułatwić tę pracę można wykorzystać dedykowane oprogramowanie ExPlant.

CE 0102  II 2G Ex d IIA T5

1 2 3 4 5 6 7 8

1	Oznaczenie CE
2	Numer identyfikacyjny jednostki certyfikującej
3	Symbol wykonania przeciwybuchowego
4	Grupa wybuchowości
5	Kategoria urządzenia
6	Rodzaj ochrony przeciwybuchowej
7	Podgrupa wybuchowości
8	Klasa temperatur

Rys. 3. Oznaczenia certyfikatów wraz z ich znaczeniem [1]

Tabela 1. Klasy Temperaturowe [3]

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Max. temp. powierzchni	450°C	300°C	200°C	135°C	100°C	85°C
IIA	Aceton Amoniak Benzen Kwas octowy Etan Octan etylu Chlorek etylu Metanol Naftalen Fenol Propan	Octan Izoamylu n-Butan Alkohol n-butyłowy	Benzyny Oleje napędowe Oleje opałowe n-Heksan	Aldehyd octowy	T5	T6
IIB	Gaz miejski (gaz oświetleniowy)	Etylen Tlenek etylenu		Eter etylenowy		
IIC	Wodór	Acetylen				Dwusiarczek węgla

4. PRAKTYCZNE WYKORZYSTANIE

Na obiektach przemysłowych są różne sposoby przeciwdziałania zwiększania poziomów bezpieczeństwa wybuchowego. Jednym z nich jest system ExPlant oparty na systemie proman opatentowany przez dwie polskie firmy Procom System i Wolff. ExPlant to innowacyjny system oparty na CMMS. Umożliwia on stały nadzór całego zakładu dzieląc je na pojedyncze urządzenia. Jest to pełne kompendium wiedzy całego ciągu technologicznego. Zarządza on bezpieczeństwem zakładu, zbiera pełne informacje na temat każdego urządzenia takie jak daty przeglądów, opis uwag, informacje dotyczące SIL (daty

kontrolnych przeglądów wymian „czas wymian najsłabszych ogniw”). Program pozwala nadzorować nawet najbardziej zagrożone wybuchem elementy ciągów technologicznych takich jak np. nawęglania. System pozwala łączyć centrum informacji przeglądów, danych technicznych, jak i na przykład można łączyć z systemem wizualizacji ppoż. Przykładem działania, gdzie jest widoczny taki system są przeglądy jednodniowe, w których system je nadzoruje. Wprowadza on dla obsługi urządzenia ze skanerami QR. Obsługa robiąc codzienny obchód skanując kody rozmieszczone na każdym urządzeniu „zaliczając punkt”. Urządzenie zawiera pełne informacje techniczne na temat badanej maszyny, wskazuje on najsłabsze części, na które powinno się zwrócić uwagę jak i pełny terminarz przeglądów wymaganych przez przepisy i producenta, dodatkowo system przechowuje wszystkie parametry przeglądów wraz z ich terminami. W praktyce, ExPlant daje nam korzyści takie jak:

- a) Bezpieczeństwo: system wpływa na poprawę bezpieczeństwa poprzez ujednoczenie i kontrolę eksploatowanych urządzeń, wspomaga lepszą diagnostykę oraz analizę stanu technicznego poprzez szereg algorytmów pomiarowych, wcześniej wykrywa objawy awarii oraz w przypadku konieczności podjęcia interwencji sygnalizuje o tym obsługę. Ponadto system oblicza aktualny wskaźnik zużycia urządzeń, pełną rejestrację zdarzeń, a także rzeczywisty przebieg czasu pracy jak i tworzenie statystyk awarii.
- b) Podgląd produkcji w czasie rzeczywistym: dzięki poborze danych z różnych systemów automatyki (zawdzięcza to obsłudze wielu standardów komunikacyjnych: OPC, SQL, ModBus, mBus, profibus, XML, CSV) możemy podglądać parametry całych ciągów technologicznych w jednym miejscu, dodatkowo możemy go zintegrować z innymi systemami.
- c) Większa efektywność produkcji: pełna baza wiedzy, która obejmuje parametryzację urządzeń, dzięki właściwemu planowaniu w zakresie przestojów przeglądów pomaga wyeliminować nieplanowane przestoje, dodatkowo system umożliwia tzw. „Benchmarking,” czyli porównywanie parametrów dla instalacji znajdujących się w różnych zakładach na terenie całego świata. Dodatkowym atutem jest automatyczne obliczanie KPI (kluczowe wskaźniki efektywności).

5. WNIOSKI

Podsumowując ten krótki artykuł należy pamiętać że zostało przedstawione tu tylko jedno z wielu rozwiązań. Pokazane rozwiązanie wskazuje jak systemy automatyzacji są ważne dla działania zapobiegającym wybuchem stosując takie systemy zyskujemy szereg korzyści takich jak np.:

- łatwiejsze zapewnienie bezpieczeństwa na terenach obiektów przemysłowych,

- dopasowanie się do obowiązującego prawa,
- zminimalizowanie strat materialnych jakie wynikają z potencjalnych zagrożeń, awarii,
- ograniczenie przestojów w produkcji,
- konsultacja/potwierdzenie naszych kompetencji przez inżynierskie bazy danych,
- szybsza i łatwiejsza koordynacja służb BHP.

Należy pamiętać iż wykonanie danej oceny zgodności każdego wyrobu według dyrektywy 94/9/WE jest obowiązkiem wytwórcy natomiast jeśli chodzi o wymagania zgodności z dyrektywą 1999/92/WE to należy ona w obowiązkach pracodawcy.

LITERATURA

- [1] <https://pl.wikipedia.org/wiki/ATEX>
- [2] Materiały własne GRUPA WOLFF
- [3] 2012 RiskCon - Inżynierskie Biuro Analiz Zagrożeń i Oceny Ryzyka

DZPW PRINCIPLES AND PRACTICAL USE IN INDUSTRIAL AND MANUFACTURING FACILITIES

This article describes the risks posed by various external factors. Basic information about the explosion as well as its classification, and the principles of creating an explosion-proof log and counteracting these hazards. It addresses programming issues for use as a tool to help prevent explosion hazards.

Iga MENDRECKA *

PROBLEMY W PROJEKTACH PRZYŁĄCZA ELEKTRYCZNEGO NISKIEGO NAPIĘCIA

W referacie przybliżono problematykę związaną z projektami przyłącza elektrycznego niskiego napięcia. Przedstawiono główne zagadnienia z tym związane, wymieniono i omówiono podstawowe rodzaje przyłączy. Ponadto, celem niniejszej pracy jest przybliżenie regulacji prawnych i częstych problemów, z którymi często trzeba się zmierzyć wykonując projekt przyłącza elektrycznego niskiego napięcia.

1. WSTĘP

W obecnym czasie nikt nie wyobraża sobie życia bez energii elektrycznej. Jest ona nam niezbędna do życia codziennego. Mimo tego, że każdy traktuje to jako dobro, które należy się każdemu, niejednokrotnie człowiek musi odczekać czasem wiele lat żeby zostać przyłączonym do sieci. Często aby wykonać przyłącze, projektant na swojej drodze spotyka wiele problemów. W zależności czy kabel będzie poprowadzony przez drogę krajową, powiatową czy też gminną musi uzyskać decyzję od danej jednostki. Również jeżeli przechodzi przez działki prywatne musi uzyskać pozwolenie od każdego właściciela nieruchomości przez którą będzie poprowadzony kabel. Dodatkowo, jeżeli projekt jest wykonywany na terenie rozwojowym i wymaga zmian w sieci (np. zwiększenia mocy w stacji transformatorowej) należy wystąpić również o pozwolenie na budowę. Wykonany projekt musi być uzgodniony przez Zakład Energetyczny. Projekt często nie jest uzgadniany i należy wykonać poprawki. Po otrzymaniu uzgodnienia projektant może oddać projekt do wykonawcy. Każda procedura trwa bardzo długo.

* Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny

2. GŁÓWNE RODZAJE PRZYŁĄCZA

Przyłącze jest odcinkiem linii elektrycznej łączącym zewnętrzną sieć zasilającą ze złączem znajdującym się przy budynku. Przyłącza dzieli się na dwa rodzaje:

- napowietrzne,
- kablowe.

Projektant wykonując projekt musi zastosować się do wszystkich wytycznych narzuconych przez Zakład Energetyczny. Obecnie stosuje się głównie przyłącza kablowe, w których stosuje się układ magistralny. Kabel wprowadza się do budynku, a następnie wyprowadza i układa do następnego budynku. Dzięki temu możliwy jest podział sieci. Kabel pod ziemią jest niewidoczny i dzięki temu mniej przeszkadza. Jednak

w razie usterki ciężko znaleźć miejsce w którym kabel został uszkodzony. Przyłącza napowietrzne natomiast stosuje się zazwyczaj do zasilania np. znaku drogowego.

W razie jakiegokolwiek usterki szybciej można określić miejsce awarii. Należy też się zastanowić na jakiej wysokości umieścić kabel, gdy występuje kolizja z budynkiem bądź drogą.

W przyłączach stosujemy różne grubości kabla. Jest oczywiście wiele rodzajów kabli, ale najczęściej stosuje się:

- AsXSn 2x25mm²,
- YAKXs 4x35mm²,
- YAKXs 4x120mm²,
- YAKXs 4x240mm².

Pierwszy używany jest w wypadku gdy wykonujemy przyłącze napowietrzne. Kabel YAKXs 4x35mm² jest wymagany dla najprostszego projektu gdzie kabel będzie kładziony do ok. 30 metrów. Jeżeli należy położyć większą ilość metrów kabla a teren na którym jest przyłączany obiekt ewidentnie jest rozwojowy i w przyszłości będzie trzeba zasilić więcej obiektów (przedłużamy sieć) wykonujemy YAKXs 4x120mm². Natomiast gdy zasilamy obiekt przemysłowy który wymaga dużej ilości mocy kładziemy kabel YAKXs 4x240mm².

Wykonując taki projekt możemy odłączyć się od obiektu, który jest już połączony z siecią. Te urządzenia to:

- istniejące złącze,
- słup,
- stacja transformatorowa ,
- mufa rozgałęźna albo przelotowa.

Projekt wykonywany jest od tego obiektu do którego jest najbliżej. Jeżeli jest problem z poprowadzeniem kabla z obiektu który jest najbliżej szukamy kolejno innego, żeby mieć możliwość wykonania projektu. Gdy schodzimy z ostatniego słupa lub gdy linia jest goła zazwyczaj Zakład Energetyczny wymaga od nas zaprojektowania ograniczników przepięć. Stanowi on ochronę linii i urządzeń nn prądu przemiennego przed skutkami przepięć atmosferycznych i łączeniowych. Mufa natomiast daje nam możliwość wykonania wcinki

w kabel w wyznaczonym miejscu. Rozwiązanie to jednak powoduje potem częste awarie i bywa dość problematyczne.

Dodatkowo wykonujemy przyłącza aby zasilić instalacje w układzie:

- jednofazowym,
- trójfazowy.

W praktyce wygląda to tak, że do zasilania działki rekreacyjnej, domku letniskowego wykonuje się układ jednofazowy, zaś dla budynków mieszkalnych lub przemysłowych układ trójfazowy.

3. ZŁĄCZA

Złącze to jest nic innego jak skrzynka, która znajduje się na końcu naszego przyłącza. W niej znajduje się główne zabezpieczenie. Zestaw złączowo-pomiarowy łączy naszą instalację wykonaną w domu z przyłączem. Warunki, które musi spełnić złącze to:

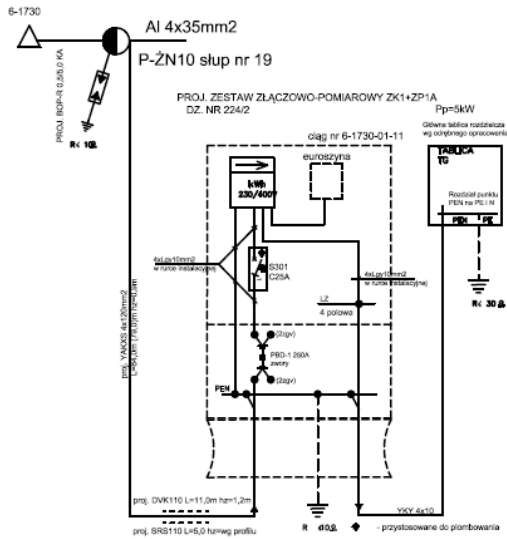
- musi być przystosowane do plombowania,
- musi być zapewniona możliwość zrobienia połączenia z główną szyną uziemiającą budynku,

- musi być zamykana na klucz,
- powinna znajdować się w miejscu ogólnodostępnym.

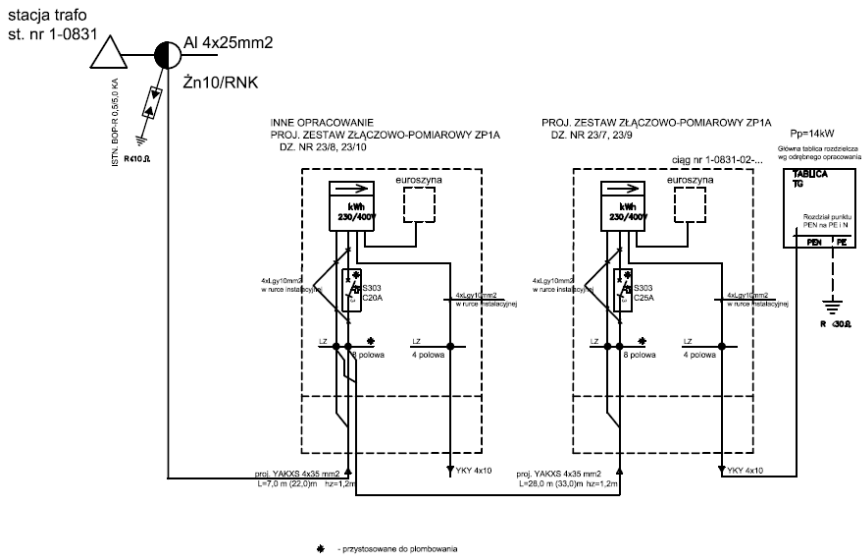
Najczęściej złącze wykonuje się w granicy działki, w linii (lub przed linią) projektowanego lub istniejącego ogrodzenia. Gdy wykonujemy prace w bloku znajduje się wtedy na klatce schodowej. Dolna krawędź powinna się znajdować co najmniej 30 cm nad ziemią [4]. Po wybudowaniu takiego złącza teoretycznie inwestor zgadza się na odejście od jego skrzynki. Jednak czasem właściciel działki odmawia pozwolenia na przejście przez działkę co skutkuje np. brakiem możliwości wybudowania przyłącza u sąsiada.

Rodzaj skrzynki narzucany jest z góry przez Zakład Energetyczny w warunkach przyłączenia. Są skrzynki podwójne, które dają nam większe możliwości późniejszego rozbudowania sieci. Są to typowe konstrukcje wyposażone w zaciski do przyłączenia kabli i w gniazda bezpiecznikowe. Drzwiczki chronią sprzęt przed warunkami atmosferycznymi. Obudowa zazwyczaj wykonana jest z tworzywa sztucznego albo blachy. Na rysunku 1 i 2 przedstawiono przykładowe złącza, które znajdują się w projekcie. Na schemacie jednokreskowym umieszcza się każdą ważną informację:

- stację transformatorową od której jest wykonywane przyłącze,
- rodzaj przyłącza napowietrznego,
- istniejący element od którego się przyłączamy (w przypadku słupa podajemy nazwę słupa),
- projektowany kabel wraz z ewentualnymi projektowanymi rurami,
- moc przyłączeniową,
- wyłącznik nadprądowy, tablicę główną i numer ciągu.



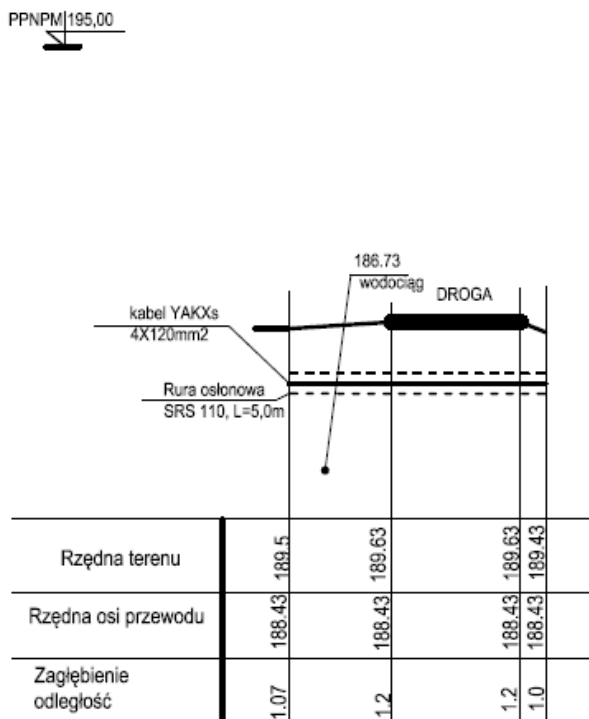
Rys. 1. Projektowane złącze ZK1+ZP1A od istniejącego słupa



Rys. 2. Projektowane złącze ZP1A od istniejącej skrzynki

4. PROFIL PODŁUŻNY

Czasem trzeba wykonać w projekcie profil podłużny projektowanego kabla (rysunek 3). Zostajemy do tego zmuszeni gdy występuje kolizja z mediami (kanalizacja sanitarna, wodociąg, kabel telekomunikacyjny, inny kabel energetyczny, gazociąg). Trzeba się zastosować do norm i odsunąć się na bezpieczną odległość. Dodatkowym problemem jest nakazana odgórnie minimalna głębokość na którą możemy położyć kabel. Ciężko jest zachować te wszystkie wytyczne. Często wymagana głębokość narzucona przez właściciela drogi jest dużo niższa od tej w normie. Gdy minimalna głębokość jest zbyt niska, może to stanowić pewien problem, bo można znaleźć się zbyt blisko np. wodociągu. Głębokość kabla zależy również od tego, czy kabel będzie znajdował się na użytku rolnym czy poza użytkami rolnymi. Wszystkie potrzebne informacje w jaki sposób projektować i budować linie kablowe opisuje norma N-SEP-E-004 zgodnie z tabelą nr 1.



Rys. 3. Profil podłużny skrzyżowania kabla energetycznego z wodociągiem i z drogą

Tabela 1. Odległości kabli od innych urządzeń podziemnych wg normy N-SEP-E-004

Lp.	Rodzaj urządzenia podziemnego	Najmniejsza dopuszczalna odległość [cm]			
		Kable o napięciu znamionowym $U_n < 30kV$		Kable o napięciu znamionowym $30kV < U_n \leq 110kV$	
		Pionowa na skrzyżowaniu	Pozioma przy zbliżeniu	Pionowa na skrzyżowaniu	Pozioma przy zbliżeniu
1	Rurociągi wodociągowe, ściekowe, ciepłe, gazowe z gazami niepalnymi	25+średnica rurociągu	25+średnica rurociągu	50+ średnica rurociągu	50+średnica rurociągu
2	Rurociągi z gazami i cieczami palnymi	Uzgodnić z właścicielem rurociągu, ale nie mniej niż lp.1			
3	Zbiorniki z gazami i cieczami palnymi	Nie mogą się krzyżować	200	Nie mogą się krzyżować	Uzgodnić z właścicielem rurociągu ale nie mniej niż 250
4	Części podziemne linii napowietrznych (ustój, podpora, odciążka)	Nie mogą się krzyżować	40	Nie mogą się krzyżować	100
5	Budynki i inne budowle np. przyczółki, z wyjątkiem urządzeń w lp. 1-4	Nie mogą się krzyżować	50*	Nie mogą się krzyżować	100
6	Skrajna szyna trakcji	100-między osłoną kabla i stopą szyny	250*	120 między osłoną kabla i stopą szyny; 80 między osłoną kabla a dnem rowu odwadniającego	250
7	Urządzenia do ochrony budowli od wyładowań atmosferycznych	PN-86/E-05003/01 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Wymagania ogólne (norma wycofana)			
* Dopuszcza się zmniejszenie odległości podanych w tablicy 2 pod warunkiem zastosowania osłon otaczających i uzgodnienia odstępstwa z użytkownikami obiektów					

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono główne elementy projektu przyłącza niskiego napięcia. Skupiono się na największych problemach z jakim trzeba się zmierzyć. Wymieniono rodzaje przyłączy, pokazano przykładowe zestawy złączowo-pomiarowe oraz przykładowy profil podłużny.

LITERATURA

- [1] BIANGA T., DROP D., DROP R., MAJEWSKI A., PÓŁKOSZEK J., TOBIASZ A., TOMASZEWSKI M., WLAZŁO M., WŁASTOWSKI A., *Poradnik elektroinstalatora, Współczesne instalacje elektryczne w budownictwie jednorodzinym*, Wydanie pierwsze, Warszawa, COSIW, Moeller, 2006.
- [2] MARKIEWICZ H., *Bezpieczeństwo w elektroenergetyce*, Wydanie drugie, Warszawa, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2002.
- [3] MARKIEWICZ H., *Instalacje elektryczne*, Wydanie szóste, Warszawa, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2005.
- [4] PAZDRO K., WOLSKI A., *Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych w pytaniach i odpowiedziach*, Wydanie siódme częściowo zmienione, Warszawa, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1997.

PROBLEMS IN PROJECTS OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL CONNECTIONS

The article describes main issue connected with designing electrical connections. Usually a person who has to realize this type of project has a lot of problems and this paper describes how to solve it. It also presents an example of typical project. Therefore it was my purpose to show how this simple project is done.

Michał JASIŃSKI*, Tomasz SIKORSKI*, Klaudiusz BORKOWSKI**

ANALIZA WAHAŃ NAPIĘCIA W SIECIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH ZASILAJĄCYCH ZAKŁADY GÓRNICZE Z WYKORZYSTANIEM TECHNIK EKSPLORACJI DANYCH

Artykuł prezentuje analizę wahań w sieciach elektroenergetycznych 110kV zasilających zakłady górnicze. Pierwsza część artykułu zawiera przyczyny powstawania wahań napięcia w sieciach górniczych oraz wpływ tego typu zaburzeń na pracę odbiorników. Druga część obejmuje wyniki analiz wahań napięcia dla trzech różnych linii zasilających z wykorzystaniem klasycznej metodyki oceny jakości energii oraz z zastosowaniem analizy skupień. Do tego celu zastosowano algorytm k-średnich, odległość Czebyszewa oraz zadaną liczbę skupień równą dwa. W wyniku tego otrzymano dwie grupy różniące się cechami. Skupienie pierwsze zawierało wszystkie dane pochodzące z stanu normalnej pracy sieci elektroenergetycznej, natomiast skupienie drugie reprezentowane było przez dane zawierające zdarzenia napięciowe. Dla tak określonych skupień przeprowadzoną analizę statystyczną.

1. WSTĘP

Współczesny rozwój wielu gałęzi przemysłu wymaga zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną i to energię o odpowiedniej jakości. Wymagania dotyczące jakości są opisane zarówno w właściwym rozporządzeniu [[1]] oraz normach [[2]], [[3]]. Również współczesna literatura obszernie opisuje różne wskaźniki jakości energii elektrycznej [[6]], [[10]], [[13]], [[14]]. Należy podkreślić, iż obecnie oceną jakości energii elektrycznej opiera się głównie na parametrach napięcia zasilającego. Jednym z aspektów analiz są wahania napięcia, którym poświęcono poniższy artykuł. Przez wahania napięcia rozumie się serię zmian wartości skutecznej lub obwiedni przebiegu czasowego napięcia [[7]] definiowane w następujący parametryczny sposób:

- powtarzające się w odstępach czasu nie dłuższych niż 10 min,

* Politechnika Wroclawska Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii

** KGHM Polska Miedź S.A, Oddział Zakłady Górnicze „Polkowice-Sieroszowice”

- zachodzące z szybkością większą niż $0,02 \cdot U_n/s$, tzn. większą niż 2% napięcia znamionowego na sekundę,
- amplitudzie (głębokości), w stosunku do wartości poprzedzającej, nie większej niż 10%. [[13]].

2. WAHANIA NAPIĘCIA W ZAKŁADACH GÓRNICZYCH

Wahania napięcia pochodzą przede wszystkim od odbiorników o zmienności mocy biernej w czasie. [[4]] Analizując sieć zasilającą zakłady górnicze (często oprócz zakładów górniczych przyłączone są również zakłady wzbogacania rud), należy spodziewać się częstego występowania tego zjawiska głównie ze względu na odbiorniki dużych mocy [[8]], np. maszyny klatkowe i skipowe, przenośniki taśmowe oraz inne (o mocy znacznej w porównaniu do mocy zwarciowej w punkcie ich przyłączenia), tj. pompy, wentylatory, kruszarki, młyny (prętowe czy kulowe), suszarki obrotowe, przesiewacze, maszyny flotacyjne itd. Istotnym również z punktu widzenia wahań napięcia jest także proces załączania baterii kondensatorów, a także rozruch maszyn asynchronicznych.

Analiza wahań napięcia w sieciach górniczych jest niezbędna ze względu na wpływ ich obecności na działanie:

- maszyn asynchronicznych – wahania napięcia powodują zmianę momentu i wzmagają drgania mechaniczne. Czynniki te mają wpływ na proces technologiczny oraz na wytrzymałość urządzenia, a docelowo na czas jego eksploatacji,

- maszyn synchronicznych – wahania napięcia wywołują dodatkowe momenty obrotowe oraz zmianę ich mocy. Zaobserwować również można zjawiska tzw. kołysania, a co za tym idzie wcześniejszego zużywania się wirników eksploatowanych maszyn. Istotne jest to więc z punktu widzenia kosztów: rosną straty oraz koszty remontowo/eksploatacyjne

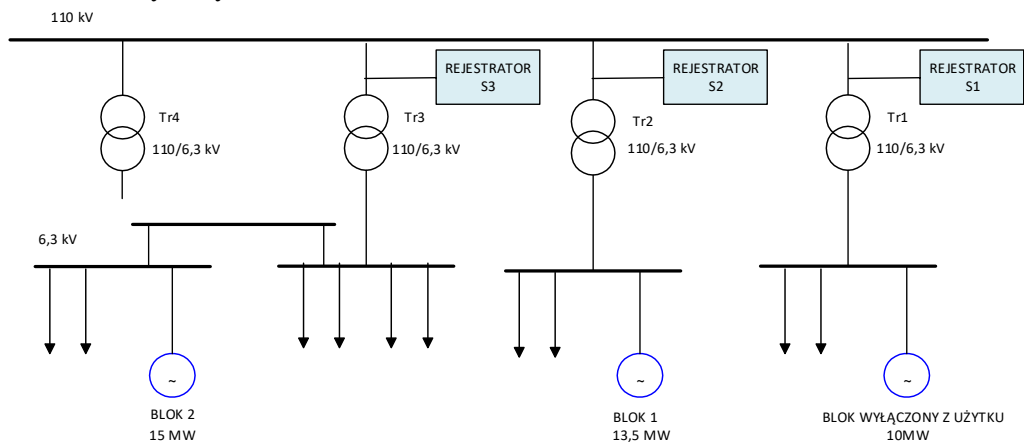
- układów przekształtnikowych – praca układów przekształtnikowych przy wahaniami napięcia przynieść może powstawanie harmonicznych niecharakterystycznych oraz interharmonicznych. Niekorzystnym i obserwowalnym skutkiem dla tych układów jest również zmniejszenie współczynnika mocy,

- źródeł światła.

Mówiąc o wpływie wahań napięcia na źródła światła, należy przybliżyć zjawisko migotania światła zwane w literaturze angielskiej „flicker”, uznane jako subiektywne odczucie zmian strumienia świetlnego, którego luminancja lub rozkład spektralny podlega zmianom w czasie [[7]]. Skutkiem wpływu wahań napięcia jest przede wszystkim organicznie zdolności widzenia (w tym np. rozróżnialności koloru), większe zmęczenie pracowników w trakcie pracy, a co za tym idzie zmniejszenie ich wydajności. Efektem tego zjawiska może być również większa ilość wypadków.

3. OPIS OBIEKTU BADAŃ I PRZEPROWADZONYCH POMIARÓW

Badania wykonano w wybranych polach liniowych 110kV stacji transformatorowej należącej do wybranego oddziału zakładów górniczych rud miedzi na Dolnym Śląsku. Zakłady te zasilane są przez kilka stacji elektroenergetycznych 110kV stałych oraz jedną przenośną. Dodatkowo na poziomie średniego napięcia przyłączona jest lokalna generacja: bloki parowo-gazowe (blok 1 i blok 2). Zasilanie odbiorników jest w układzie promieniowym. Sieci zasilające 110 kV pracują z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym. Schemat sieci wraz z umiejscowieniem rejestratorów i generacji został zamieszczony na rys. 1.



Rys. 1 Schemat sieci elektroenergetycznej z uwzględnieniem umiejscowienia rejestratorów jakości energii elektrycznej oraz lokalnej generacji

Podstawnymi odbiorami badanej stacji elektroenergetycznej należącej do wybranego oddziału zakładów górniczych rud miedzi na Dolnym Śląsku są: napędy elektryczne maszyn wyciągowych z silnikami prądu stałego, stacje i napędy wentylatorów z silnikami synchronicznymi, stacje i napędy pomp z silnikami asynchronicznymi, napędy przenośników taśmowych z silnikami asynchronicznymi.

Na potrzeby artykułu analizowano parametry jakości energii elektrycznej w trzech doprowadzonych do stacji transformatorowej liniach. Każdą linię charakteryzował inny profil obciążenia:

– S1 jest typową linią, do której przyłączone są tylko odbiory (ciągły pobór mocy czynnej), dawniej dołączona była generacja, jednak obecnie blok ten wyłączony jest z użytku,

– S2 jest linią, do której przyłączona jest znaczna liczba odbiorników, jednak w dniu 06.12.2015 zaobserwowano większą produkcję mocy pochodzącą z lokalnej generacji (blok 1) niż zużycie,

– S3 jest linią, która przez większość czasu podczas badania charakteryzowała się większą produkcją energii pochodzącej z lokalnej generacji (blok 2) niż zużycie.

Szczegółową zmianę mocy czynnej w punktach pomiarowych zaprezentowano na rys. 2-4 wraz ze zmiennością poziomu wahań napięcia.

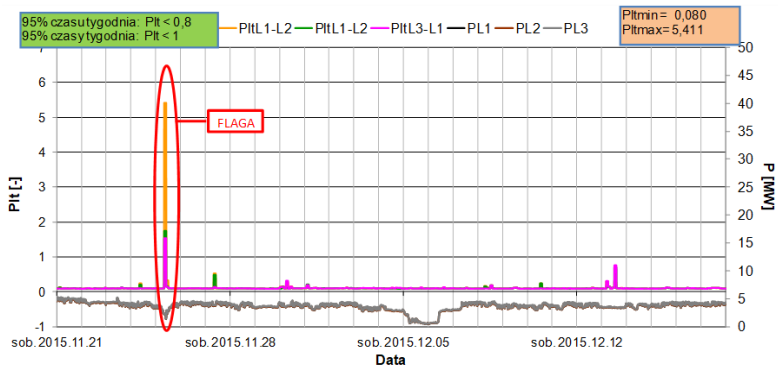
Rejestrację parametrów wykonano w okresie od 21.11.2015 do 18.12.2015. Dokonano pomiarów w polach liniowych linii S1, S2, S3. Do rejestracji parametrów jakościowych wykorzystano trzy analizatory jakości energii Fluke 1760 klasy A z synchronizacją czasową. Pomiar wykonywany był w układzie pośrednim z wykorzystaniem stacyjnych przekładników prądowych i napięciowych. Metodyka pomiarów i czasy agregacji wykonano zgodnie normą [[3]]. Porównano poszczególne wskaźniki jakości energii elektrycznej w badanych liniach względem siebie. W artykule ograniczono się do prezentacji wyników analizy wahań napięcia

4. ANALIZA WAHAŃ NAPIĘCIA

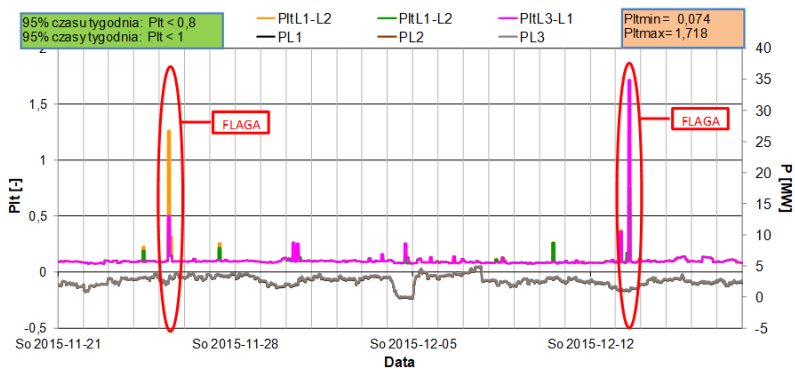
Analiza wahań napięcia została podzielona na dwa etapy. Pierwszy etap obejmował klastyczną analizę zgodności parametru jakości energii elektrycznej, a drugi zawierał analizę statystyczną dla powstałych skupień w wyniku zastosowania wybranej techniki eksploracji danych.

Pierwszy etap obejmował analizę zgodności poziomu wahań napięcia z poziomami podanymi w [1] oraz [2]. Zgodnie z metodyką klasycznej oceny jakości energii elektrycznej w analizie nie zostały uwzględnione dane zawierające zdarzenia napięciowe – zastosowano system flagowania na podstawie wiedzy eksperckiej (oflagowana dane 2h zawierające zapady napięcia). **Drugi etap wykorzystywał analizę** wahań napięcia dla poszczególnych grup (skupień). Przypisanie danych do skupień zostało zrealizowane z zastosowaniem analizy skupień. Wybrano algorytm k-średnich, odległość Czebyszewa i liczbą skupień równą dwa do podziału danych jakości energii elektrycznej na podstawie ich cech. Szczegółowo metoda podziału danych została opisana w [[9]]. Uzyskano podział danych na dwa skupienia, w których:

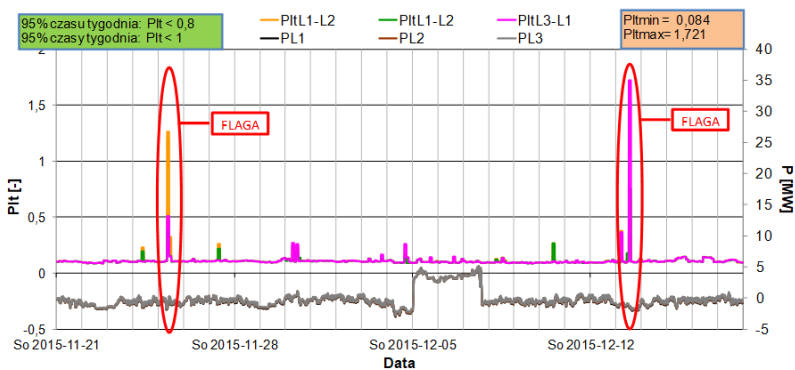
- skupienie 1 – „stan normalny” – dane niezawierające zdarzeń napięciowych,
- skupienie 2 – „zdarzenie napięciowe” – dane zawierające zdarzenia napięciowe.



Rys. 2 Wahania napięcia w linii S1.



Rys. 3. Wahania napięcia w linii S2.



Rys. 4. Wahania napięcia w linii S3.

Dzięki zastosowaniu algorytmów podziału danych uzyskano automatycznie wydzielenie danych do analizy nie zawierające danych zdarzeniowych, podlegających w

ujęciu klasycznym flagowaniu. Następnie odpowiednio dla *skupienia 1* przeprowadzono analizę danych zawierającą określenie wartości minimalnych, maksymalnych i średnich. Obliczono parametry statystyczne: wariancję, odchylenie standardowe oraz względne odchylenie standardowe.

Wyniki etapu pierwszego przedstawiają Rys. 2-4, które prezentują przebieg wahań napięcia dla każdej z badanych linii – oś główna oraz zmienność mocy czynnej w badanym punkcie pomiarowym – oś pomocnicza. Dodatkowo rysunki w górnej części zawierają dopuszczalne limity wynikające z [1] oraz [2]. W prawym górnym rogu natomiast zawarto wartości maksymalne i minimalne wahań napięcia dla danego punktu pomiarowego.

Wyniki etapu drugiego obejmują zastosowanie analizy skupień do wydzielenia dwóch stanów pracy sieci elektroenergetycznej: pracy normalnej (*skupienie 1*) oraz w trakcie zaburzenia (*skupienie 2*). Zastosowanie algorytmu k-średnich dla zadanej liczby skupień równej dwa, daje możliwość automatycznego wydzielenia danych podlegających tzw. flagowaniu.

W Tab. 1 zawarto wyniki analizy danych, należących do *skupienia 1* (reprezentującego dane nieflagowane), obejmujące następujące parametry: wartości minimalne, maksymalne i średnie wahań napięcia dla poszczególnych wartości międzyfazowych dla każdej z linii S1, S2, S3. Należy zauważyć, że średnia wartość wahań napięcia w wszystkich punktach pomiarowych była podobna, bliska wartości 0,1. Poziom minimalnych wahań był również zbliżony we wszystkich liniach: około 0,08. Natomiast wartości maksymalne były około dwukrotnie większe dla linii S1 niż S2 i S3. Analiza statystyczna pozwala stwierdzić, że dane ze *skupienia 1* charakteryzowane były małą wariancją na poziomie $0,001 \div 0,002$ oraz względnym odchyleniem standardowym nieprzekraczającym 45%. Należy zauważyć że badane punkty pomiarowe S2 i S3 są liniami o mniejszym obciążeniu mocą czynną względem linii S1 oraz posiadają przyłączoną generację.

Dla porównania w Tab. 1 przedstawiono również poziom wahań napięcia dla danych oflagowanych, obejmujących odnotowane zdarzenia zapadów napięcia. Dla pierwszego zdarzenia obserwujemy zdecydowanie najbardziej znaczącą reakcję linii S1 i bardzo wysoki poziom wahań napięcia dla wszystkich wartości międzyfazowych. Natomiast druga dana nie została zakwalifikowana w linii S1 jako zawierająca zdarzenie napięciowe, jednak ze względu na globalne podejście do flagowania wartości (wspólnie dla badanego fragmentu sieci elektroenergetycznej) wartość ta została przypisana do *skupienia 2*. Również dla danych zawierających zdarzenia napięciowe pochodzących z linii S2 i S3 obserwujemy podobny poziom wartości wahań napięcia. Dla linii S2 i S3 widoczny jest niewysoki poziom wahań napięcia w stosunku do wartości pochodzących z linii S1. Jednak drugie zdarzenie spowodowało zdecydowanie wyższą wartość wahań napięcia niż w przypadku pierwszego.

Porównując wartości wahań napięcia dla danych pochodzących ze *skupienia 1* oraz *skupienia 2* stwierdzić należy, że dane zawierające zdarzenia napięciowe charakteryzują się zdecydowanie wyższym poziomem wahań napięcia. Przeprowadzone analizy dla różnych linii pozwalają na stwierdzenie, że linie zawierające generację rozproszoną zachowywały

się podobnie (linia S2 oraz S3) i zauważalna jest różnica w porównaniu do linii tylko odbiorczej (linii S1). Podkreślić należy, że linia S1 była bardziej obciążona mocą czynną niż dwie pozostałe, właśnie ze względu na brak generacji.

Tabela 1. Analiza statystyczna wahań napięcia dla skupień

<i>skupienie 1: stan normalny</i>									
Wartości z czasem agregacji 2h									
Plt	<i>S403</i>			<i>S405</i>			<i>S407</i>		
	L1-L2	L2-L3	L3-L1	L1-L2	L2-L3	L3-L1	L1-L2	L2-L3	L3-L1
Minimalna wartość [-]	0,083	0,080	0,080	0,074	0,074	0,076	0,084	0,084	0,085
Maksymalna wartość [-]	0,523	0,695	0,752	0,373	0,261	0,362	0,374	0,265	0,363
Średnia wartość [-]	0,116	0,103	0,100	0,099	0,095	0,098	0,106	0,104	0,105
Wariancja [-]	0,001	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Odchylenie standardowe [-]	0,036	0,042	0,042	0,030	0,019	0,025	0,028	0,018	0,024
Względne odchylenie standardowe [%]	36,2	43,4	43,6	30,0	19,7	25,6	26,7	16,9	22,9
<i>skupienie 2: zdarzenia napięciowe</i>									
Wartości 2h podczas zaburzenia									
25.11.2015 10:00	5,411	1,746	1,525	1,261	0,389	0,504	1,260	0,390	0,506
13.12.2015 14:00	0,269	0,695	0,752	0,622	0,755	1,718	0,622	0,755	1,721

5. PODSUMOWANIE

W artykule przeprowadzono dwuetapową analizę wahań napięcia. Dwuetapowość wynika z potrzeby przeprowadzenia zgodność poziomu danego parametru z wymaganiami (etap 1), ale również chęci poszukiwania głębszej informacji o pracy wybranego fragmentu sieci elektroenergetycznej (etap 2). Narzędziem wspierającym szczegółowe badanie zbiorów danych zastosowanym w artykule jest analiza skupień. Daje ona możliwość podziału danych na podstawie ich cech. W niniejszym artykule wykazano możliwość zastosowania analizy skupień do wydzielenia danych uzyskanych w trakcie zdarzeń

napięciowych, podlegających w klasycznej ocenie jakości energii elektrycznej tzw. flagowaniu.

Inne aplikacje aplikacji metod eksploracji danych do pracy systemu elektroenergetycznego zostały opisane m. in. w [[3]], [[9]] oraz [[12]]. Metody te opracowywane na prostych przykładach: danych pochodzących tylko z 3 punktów pomiarowych, z okresu 4 tygodni pozwalają na poznanie zasad i wskazanie możliwych aplikacji do zastosowania w sieciach o znacznie większej strukturze i posiadającej większą ilość danych tzn. dla danych pochodzących z inteligentnych sieci elektroenergetycznych. Sieci te w swojej strukturze wymagać będą automatycznych rozwiązań, gdyż analiza przeprowadzona przez eksperta nie będzie możliwa dla wszystkich danych. Z tego powodu potrzebny będzie wybór reprezentantów, grup oraz skupień, które poddawane będą analizie.

LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 04 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. z 2006 r. Nr 89, poz. 625, z późn. zm.)
- [2] PN-EN 50160: Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych, 2015
- [3] PN-EN 61000: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) Część 4-30: Metody badań i pomiarów: Metody pomiaru jakości energii, 2011
- [4] BĄTKIEWICZ-PANTUŁA M., KLAJN A., *Ocena jakości energii elektrycznej w głównej stacji zasilającej (GSZ) kopalnię*, Sieci elektroenergetyczne w przemyśle i energetyce, SIECI 2012 [Dokument elektroniczny] : VII Konferencja naukowo-techniczna, 19-21 września 2012, Szklarska Poręba. Wrocław : Instytut Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, cop. 2012. s. 1-8.
- [5] HAN J., KAMBER M., *Data Mining: Concepts and Techniques*, Second Edition, http://ccs1.hnue.edu.vn/hungtd/DM2012/DataMining_BOOK.pdf
- [6] HANZELKA Z., *Jakość dostaw energii elektrycznej. Zaburzenia wartości skutecznej napięcia*, AGH, 2013
- [7] HANZELKA Z., *Jakość energii elektrycznej. Część 3 – Wahania napięcia*, Poradnik; www.twelvee.com.pl
- [8] JASIŃSKI M., JASIŃSKI M., JASIŃSKI Ł., *Potrzeba analizy jakości energii elektrycznej w kopalniach rud miedzi, Generacja - Przesył - Wykorzystanie*, GPW 2015: praca zbiorowa / pod red. Macieja Gwoździewicza. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2015.
- [9] JASIŃSKI M., SIKORSKI T., *Celowość stosowania analizy skupień do oceny zagadnień związanych z jakością energii elektrycznej w sieciach kopalnianych*, Zeszyty Naukowe UJW Studia z Nauk Technicznych, 2017, przyjęte do druku
- [10] KLAJN A., BĄTKIEWICZ-PANTUŁA M., *Application Note – Standard EN 50 160 : Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks*. [Brussels]: European Copper Institute, 2013. S. 38
- [11] MORAIS J., PIRES J., CARDOSO C., KLAUTAU A., *An Overview of Data Mining Technique Applied to Power Systems*, dostępny: <http://www.halcyon.com/pub/journals/21ps03-vidmarhttp://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.666.8065&rep=rep1&type=pdf>
- [12] MORI H., *State-of-the-Art Overview on Data Mining in Power Systems*, w 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Montreal, Que., 2006, pp. 5. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=1709104&isnumber=36065>

- [13] MUSIAŁ E., *Ocena jakości energii elektrycznej w sieciach przemysłowych*, Konferencja „Automatyka, pomiary, zakłócenia” Jurata, 20-22 maja 2004 r. Gdańsk, INFOTECH 2004, s. 103-122
- [14] WASIAK I., PAWEŁEK R., *Jakość zasilania w sieciach z generacją rozproszoną*, PWN 2015

ANALYSIS OF VOLTAGE FLUCTUATION IN ELECTRIC POWER SUPPLYING MINING PLANTS BY USING DATA SEARCH

Article presents the analysis of power quality (PQ) data from electric power network of mining industry. First part contains the description of causes and reasons of voltage fluctuation in electric power network of mining industry. Second part of article presents analysis of level agreement with demands included in proper regulation and standard. Next, the clustering for PQ data was conducted. K-mean algorithm with Chebyshev distance was chosen. It led to achieve a clusters which have different futures. *Cluster 1* contains data of normal working conditions. *Cluster 2* contains data with voltage events. For such cluster the statistical analysis was made. energia elektryczna, zużycie energii, DSM, odnawialne źródła energii

Łukasz JASIŃSKI*

ROZWAŻANIA O ENERGII ELEKTRYCZNEJ – ASPEKTY WYBRANE

Artykuł prezentuje zagadnienia związane z rozwojem użytkowania energii elektrycznej oraz urządzeniami wykorzystującymi energię elektryczną. Porusza zagadnienie technologii pozwalającej na produkcję energii elektrycznej w mniej inwazyjny sposób dla środowiska. Artykuł wskazuje, że energia elektryczna jest niezbędna do prawidłowego i bezpiecznego funkcjonowania człowieka. Obecna tendencja związana jest ze stałym wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną, dlatego podkreślono jak ważne jest aby pozyskiwać ją z źródeł odnawialnych.

1. WSTĘP

Prąd elektryczny we współczesnym świecie jest niewyobrażalnie ważny. Powodem tego jest istniejący oraz ciągle powiększający się postęp cywilizacyjny i technologiczny. Współczesny świat jest już na takim poziomie, że bez prądu elektrycznego nie mogłyby prawdopodobnie poprawianie funkcjonować [6]. Brak prądu elektrycznego powodowałby paraliż, kataklizmy, ponieważ niezbędny jest do działania komputerów i urządzeń informatycznych od których świat jest uzależniony oraz dzięki którym można chronić ludzkie życie. Jeszcze wiele lat temu brak prądu elektrycznego nie skutkowałby tak poważnymi stratami i problemami.

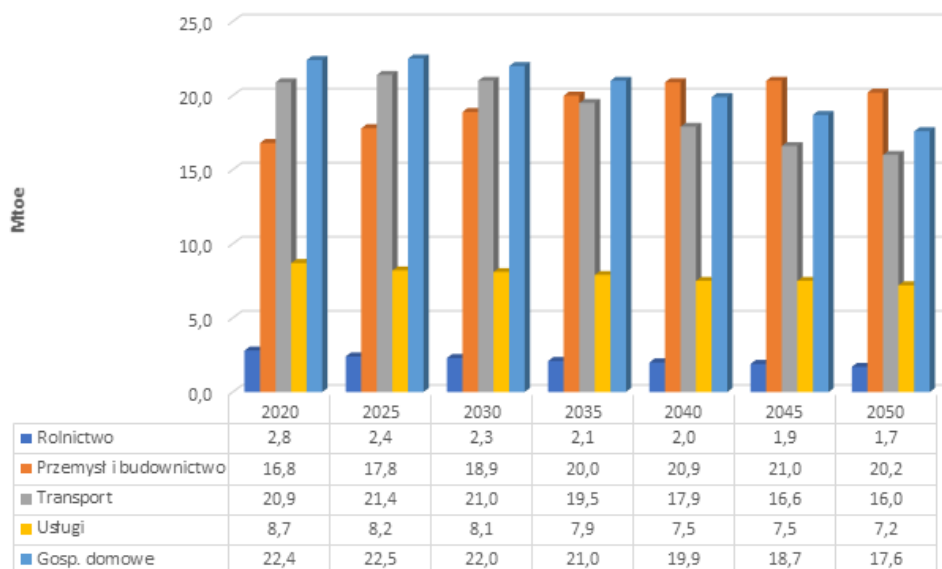
Bardzo ważne jest, aby następował stały rozwój technologii związanej z przesyłem oraz jakością dostarczanej energii elektrycznej, właśnie ze względu na to jak ważny jest dla człowieka we współczesnym świecie oraz praktycznie w każdej sferze zawodowej, rozrywkowej bądź osobistej. Rozwój wiąże się z koniecznością zapewnienia nieprzerwywanych dostaw energii elektrycznej, czyli aby zapewniona była niezawodność prądu elektrycznego oraz aby była dostarczana wystarczająca ilość dla każdego użytkownika prywatnego, przemysłu czy po prostu na potrzeby miasta (aglomeracji miejskich) [3].

* Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny

2. ZAPOTRZEBOWANIE NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ

Wyróżniamy różne typy odbiorców, którzy posiadają inne zapotrzebowanie jakościowe oraz ilościowe na energię elektryczną. Są mali odbiorcy, którzy zużywają znikomą ilość oraz wielkie zakłady przemysłowe w których przemyśle prąd elektryczny pełni niewyobrażalnie dużą rolę. Zapotrzebowanie na energię finalną w której zawiera się m.in. zapotrzebowanie na energię elektryczną można przedstawić w podziale na główne sektory gospodarki.

Prognoza struktury zapotrzebowania na energię finalną wg sektorów w latach



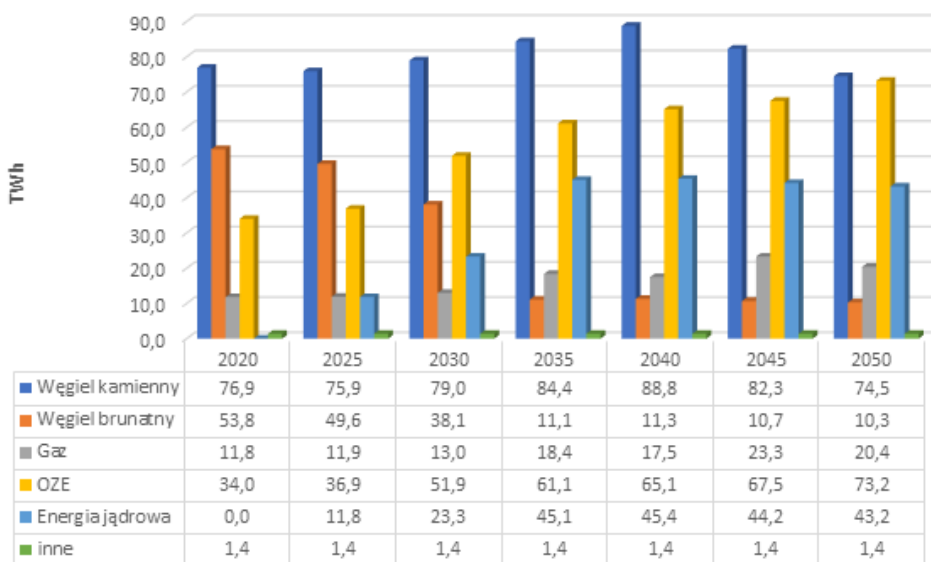
Rys. 1. Prognoza zapotrzebowania na energię finalną wg sektorów w latach [2]

Rysunek 1 ukazuje strukturę zapotrzebowanie na energię finalną w podziale na sektory gospodarki. Widać, że przewiduje się spadek zużycia energii finalnej. Natomiast wzrośnie produkcja energii elektrycznej o około 40%. Od roku 2010 do 2050 przewidywano wzrost z produkcji z 158 TWh do 223 TWh [3]. Taki wzrost związany będzie z ogólnym rozwojem gospodarczym Polski. Doskonalenie technologii dzięki którym możemy wykorzystywać prąd elektryczny w coraz to większym zakresie dziedzin przemysłu i usług jest priorytetem w rozwoju gospodarczym kraju. Wiąże się to z stopniowym odchodzeniem od energii finalnej wytworzonej z paliw kopalnych na energię finalną z pochodzącą z odnawialnych źródeł.

3. ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

Przez kilkadziesiąt kolejnych lat Polska nie będzie wstanie od razu odejść od produkcji energii elektrycznej z paliw kopalnych, ale w coraz większym stopniu będzie wprowadzana energia elektryczna pozyskana z odnawialnych źródeł energii takich jak energia słońca, energia wiatru czy energia wody. Rysunek nr 2 ilustruje prognozę produkcji energii elektrycznej paliw kopalnych, odnawialnych źródeł energii oraz z energii jądrowej. Za kilkadziesiąt lat produkcja energii z OZE będzie podobna jak z węgla kamiennego, natomiast odejdzie się praktycznie od produkcji energii elektrycznej z węgla brunatnego.

Prognoza produkcji energii elektrycznej wg paliwa



Rys. 2. Prognoza produkcji energii elektrycznej wg paliwa [2]

Następuje ciągła modernizacja usług i przemysłu, rozpowszechnia się elektryczne ogrzewanie wody oraz coraz częściej możemy napotkać pojazdy elektryczne. Odchodzi się od węgla i gazu co jest wielkim krokiem dla rozwoju produkcji energii elektrycznej oraz w przypadku odnawialnych źródeł energii dla ochrony środowiska [7]. Zużycie energii elektrycznej zależy od rozwoju gospodarczego i zmodernizowania przemysłu.

4. ENERGIA ELEKTRYCZNA W POLSCE – OBECNE ROZWIĄZANIA I DALSZE TENDENCJE

W Polsce, następuje stały rozwój przemysłu co powoduje zwiększenie liczby miejsc, gdzie niezbędny jest prąd elektryczny. Takimi miejscami są np. fabryki, stocznie, kopalnie. Istnieje również wiele instytucji które nie mogą poprawianie funkcjonować bez energii elektrycznej. Dlatego najważniejszym aspektem rozwoju jest zapewnienie ciągłości dostaw energii elektrycznej. Która pozwala na uniknięcie poważnych skutków braku energii elektrycznej w takich miejscach, gdzie nie może zabraknąć energii nawet na chwile, ponieważ wiązało by się to z dużymi stratami materialnymi, bądź niebezpieczeństwem pracowników, a nawet z zagrożeniem utraty życia. Takie miejsca to m.in. sale operacyjne w szpitalach. Tego typu instytucje jak szpitale czy kopalnie są przygotowane na nagłe i nieoczekiwane przerwy w dostawie energii. Sposobami zabezpieczenia jest m.in. stosowanie instalacji elektrycznej typu IT, która charakteryzuje się większą niezawodnością niż inne stosowane instalacje, poprowadzenie zasilania z dwóch odrębnych stacji czy posiadanie generatorów prądu elektrycznego.

Jest wiele przyczyn braku dostawy odpowiedniej ilości energii elektrycznej [1]. Może zdarzyć się, że w lecie będzie nad zużycie spowodowane wysoką temperaturą, która wiąże się z użyciem większej liczby klimatyzatorów niż zwykle oraz ekstremalne mrozy które powodują większe zużycie energii niż zwykle. Inną przyczyną są awarie linii spowodowane dużymi opadami śniegu lub awarie stacji spowodowane wyładowaniami atmosferycznymi. Istnieją również realne ryzyko przerwy w dostawie energii elektrycznej spowodowane tym, że większość bloków energetycznych w Polsce działa już kilkadziesiąt lat, co grozi awarią oraz obniża znacznie sprawność w porównaniu do nowoczesnych instalacji. Jednym z ważnych kryteriów rozwoju jest wzrost efektywności przesyłania energii elektrycznej, którą można uzyskać poprzez modernizację linii przesyłowych, zwiększenie ilości linii przesyłowych bądź usuwanie zakłóceń na które trafia na swojej drodze prąd elektryczny. Takie działania powoduje wzrost efektywności przesyłania energii elektrycznej wraz z zmniejszeniem kosztów przesyłania do odbiorców dzięki zminimalizowaniu strat bloków energetycznych.

Nie tylko dostawcy powinni działać w kierunku polepszenia jakości energii elektrycznej, ale również powinni działać odbiorcy m. in. poprzez oszczędzanie energii elektrycznej. Miasta jako odbiorcy prądu elektrycznego powinny modernizować odbiorniki lub wymieniać na nowszej generacji które są energooszczędne np. modernizacja oświetlenia ulicznego, zamieniając stare latarnie oświetlające ulice na latarnie wyposażone

w źródła światła typu lampy LED. Innym sposobem jest montowanie np. mini elektrowni słonecznych bądź wiatrowych w miejscach, gdzie jest mały pobór energii elektrycznej, czyli np. oświetlenie przy przejściach dla pieszych lub w migających lampach znaków drogowych albo produkcja na większą skalę poprzez stworzenie farm wiatrowych w pobliżu miast które odciążą linie przesyłowe pomiędzy miastami, a elektrowniami.

Miasta powinny wykonywać projekty oszczędzania i lepszego wykorzystywania energii elektrycznej co pozwoli na zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną z elektrowni. Również pojedynczy odbiorcy powinni działać w kierunku oszczędzania energii elektrycznej. Mogą to robić poprzez używanie nowoczesnych energooszczędnych urządzeń elektrycznych, których w dzisiejszych czasach jest coraz więcej oraz są coraz lepszej jakości. Mogą również starać się wykorzystywać energię, gdy jej zapotrzebowanie jest małe, czyli w godzinach nocnych [5]. Rzesza naukowców pracuje nad tym, aby jakość była dobra a koszty pozyskania były jak najniższe, ponieważ zapotrzebowanie na energię elektryczną rośnie, gdyż zwiększa się liczba urządzeń zasilanych prądem elektrycznym.

Ważnym aspektem jest DSM "Demand Side Management" co oznacza zarządzanie popytem energii elektrycznej przez jej końcowych odbiorców. W jej zakres wchodzi identyfikacja, ocena i najlepsze wykorzystanie odbiorników energii elektrycznej. Polega na takim wykorzystaniu energii elektrycznej, aby wykorzystywać ją w czasie, gdy jej ogólne zapotrzebowanie jest niskie, czyli poza porami szczytów albo w nocy. Jednym ze sposobów nakłonienia odbiorców do lepszego zarządzania obieraną energią elektryczną i sterowaniem obciążenia w pory poza szczytowe jest wprowadzenie tańszych taryf opłat właśnie w tych porach. Takie zachowanie pozwala na to, aby w godzinach szczytu nie trzeba było włączać dodatkowych elektrowni, co ciągnie za sobą duże koszty oraz większe obciążenie linii przesyłowych, czyli m.in. większą ich zużywalność. Duże opłaty za energię elektryczną w godzinach szczytu mają na celu zmotywowanie odbiorców do korzystania z energii w innych godzinach, gdy ona jest tańsza.

Również coraz częściej możemy spotkać urządzenia które są stale monitorowane cyfrowo co pozwala na zmiany zużycia energii elektrycznej. Jeżeli będą zmieniać się warunki pracy to razem z nimi będzie zmieniało się zużycie prądu elektrycznego. Przykładem tego jest np. oświetlenie sterowane cyfrowo. Jeżeli czujka wychwyci wzrost natężenia światła dziennego, to zostaje przesłany sygnał cyfrowy który powoduje zmniejszenie energii elektrycznej dostarczanej do oświetlenia. Dlatego również my możemy chronić środowisko oszczędzając energię elektryczną, co niesie za sobą mniejsze zapotrzebowanie na energię. Jeżeli ograniczymy popyt na energię ograniczymy produkcję, a więc samoczynnie ograniczymy zanieczyszczanie środowiska podczas jej produkcji.

4. PODSUMOWANIE

Rozwój przemysłu związanego z urządzeniami zasilanymi energią elektryczną powoduje jednoczesny samoczynny rozwój sposobów ochrony środowiska. Dzięki rozwojowi technologii wykorzystywanej przy budowie urządzeń elektrycznych możemy coraz częściej zastępować silniki spalinowe, emitujące szkodliwe spaliny, które powodują zanieczyszczanie środowiska, silnikami elektrycznymi, które są równie dobre, a nie powodują niszczenia środowiska. Aktualnie następuje również rozwój technologii

związanej z pozyskiwaniem prądu elektrycznego z odnawialnych źródeł energii. OZE jest wielkim krokiem w działaniu na rzecz ochrony środowiska.

LITERATURA

- [1] GŁOWACKI F., HANZELKA Z., KOSEDA H., WROCŁAWSKI M., *Jakość dostaw energii elektrycznej do odbiorców przyłączonych do sieci przesyłowych i dystrybucyjnych*, <http://www.cire.pl/pliki/2/Benchmarking.pdf> dostęp dn. 10.11.2016
- [2] http://www.cire.pl/pliki/1/mg_pep_2050_wnioski_z_analiz_prognostycznych_20140811.pdf
- [3] http://www.i15.p.lodz.pl/I15_poprzednia/pl/educatio/elektroenergetyka/El-en_skrypt.pdf
- [4] https://min-pan.krakow.pl/se/pelne_teksty23/k23z_mk/k23_duda_mikolajuk_okrasa_z.pdf
- [5] JASIŃSKI M., JASIŃSKI Ł., FUCZEK N., *Zarządzanie popytem na energię elektryczną w gospodarstwie domowym, generacja - przesył - wykorzystanie*, GPW 2016 : praca zbiorowa pod red. Macieja Gwoździewicza. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2015.
- [6] JASIŃSKI M., JASIŃSKI M., JASIŃSKI Ł., *Potrzeba analizy jakości energii elektrycznej w kopalniach rud miedzi, Generacja - Przesył - Wykorzystanie*, GPW 2015: praca zbiorowa pod red. Macieja Gwoździewicza. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2015.
- [7] PASKA J., *Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2010

CONSIDERATIONS ABOUT ELECTRICITY - SELECTED ASPECTS

The article presents issues related to the development of the use of electricity and devices using electricity. It addresses the issue of technology that allows the production of electricity in a less invasive way for the environment. The article indicates that electricity is essential for the proper and safe functioning of the human. The current trend is related to a steady increase in demand for electricity, which is why it has been highlighted how important it is to obtain it from renewable sources.

Laura JASIŃSKA*, Karol MALECHA*

WYKONYWANIE ELEMENTÓW OBWODU MIKROFALOWEGO W CERAMICZNYCH UKŁADACH MIKROPRZEPLYWOWYCH – WYBRANE ASPEKTY

Artykuł prezentuje techniczne aspekty, mające znaczenie podczas procesu projektowania oraz wykonywania układów mikroprzepływowo-mikrofalowych. Układy mikroprzepływowo-mikrofalowe są stosunkowo nowym rozwiązaniem. Zastosowanie rozwiązań typowych dla techniki mikrofalowej w ceramicznych układach mikroprzepływowych otwierają nowe możliwości, które częściowo stanowią odpowiedź na problemy związane z podgrzewaniem niewielkiej objętości płynu. Ponadto, mikrofałe stanowią alternatywę dla spotykanych obecnie metod pomiaru parametrów elektrycznych substancji znajdujących się w mikrokanale.

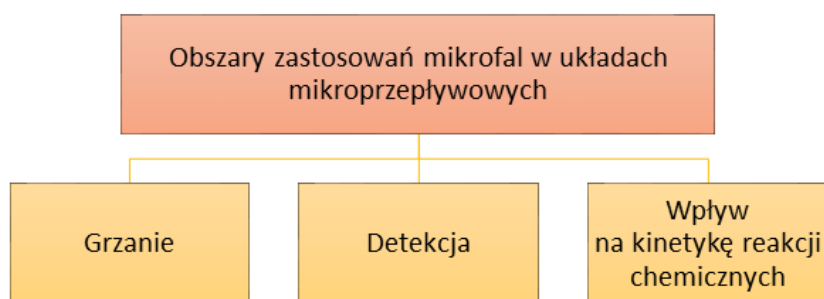
1. WSTĘP

Początki technologii LTCC (Low Temperature Cofired Ceramics) w mikroelektronice sięgają lat osiemdziesiątych dwudziestego wieku [1]. Jednym z pierwszych zastosowań niskotemperaturowej współwypalanej ceramiki były obudowy pod układy wysokiej i bardzo wysokiej skali integracji (VLSI, ang. very large scale integration). [2]. Ponadto, technologia LTCC z powodzeniem jest wykorzystywana do wykonywania układów, które dedykowane są pod zastosowania w trudnych warunkach środowiskowych, na przykład w przemyśle kosmicznym, militarnym czy kopalnianym [1,3]. Innym rodzajem typowych zastosowań ceramiki LTCC były podłoża dla układów pracujących przy częstotliwościach z zakresu pasma radiowego (anten) [4]. Jednym z popularniejszych typów rozwiązań jest zintegrowanie mikrofalowych monolitycznych układów scalonych (MMICs, ang. Monolithic Microwave Integrated Circuits) z podłożami LTCC [5]. Od kilku lat obserwuje się tendencję zastosowania ceramiki LTCC jako podłoża pod układy mikroprzepływowe, co jest stosunkowo nowym trendem [1, 6].

* Politechnika Wroclawska, Zakład Techniki Elektronicznych i Fotonicznych

2. ZASTOSOWANIA MIKROFAL W MODUŁACH MIKROPRZEŁYWOWYCH

Wśród zastosowań mikrofal w układach mikroprzepływowych można zauważyć dwa wiodące trendy. Pierwszym z nich są detektory, służące do wyznaczania parametrów elektrycznych substancji znajdujących się w mikrokanale i na tej podstawie określania np. jej składu. Drugim jest wykorzystanie obwodu mikrofalowego (najczęściej w formie linii mikropaskowych bądź paskowych) jako źródło energii cieplnej. Typy zastosowań przedstawiono na Rys. 1. W literaturze można również znaleźć doniesienia dotyczące wpływu obecności zmiennego pola elektromagnetycznego o częstotliwości zawierającej się w paśmie mikrofalowym na kinetykę reakcji chemicznych [7].



Rys. 1. Obszary zastosowań mikrofal w układach mikroprzepływowych

Dla dwóch pierwszych typów zastosowań niezbędne jest wykonanie pomiarów układu w dziedzinie częstotliwości za pomocą VNA (ang. vector network analyzer, wektorowy analizator sieci). Dzięki temu, w wyniku otrzymuje się parametry macierzy rozproszenia (ang. scattering parameters macierzy S). Wśród metod, znanych w technice mikrofalowej, a od niedawna wykorzystywanych przy projektowaniu układów mikroprzepływowych służących do detekcji substancji, można wyróżnić metody rezonansowe oraz inne, takie jak metody różnicowe i odbiciowe. Pierwsza z wymienionych polega na badaniu odpowiedzi częstotliwościowej układu, gdzie wraz ze zmianą parametrów układu następuje zmiana częstotliwości rezonansowej. Po obliczeniach, na podstawie wielkości zmiany częstotliwości, wyznacza się parametry dielektryczne materiału (substancji w mikrokanale) oraz porównuje z cechami charakteryzującymi znane substancje bądź innym punktem odniesienia. Jedną z metod różnicowych jest metoda dwóch linii mikropaskowych (metoda zmiennej fazy). Polega ona na pomiarze odpowiedzi układu w szerokim paśmie częstotliwości za pomocą dwóch linii mikropaskowych (bądź paskowych), gdzie długość jednej linii jest wielokrotnością drugiej [8]. Metody odbiciowe, w przeciwieństwie do wcześniej opisanych, polegają na pomiarze jedynie refleksyjności układu, co wymaga podłączenia układu nie do dwóch portów VNA, lecz jednego.

W przypadku zastosowania mikrofal jako układu spełniającego rolę „mikrofalowego grzejnika”, należy zaprojektować obwód mikrofalowy (najczęściej za pomocą linii paskowej bądź mikropaskowej znajdującej się w pobliżu kanału w module), który stanowi emiter ciepła. Dzięki precyzyjnej kontroli dostarczania mocy mikrofalowej oraz zastosowaniu odpowiedniej geometrii ścieżek, możliwe jest dokładniejsze, selektywne grzanie substancji znajdujących się w mikrokanale. Energia promieniowania mikrofalowego rozpraszana jest tylko w przepływającym medium. W rezultacie podgrzaniu ulega tylko płyn, a nie cały układ LTCC jak ma to miejsce w przypadku grzania oporowego (powszechnie wykorzystywanego w mikroelektronice).

3. PODŁOŻA

Z perspektywy techniki mikrofalowej, najczęściej wykorzystywanym typem materiałów pod obwoły mikrofalowe są laminaty szklano-epoksydowe. Charakteryzują się one łatwością wykonania skomplikowanej mozaiki ścieżek przewodzących (najczęściej miedzianych) oraz odpowiednimi parametrami materiałowymi, czyli niską wartością względną przenikalności elektrycznej oraz niewielkimi stratami dielektrycznymi. Ponadto, laminaty są od lat stosowane jako podłoża pod układy elektroniczne. Jednakże, z racji na typ materiału, układy wykonane na laminatach są najczęściej mniej odporne na trudne warunki środowiskowe oraz stałe narażenie na czynniki chemiczne i wilgoć, co ma bardzo duże znaczenie przy zastosowaniach w technice układów mikroprzepływowych. Ponadto, niełatwym zadaniem jest samo wykonanie wspomnianych struktur.

Biorąc pod uwagę zastosowania mikrosystemów wymagające obecności cieczy w mikrokanalach, coraz częściej stosowanym materiałem podłożowym są tworzywa polimerowe. Jest to podyktowane względną łatwością wykonywania struktur przestrzennych w podłożu przy jednoczesnej wystarczającej odporności na czynniki chemiczne i wilgoć. Jednakże, tego typu podłoża charakteryzują się wrażliwością na zmiany temperatury i w przeważającej większości, niestabilnością wartości względnej przenikalności elektrycznej oraz kąta strat dielektrycznych wraz ze wzrostem częstotliwości. Kolejnym utrudnieniem, z perspektywy wykonywania układów mikrofalowych, jest trudność integracji elementów elektronicznych (np. ścieżek przewodzących) z podłożami polimerowymi.

Podłożem, które coraz częściej jest stosowane jako materiał bazowy dla układów mikroprzepływowo-mikrofalowych jest niskotemperaturowa współwypalana ceramika LTCC. Jej cechy charakterystyczne wyszczególniono na rys. 2.



Rys. 2. Wybrane cechy LTCC, istotne z perspektywy wytwarzania układów mikroprzepływowo-mikrofalowych

Zastosowanie ceramiki LTCC jest podyktowane między innymi łatwością wykonania połączeń i podzespołów elektrycznych z dokładnością wystarczającą do projektowania obwodów mikrofalowych. Kolejną cechą jest możliwość projektowania i tworzenia struktur przestrzennych o różnych kształtach, co umożliwia wykonywanie mikrokanałów i innych elementów charakterystycznych dla układów mikroprzepływowych. Ponadto, odporność chemiczna i termiczna większa niż w przypadku laminatów epoksydowo-szklanych w połączeniu ze względną łatwością integracji elementów elektronicznych i optoelektrycznych z podłożem LTCC, czyni niskotemperaturową współwypalaną ceramikę atrakcyjną alternatywą dla stosowanych powszechnie materiałów podłożowych. Porównanie parametrów dla laminatu epoksydowo-szklanego, materiałów polimerowych oraz ceramiki LTCC przedstawiono w tab. 1.

W tab. 1 porównano parametry elektryczne wybranych podłoży wraz z materiałem, z którego najczęściej wykonuje się połączenia elektryczne, deklarowane przez producentów. W przypadku laminatów szklano-epoksydowych, częściej stosuje się produkowane przez firmę Rogers, ze względu na większą swobodę w doborze względnej przenikalności elektrycznej oraz zdecydowanie mniejszy współczynnik kąta strat dielektrycznych. W przypadku tworzyw polimerowych, jako podłoże pod układy mikrofalowe stosuje się często PDMS (polidimetylosiloksan), który w odróżnieniu od

przykładowo PMMA (polimetakrylan metylu), charakteryzuje się znacznie niższym współczynnikiem kąta strat dielektrycznych. Niskotemperaturowa współwypalana ceramika umożliwia łatwiejszą integrację obwodów mikrofalowych przy względnie niskiej wartości kąta strat dielektrycznych oraz wykonywanie struktur przestrzennych układów mikroprzepływowo-mikrofalowych.

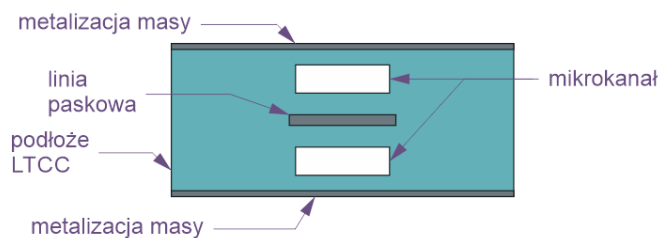
Tabela 1. Wybrane wartości parametrów charakteryzujących materiały stosowane pod podłoża układów mikroprzepływowo-mikrofalowych

Materiał	Względna przenikalność elektryczna	Współczynnik strat dielektrycznych	Materiał wytwarzania ścieżek przewodzących
Laminat epoksydowo-szkłany (FR4)	2-6	0,02	Cu
Tworzywa polimerowe	2-5,5	0,002-0,004	Cu, polimery przewodzące
LTCC	3-8	0,001-0,003	Ag, Au, PdAg

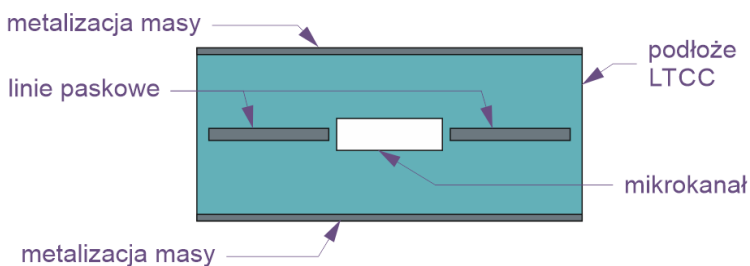
4. WYKONYWANIE – ISTOTNE ASPEKTY

Podłoża, mające zastosowanie w technice układów mikroprzepływowo-mikrofalowych powinny charakteryzować się stabilną przenikalnością elektryczną oraz niewielką wartością kąta strat dielektrycznych w zakresie wysokich częstotliwości. Ponadto, wspomniane materiały winny być jednorodne, to znaczy gęstość materiału w dowolnym miejscu powinna być stała. Spełnienie wspomnianych wymagań daje możliwość wykonywania obwodów mikrofalowych, których parametry rzeczywiste nie różnią się w znacznym stopniu od projektowanych. Ze względu na specyfikę technologii LTCC, najczęściej wykorzystywanym typem przewodnic falowych są linie paskowe i mikropaskowe. Jest to spowodowane ich planarną geometrią. Przykłady struktur mikroprzepływowo-mikrofalowych wykonanych technologią LTCC pokazano na rys. 3-6.

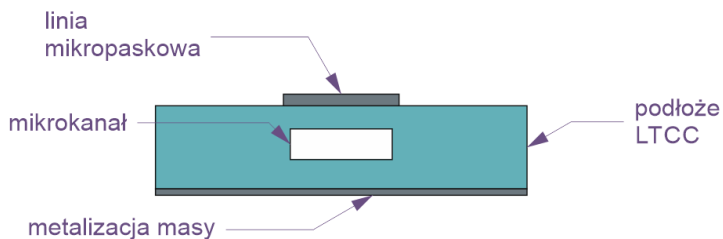
Krytycznym etapem procesu wytwarzania ceramicznych układów mikrofalowych zdaje się być proces współwypalania. W jego trakcie ceramika LTCC ulega skurczowi, co w sposób bezpośredni przekłada się na zmianę wymiarów geometrycznych zarówno samego podłoża, jak i linii paskowych oraz mikropaskowych. Trudność kontroli tego procesu wpływa na niedokładność wymiarów podzespołów mikrofalowych i całego finalnego układu. Nieznaczna zmiana szerokości linii mikrofalowej ma bezpośredni wpływ na zmianę jej impedancji charakterystycznej, co z kolei może spowodować niedopasowanie impedancyjne układu i pracę przy częstotliwości innej niż zaprojektowana.



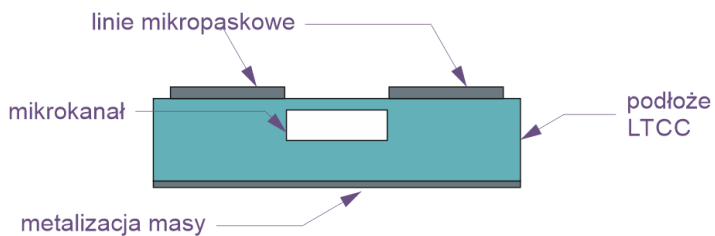
Rys. 3. Linia paskowa przebiegająca pomiędzy górną i dolną częścią mikrokanalu



Rys. 4. Mikrokanal umiejscowiony pomiędzy dwiema sprzężonymi liniami paskowymi



Rys. 5. Linia mikropaskowa umiejscowiona nad mikrokanalem



Rys. 6. Dwie sprzężone linie mikropaskowe wraz z mikrokanalem umiejscowionym w podłożu LTCC

4. PODSUMOWANIE

Współczesne układy mikroprzepływowe znajdujące zastosowanie np. w analityce (bio)chemicznej do poprawnego działania wymagają odpowiednich warunków termicznych. Najpowszechniej stosowaną metodą dostarczania energii cieplnej w technice systemów mikroprzepływowych jest grzanie oporowe. Jego niewątpliwą zaletą jest łatwość realizacji, jednakże do podstawowych wad można zaliczyć trudność sterownia poziomem i rozkładem temperatury w układzie mikroprzepływowym. Co więcej zastosowanie wspomnianej techniki prowadzi do podgrzewania zarówno cieczy jak i całego mikrosystemu. Rozwiązaniem jest zastosowanie grzania za pomocą mikrofal. Poprzez odpowiednią geometrię obwodu mikrofalowego możliwe jest dostarczanie mocy bezpośrednio do cieczy w mikrokanale. Współczesne układy tego typu wykonywane są z różnych materiałów (laminaty, polimery, ceramika). Nowoczesna ceramika LTCC i związana z nią technologia wydają się idealne do wykonywania układów mikrofalowo-mikroprzepływowych. Z jednej strony ceramika LTCC charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami elektrycznymi (stabilność względnej przenikalności elektrycznej, niewielki współczynnik strat dielektrycznych) w zakresie częstotliwości mikrofalowych, z drugiej strony łatwość kształtowania przestrzennego ceramiki LTCC umożliwia wykonywanie różnych podzespołów mikroprzepływowych (kanały, wnęki, zbiorniki) o wymiarach charakterystycznych rzędu 50-100 μm . Jednak ze względu na specyfikę technologii LTCC, niezbędna jest optymalizacja poszczególnych etapów procesu wytwarzania układów mikrofalowo-mikroprzepływowych. W rezultacie możliwa będzie lepsza kontrola geometrii wykonywanych podzespołów mikrofalowych. Jest to obszar, który wymaga dalszych badań.

PRACA ZOSTAŁA SFINANSOWANA PRZEZ NARODOWE CENTRUM NAUKI (NR 2016/23/B/ST7/00932).

LITERATURA

- [1] GOLONKA L.J., ZAWADA T., RADOJEWSKI J., ROGUSZCZAK H., STEFANOW M., *LTCC Microfluidic System*, International Journal of Applied Ceramic Technology, vol 3. 2006, s. 150-156
- [2] GOLONKA L., *Zastosowanie ceramiki LTCC w mikroelektronice*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001
- [3] GOLONKA L., IANELLI Z., ROGUSZCZAK H., SZTAJER H., WOJTAS P., WISZNIOWSKI P., BABECKI D., *LTCC wireless module*, Elektronika, 2011, R. 52, nr 3, s. 25-27
- [4] WII S.H., KIM J.S., KANG N.K., KIM J.C., YANG H.G., KIM Y.S., YOON J.G., *Package-Level Integrated LTCC Antenna for RF Package Application*, IEEE Transactions on Advanced Packaging, vol 30, 2017, s. 132-141,
- [5] KIRSCH M., HAUBERMANN B., KONRATH W., *Buried Microwave Designs using LTCC Multilayer Technology for High Density Integrated Space Hybrids*, Micro- and Milimetre Wave Technology and Techniques Workshop, materiały pokonferencyjne, Nordwijk 2014

- [6] MALECHA K., GOLONKA L.J., BAŁDYGA J., JASIŃSKA M., SOBIESZUK P., *Serpentine microfluidic mixer made in LTCC*, Sensors and Actuators B: Chemical, vol. 143, grudzień 2009, s. 400-413
- [7] GAWANDE M.B., SHELKE S.N., ZBORIL R., VARMA R.S., *Microwave-assisted Chemistry: Synthetic Applications for Rapid Assembly of Nanomaterials and Organics*, Acc. Chem. Res., 2014, vol. 47, s. 1338-1348.
- [8] BARTECZKA B., SŁOBODZIAN P., MACIOSZCZYK J., GOLONKA L., *A Comparison of Two Practical Methods for Measurement of the Dielectric Constant of LTCC Substrates*, Microwaves, Radar, and Wireless Communication (MIKON), 2014, materiały pokonferencyjne, s. 1-4.

FABRICATION OF MICROWAVE CIRCUIT ELEMENTS IN LTCC MICROFLUIDIC MODULES – SELECTED ASPECTS

This paper presents technical aspects, important in process of developing and designing the microfluidic-microwave LTCC modules. Microwave-microfluidic devices are relatively new. The use of microwave-specific solutions in ceramic microfluidic systems opens a new possibilities which are partly responsible for the problems associated with using a standard sources of heat in LTCC microsystems. In addition, microwave technique is an alternative to the currently used characterization methods of fluids located in microchannel.

Szymon LIPIŃSKI*, Daria SUPIŃSKA

MODEL NUMERYCZNY PROSTEGO SILNIKA MAGNETOHYDRODYNAMICZNEGO

Silnik magneto hydrodynamiczny jest maszyną elektryczną, w której elementem bezpośrednio wprawianym w ruch jest płyn. Płyn ten pełni zwykle rolę przewodnika znajdującego się w polu magnetycznym. W opisanym przykładzie taką rolę pełni osolona woda przewodząca prąd znajdująca się w zewnętrznym polu magnetycznym pochodzącym od magnesu ferrytowego. W artykule zawarto model matematyczny zjawisk pozwalający na przewidywanie zachowania się płynu oraz wykorzystany model numeryczny, który wstępnie zweryfikowano na modelu fizycznym w laboratorium. Omawiane urządzenie wprawia w ruch obrotowy wodę znajdującą się w szalce Petriego, której zewnętrzna ścianka wyłożona jest taśmą miedzianą. Na dnie szalki położony jest magnes ferrytowy w kształcie pierścienia. Całość zasilana jest prądem stałym przepływającym poprzez płyn z umieszczonej centralnie elektrody wykonanej z miedzianego drutu do znajdującej się na zewnątrz elektrody utworzonej z taśmy miedzianej, którą wyłożona jest zewnętrzna ścianka.

1. WPROWADZENIE

Maszyny elektryczne zdefiniowane jako urządzenia zamieniające energię elektryczną na mechaniczną, i odwrotnie, kojarzone są zwykle z maszynami, w których zarówno stojan jak i część ruchoma rozpatrywane są jako bryły sztywne. Najpopularniejszymi przykładami takich rozwiązań mogą być powszechnie stosowane silniki oraz generatory prądu stałego i przemiennego, w których moc przekazywana jest do maszyny przez obracający się wał. Takie maszyny wirujące wraz z silnikami liniowymi i przekładnikami stanowią większość tego co klasycznie kojarzy się z maszynami elektrycznymi. Jednak wraz z rozwojem nauki i postępem technologicznym pojawiają się nowe rozwiązania takie jak silniki piezoelektryczne [1] i magneto hydrodynamiczne [2].

* Politechnika Wroclawska, Katedra Maszyn Napędów i Pomiarów Elektrycznych

1.1. DEFINICJA SILNIKA MAGNETOHYDRODYNAMICZNEGO

Magnetohydrodynamika (MHD) jest gałęzią nauki zajmującą się zachowaniem przewodzących gazów lub cieczy znajdujących się w polu elektromagnetycznym. Przykładami takich płynów mogą być elektrolity, ciekłe metale oraz plazma. Sama nauka została zapoczątkowana przez H. Alfvéna, który jako pierwszy zauważył, że plazma budująca Słońce będzie opisywana równaniami elektromagnetyzmu oraz hydrodynamiki [3].

Silnik magnetohydrodynamiczny jest urządzeniem wprawiającym w ruch płyn bez użycia ruchomych elementów. Do przyspieszenia płynu używana jest energia elektryczna, która może być dostarczona z zewnątrz lub wytworzona wskutek zachodzących reakcji elektrochemicznych [2]. Zaletą takich silników jest brak posiadania łożyskowania i ruchomych elementów, które najczęściej ulegają zużyciu i determinują niezawodność maszyny. Jednak jak okazało się w opisanym poniżej eksperymencie pojawiają się problemy związane z korozją elektrochemiczną. W przypadku gdy w silniku wykorzystywana ma być plazma pojawiają się dodatkowe problemy związane z pracą w wysokiej temperaturze.

1.2. PRZYKŁADY I MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWAŃ

Silniki MHD początkowo testowano jako napęd statków morskich, gdzie słona woda miałaby być przyspieszana w specjalnym kanale generując ciąg. Pierwszym prototypem tego typu był opracowany w 1965 przez Stewarda Waya napęd łodzi podwodnej [4]. Innym przykładem podobnego rozwiązania jest napęd okrętu Yamato 1 [5]. W wyczerpujący sposób proces projektowania łodzi wraz z wynikami analiz numerycznych został przedstawiony przez D. Cebrona i innych [6].

Inną rozwijaną gałęzią jest wykorzystywanie zjawisk MHD do napędu statków kosmicznych. Istnieje wiele rodzajów tego typu napędu, które mają zastąpić w podróży kosmicznych konwencjonalne rakiety. Ich zasadniczą zaletą w stosunku do rakiet wykorzystujących spalanie jest wielokrotnie większy impuls właściwy, co pozwala na uzyskanie większych prędkości przy zużyciu tej samej masy gazu pędnego. Ze względu jednak na uzyskiwane małe wartości ciągu obecnie stają się one użyteczne dopiero po wyniesieniu statku na orbitę Ziemi [7], [8]. Korzyści wykorzystania takich napędów są zatem widoczne w przypadku misji międzyplanetarnych, ponieważ poprzez redukcję masy pędnika wynoszonej na orbitę uzyskuje się znaczne oszczędności. Ewentualne oszczędności mogą być też zapewnione poprzez skrócenie czasu przelotu, co jest szczególnie ważne w przypadku lotów załogowych.

Tak jak w przypadku klasycznych maszyn elektrycznych, maszyny MHD również mogą pracować generatorowo, czego przykładem może być patent zgłoszony przez R. L. Hundstada i S. Waya [9]. W zastrzeżonym rozwiązaniu prezentują oni sposób na

zamianę energii cieplnej na elektryczną wykorzystując bezpośrednio przepływające spaliny poddane termojonizacji w procesie spalania chemicznego.

2. MODEL NUMERYCZNY

2.1. RÓWNANIA MAGNETOHYDRODYNAMIKI

Przedstawiono poniżej równania magneto hydrodynamiki są zespołem równań zunifikowanych równań Maxwella i Naviera Stokesa, które opisują zachowanie się przewodzącego płynu w polu elektromagnetycznym. Przedstawione formy równań są odpowiednio uproszczone do rozpatrywanego zagadnienia.

Pierwszym z nich jest równanie ciągłości (1), które jest matematycznym odzwierciedleniem zasady zachowania masy. Przedstawiona postać równania wskazuje, że w obliczeniach założono, że rozpatrywany płyn jest nieściśliwy. Jest to uzasadnione dla wody w temperaturze pokojowej i spodziewanych niewielkich wahanach ciśnienia. Równanie (2) jest zaczerpnięte wprost z równań Maxwella i opisuje własności pola magnetycznego. Równanie indukcji Faradaya (3) odpowiada za sprzęgnięcie pola magnetycznego z polem prędkości. Natomiast (4) opisuje drugą zasadę dynamiki Newtona dla elementu płynu, gdzie za zmianę pędu odpowiadają gradient ciśnienia, tarcie wewnętrzne oraz siły pochodzenia elektromagnetycznego (Ampera) [10]. Równanie energii zostało pominięte ze względu na fakt, że nie rozpatrywano sprawności przetwarzania energii. Skutkiem ubocznym tego uproszczenia jest pominięcie ruchów konwekcyjnych, które jednak są pomijalnie małe ze względu na niską wysokość szalki. Ponadto przyjęto założenie, że środowisko jest liniowe, tj. wartości przenikalności, przewodności i lepkości są niezmiennie w całym zakresie obliczeń.

Równania te opisują wykorzystany do obliczeń model MHD zawarty w dodatku do programu Ansys Fluent nazwany metodą potencjału elektrycznego (Electric Potential Method) [11].

$$\operatorname{div} \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

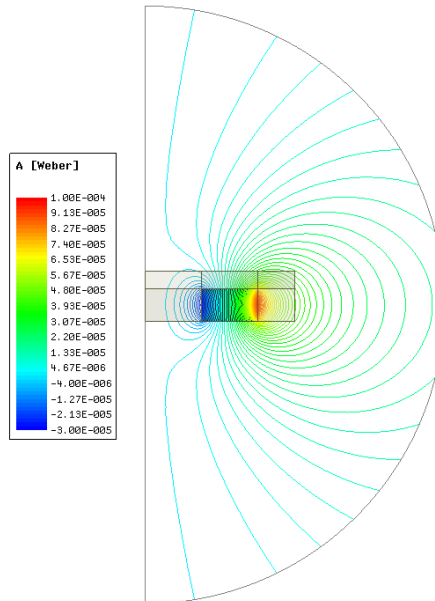
$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \operatorname{rot}(\mathbf{u} \times \mathbf{B}) + \frac{\nabla^2 \mathbf{B}}{\mu \sigma} \quad (3)$$

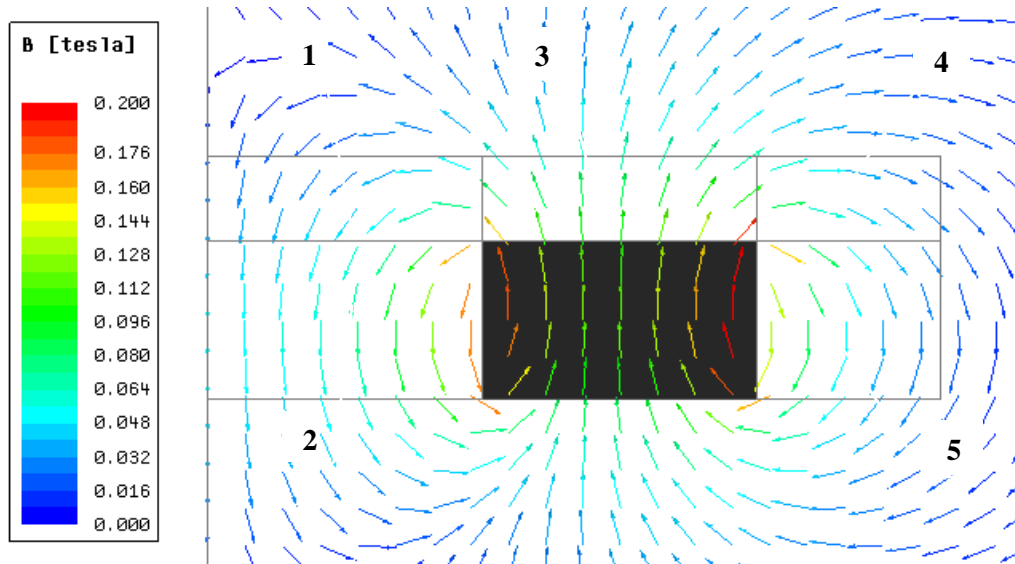
$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \frac{\mathbf{j} \times \mathbf{B}}{\rho} \quad (4)$$

2.2. WYNIKI OBLICZEŃ

Pierwszym etapem obliczeń było ustalenie rozkładu indukcji magnetycznej pochodzącej od magnesu. W tym celu przygotowano model osiowosymetryczny w programie Ansys Maxwell. Ponieważ magnes znajdujący się w szalce Petriego otoczony jest wodą, powietrzem, szkłem i drewnem, które mają przenikalność magnetyczną względną bliską jedności, dla prostoty całe otoczenie magnesu zamodelowano jako próżnię. Obszar obliczeniowy został ograniczony do połowy koła, na którego zewnętrznej krawędzi narzucono warunek brzegowy pozwalający otrzymanie wyników zbliżonych do otrzymanych dla nieskończenie wielkiego obszaru obliczeniowego (rys. 1). Obliczenia wykonano dla magnesu ferrytowego F30, którego krzywą odmagnesowania pobrano ze strony dostawcy [12]. Wyniki rozkładu pola indukcyjnego przedstawiono na rysunku 2, na którym również zaznaczono obszary dla których uśredniono wartości wektora indukcji w kierunku poosiowym B_{ri} i promieniowym B_{zi} . Osie r i z są odpowiednio osią poziomą i pionową na rysunku 1. Wartości te zebrano w tabeli 1 i wykorzystano w modelu numerycznym MHD na potrzeby definicji zewnętrznego pola magnetycznego.



Rys. 6. Linie pola magnetycznego pochodzącego od cylindrycznego magnesu ferrytowego



Rys. 7. Rozkład wektorów indukcji magnetycznej w przekroju magnesu pierścieniowego z wyszczególnionymi obszarami płynu w modelu MHD

Tabela 1. Wartości średnie składowych wektora indukcji magnetycznej dla regionów z rys. 2

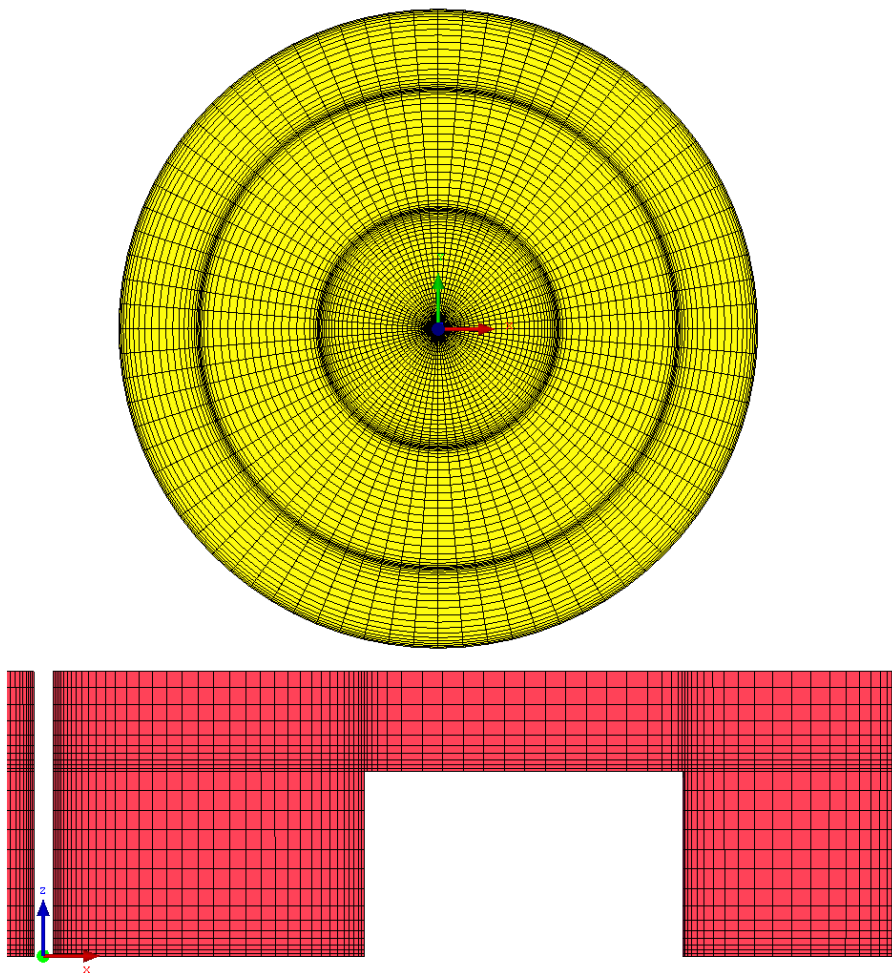
	1	2	3	4	5
B_{ii} , mT	-28.8	0	10.1	44.5	0
B_{zi} , mT	-28.0	-76.2	71.0	-11.7	-56.8

Wyniki obliczeń magnetostatycznych wykorzystano w modelu MHD do definicji zewnętrznego pola magnetycznego, ponieważ wykorzystywany program nie pozwala na bezpośrednie zamodelowanie pola pochodzącego od magnesu. Wykorzystane podejście pozwala na obliczenie prądów przepływających przez płyn na podstawie zadanego jako warunki brzegowe potencjału oraz przewodności materiału i następnie obliczenie sił działających na przewodzący płyn znajdujący się w zewnętrznym polu magnetycznym. Ponieważ środowisko jest liniowe wypadkowe pole magnetyczne powstaje w wyniku superpozycji zewnętrznego pola oraz pola wynikającego z przepływającego prądu. Zatem w takim przypadku narzucanie niezmiennego zewnętrznego pola magnetycznego jest uzasadnione. W razie konieczności zwiększenie dokładności obliczeń mogłoby być uzyskane przez zwiększenie stopnia dyskretyzacji zadanego pola magnetycznego. W rozpatrywanym przypadku ograniczono się do 5 obszarów.

Ze względu na to, że przewodność ferrytu jest o wiele rzędów większa od przewodności słonej wody objętość zajmowana przez magnes w obliczeniach MHD została całkowicie pominięta (rys. 3). Przyjęto, że prąd przepływa od elektrody umieszczonej w centrum naczyń do zewnątrz, co odpowiada dodatniej polaryzacji centralnej elektrody.

Wobec takiego kierunku przepływu prądu moment wytwarzany jest tylko dzięki składowej B_z pola magnetycznego i tylko te wartości przeniesiono do modelu MHD.

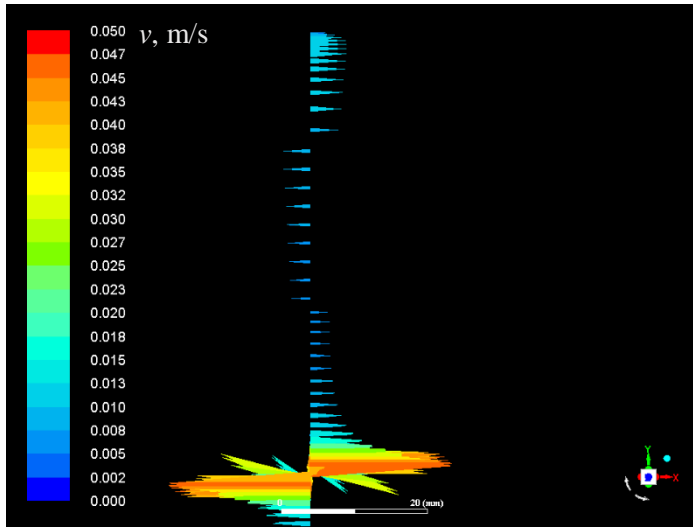
Siatkę obliczeniową dla modelu przepływu płynu przedstawiono na rysunku 3. Zagęszczenia siatki przy ściankach naczynia pozwala na poprawne odwzorowanie warstwy przyściennej. Górną powierzchnię zamodelowano jako całkowicie swobodną, to znaczy, że pominięto tarcie pomiędzy wodą a otaczającym powietrzem.



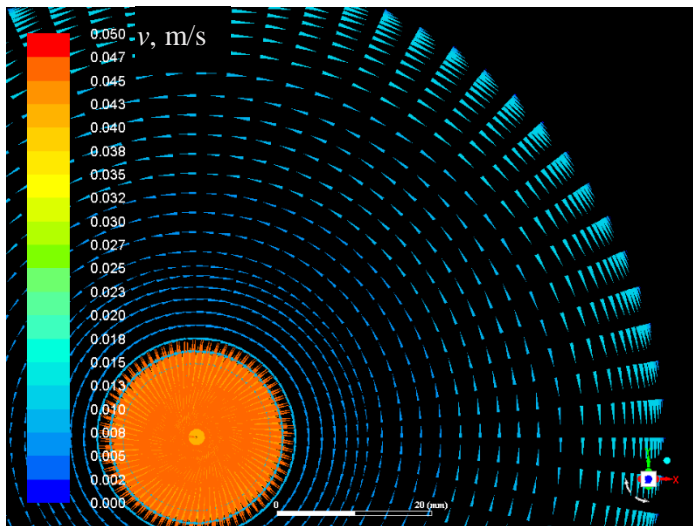
Rys. 8. Widok siatki obliczeniowej: widok z góry (żółty)
oraz widok połowy przekroju w płaszczyźnie xz (czerwony)

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wektory prędkości dla powierzchni wody oraz przekroju przez naczynie. Widać na nich, że woda w różnych obszarach naczynia wiruje w przeciwnych kierunkach zgodnie z regułą lewej dłoni. Nieciągłości prędkości w pionie

wynikają z niskiego stopnia dyskretyzacji zewnętrznego pola magnetycznego. Gdyby obszar obliczeniowy podzielić na większą liczbę regionów nie zaobserwowano by podobnego efektu.



Rys. 9. Wektory prędkości wody w przekroju w płaszczyźnie xz



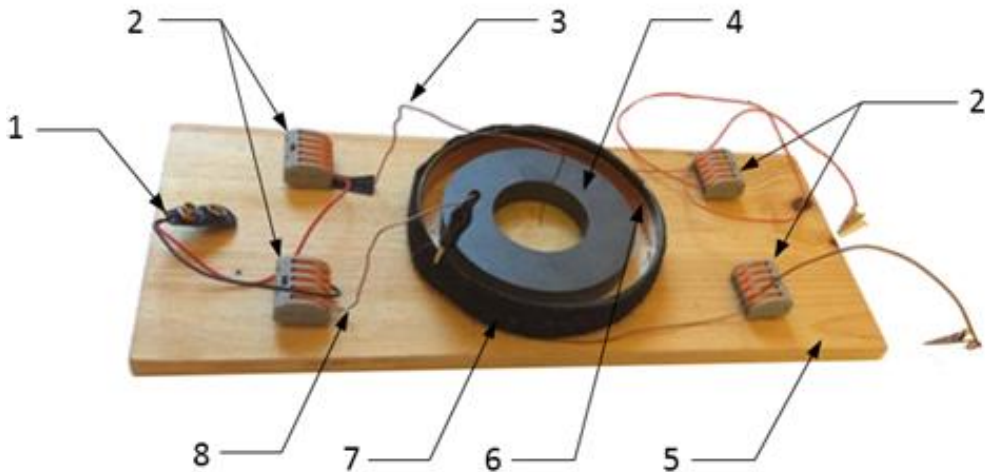
Rys. 10. Wektory prędkości wody na powierzchni naczynia

3. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Badania eksperymentalne przeprowadzono na modelu znajdującym się na rysunku 7. Prezentowany model pozwala na zweryfikowanie modelu numerycznego w ujęciu jakościowym oraz w ograniczonym stopniu w ujęciu ilościowym. Największym problemem jest dokładne zmierzenie prędkości przepływu wody w poszczególnych miejscach. Ze względu na brak odpowiednio małych przyrządów pomiarowych dokonano pośredniej obserwacji. Na powierzchni wody umieszczono drobinki zmielonego pieprzu i zmierzono czas pełnego obrotu wokół osi naczynia. Znając odległość drobinki od osi można wyznaczyć średnią prędkość i porównać ją z obliczoną. Zestawienie danych zmierzonych i obliczonych pokazano w tabeli 2. Wynika z niej znacząca rozbieżność pomiędzy eksperymentem a pomiarem. Jej prawdopodobną przyczyną jest przyjęta w obliczeniach nieodpowiadająca warunkom pomiaru przewodność wody oraz niewystarczająca dokładność metody pomiarowej.

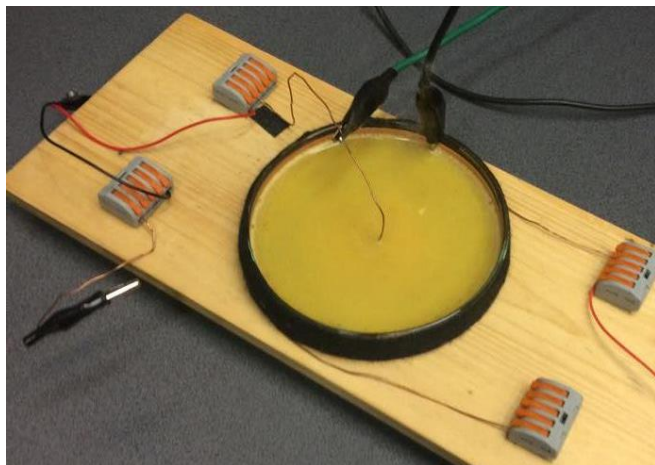
Tabela 2. Weryfikacja modelu numerycznego

Odległości od osi r , mm	Czas obiegu t , s	Prędkość średnia v_{av} , m/s	Prędkość obliczona v_c , m/s
5	2	$15.7 \cdot 10^{-3}$	$18 \cdot 10^{-3}$
20	8	$15.7 \cdot 10^{-3}$	$13 \cdot 10^{-3}$



Rys. 11. Fizyczny model silnika MHD: 1 – wtyk na baterię 9V, 2 – złączki, 3 – katoda, 4 – magnes ferrytowy pierścieniowy (90 mm x 45 mm x 13 mm), 5 – drewniana podkładka, 6 – taśma miedziana, 7 – szalka Petriego (120 mm x 20 mm), 8 – anoda

Oprócz zasilania baterią o napięciu 9 V sprawdzono na stanowisku laboratoryjnym zachowanie się płynu dla większych napięć. Zgodnie z oczekiwaniami wraz ze zwiększeniem napięcia płyn przyspieszał, jednak podniesienia napięcia doprowadziło do hydrolizy i gwałtownego przyspieszenia korozji miedzi. Korozja postępowała na tyle szybko, że już po kilku minutach woda zmieniła zabarwienie na żółte, prędkość wirowania wody widocznie zmalała, a centralna elektroda w znacznej części skorodowała zmniejszając zauważalnie swój przekrój. Na rysunku 8 przedstawiono widok wody zanieczyszczonej powstałym w wyniku korozji chlorkiem miedzi (I)



Rys. 12. Widok zanieczyszczonej wskutek korozji wody poddanej napięciu 50 V

4. PODSUMOWANIE

Jak można zauważyć pomimo znacznego uproszczenia modelu numerycznego symulacja dobrze odzwierciedla rzeczywiste zachowanie się płynu. Zatem proponowane podejście pozwala skutecznie przewidzieć zachowanie płynu zgodnie z równaniami magnetohydrodynamiki. Przydatność proponowanego rozwiązania jest tym większa, ponieważ dla wielu rzeczywistych przypadków brak jest rozwiązań analitycznych.

W celu ilościowego zweryfikowania modelu należałoby posłużyć się dokładniejszymi metodami pomiarowymi, ponieważ w trakcie wykonywania pomiarów obserwowane drobiny nie poruszały się dokładnie po okręgach co powoduje, że prędkości wyznaczone na podstawie czasu ich obiegu charakteryzują się bardzo dużą niepewnością pomiarową, którą trudno oszacować. Dodatkowo konieczny byłby pomiar przewodności używanej wody, w celu porównania czy obliczenia były przeprowadzone dla warunków w pełni odpowiadającym pomiarowi.

W przypadku gdy płynem wprawianym w ruch jest osolona woda należy zwrócić szczególną uwagę na materiał, z którego wykonane zostaną elektrody. Miedź okazała się silnie podatna na korozję i nie nadaje się do zastosowania w przypadku napędzania słonej wody, zatem w przyszłości należy do podobnym rozwiązaniom poszukiwać innych materiałów.

Obliczenia wykonano przy użyciu zasobów udostępnionych przez Wrocławskie Centrum Sieciowo-Superkomputerowe (<http://wcss.pl>), grant obliczeniowy Nr 390.

LITERATURA

- [1] VISHNEVSKY V., KAVERTSEV V., KARTASHEV I., LAVRINENKO V., NEKRASOV M., PREZ A., *Piezoelectric motor structures*, U.S. Pat. No. 4,019,073, 1977
- [2] BEDNAREK S., *Silniki magneto hydrodynamiczne z wewnętrznym zasilaniem*, XI SOKFD, Warszawa 2011
- [3] ALFVEN H., *Existence of Electromagnetic-Hydrodynamic Waves*, Nature, Vol. 150, pp. 405-406, October 1942
- [4] WAY S., *Electromagnetic propulsion for cargo submarines*, J. Hydronautics 2: 49-57, 1968
- [5] TAKEZAWA S. et al., *Operation of the thruster for superconducting electromagnetohydrodynamic propulsion ship YAMATO-1*, Bull. Marine Eng. Soc. Japan 23: 46-55, 1995
- [6] CEBRON D. et al., *Experimental and Theoretical Study of Magneto hydrodynamic Ship Models*, PLoS ONE, 12, (6): e0178599, 2017
- [7] Choueiri E. Y., *New dawn for electric rockets*, Scientific American, pp. 58-65, February 2009
- [8] LIPÍŃSKI S., *Review of electrically powered spacecraft propulsion systems*, 13th Students' Science Conference, Polanica Zdrój, 2015
- [9] WAY S. et al., *Magneto hydrodynamic generator*, U.S. Pat. No. 3,214,616, 1962
- [10] MOREAU R., *Magneto hydrodynamics*, Springer-Science+Business Media. B.V., 1990
- [11] ANSYS Fluent Advanced Add-On Modules, Release 17.2, August 2016
- [12] <http://www.magnesy.eu/mp-90-x-45-x-13--f30---magnes-ferrytowy-t-977.html#>, Dostęp: 15-10-2017

NUMERICAL MODEL OF BASIC MAGNETO HYDRODYNAMIC MOTOR

Magneto hydrodynamic drive is a type of electric drive, where force acts directly on fluid without mechanical moving parts. The fluid in most cases conducts electric current in magnetic field creating force. Article includes mathematical model allowing to predict fluid behavior together with incorporated numerical model, which was preliminary verified on physical model on test rig. In described example salty water conducts direct current from central electrode made of copper wire to external electrode made of thin copper sheet covering external wall of Petri dish. External magnetic field is provided by ferrite magnet located on the bottom of the vessel. In result water spins in directions according to forces created in conductor exposed to magnetic field.

Dariusz PRZYBYLSKI*, Dorota ZAJĄC**, Sergiusz PATELA*

PRZYGOTOWANIE I BADANIE WARSTW ORGANICZNYCH DLA ZASTOSOWAŃ FOTOWOLTAICZNYCH

W artykule przedstawiono proces otrzymywania cienkich warstw organicznych. Nakładanie warstw na podłoża szklane odbywało się metodą spin-coatingu. Podczas procesu modyfikowane były takie parametry jak: stężenie procentowe związku, rodzaj zastosowanego rozpuszczalnika, prędkość wirowania, czas wirowania oraz ilość naniesionej substancji. Zbadano właściwości otrzymanych cienkich warstw organicznych. Pomiaru ich grubości dokonano za pomocą profilometru optycznego, a następnie wynik zweryfikowano na profilometrze mechanicznym. Następnie zmierzono charakterystykę transmitancji na spektrofotometrze. W rezultacie przeprowadzonych prac opracowano technologię nanoszenia 100 nm warstw organicznych na podłoże szklane.

1. OTRZYMYWANIE CIENKICH WARSTW ORGANICZNYCH

1.1. ZAPOTRZEBOWANIE NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ

Zgodnie z prognozami, zapotrzebowanie energetyczne na najbliższe 50 lat ma się podwoić [1]. Powoduje to zwiększone zapotrzebowanie na alternatywnych źródła energii, takie jak ogniwa fotowoltaiczne. Krzemowe ogniwa fotowoltaiczne charakteryzują się stosunkowo niską konwersją energii słonecznej na elektryczną. W warunkach laboratoryjnych ich sprawność wynosi ok. 25%, ogniwa komercyjne osiągają sprawności do 17% [2]. Istnieją ogniwa nieorganiczne o większej sprawności takie jak ogniwa wielozłączowe. Osiągają one sprawności w zależności od ilości złącz do 46% [3]. Niestety, wytwarzania wielozłączowych ogniw fotowoltaicznych jest skomplikowane i kosztowne.

Ciekawą opcją rozwiązania problemów energetycznych przyszłości mogą okazać się ogniwa fotowoltaiczne zbudowane z materiałów organicznych. Są one tańsze i łatwiejsze w produkcji od nieorganicznych odpowiedników. Na razie, ogniwa z materiałów organicznych mają mniejszą sprawność od nieorganicznych odpowiedników – do 14% (perowskity 22%) [3]. Nie dyskwalifikuje to jednak całkowitego fotowoltaiki organicznej.

* Politechnika Wroclawska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki

** Politechnika Wroclawska, Wydział Chemii

50 lat temu ogniwa nieorganiczne cechowały się podobną sprawnością co dzisiejsze odpowiedniki organiczne [5]. Dzisiejsze osiągnięcia organicznych ogniw fotowoltaicznych pozwalają z nadzieją patrzeć na przyszłość tej dziedziny.

1.1.2. MATERIAŁY STOSOWANE DO PRODUKCJI OGNIW ORGANICZNYCH

Sprawność organicznego ogniwa fotowoltaicznego w dużej mierze zależy od materiału, z którego zostało ono wykonane. Często stosowane są do tego celu polimery [4,7]. W niniejszym artykule opisano wstępne badania nad możliwością zastosowania materiału organicznego, kwasu 2-cyano-3-(10-(2-fenoksyphenyl)anthracen-9-yl)acrylic (FOF), pochodnej antracenu, do zastosowań fotowoltaicznych [8].

1.2. PRZYGOTOWANIE PODŁOŻY

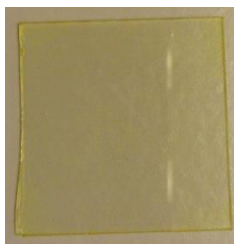
Metodą, użytą do nanoszenia warstw organicznych, było nawirowanie (ang. spin-coating). Metoda ta pozwala nanosić materiał organiczny z różnymi prędkościami wirowania i czasem wirowania. Materiał nanoszono na podłoża szklane. Proces tworzenia warstw organicznych zaczyna się od przygotowania odpowiednio czystych podłoży. W naszych badaniach wykorzystaliśmy 1 mm podłoża mikroskopowe 76×25 mm, które zostały pocięte za pomocą diamentowego ostrza na kwadraty 25×25 mm. Każde z szklanych kwadratowych podłoży zostało poddane procesowi mycia mechanicznego i chemicznego. W pierwszym kroku zostały one umyte pod bieżącą wodą, z wykorzystaniem detergentu, celem usunięcia największych zanieczyszczeń. Następnie przepłukano je wodą zdemineralizowaną oraz umieszczono na stojaku, który został zanurzony w acetonie i umieszczony w myjce ultradźwiękowej na 15 minut. Po kąpieli szklanych płytek w acetonie, zostały one przetarte cienką chusteczką nasączoną izopropanolem, a następnie wysuszone poprzez przedmuchiwanie sprężonym azotem. W przedostatnim kroku podłoża zostały umieszczone na co najmniej 15 minut na płycie grzewczej w temperaturze 120°C. Ostatnim etapem czyszczenia było przedmuchiwanie azotem, celem wystudzenia rozgrzanych podłoży do temperatury pokojowej.

1.3. NANOSZENIE CIENKICH WARSTW ORGANICZNYCH

Na wymyte i wysuszone podłoża nanoszono rozpuszczony związek organiczny FOF. Substancja ta została rozpuszczona w THF (tetrahydrofuranie) oraz chloroformie. Chloroform rozpuszczał FOF, jednak odparowywał zbyt szybko i nie był wykorzystywany w dalszych badaniach. THF, z kolei, wykazywał odpowiednie cechy do dalszego procesu: odpowiednio długi czas odparowywania i pełne rozpuszczenie FOF. Stężenie substancji w rozpuszczalniku wynosiło 0,02 mol/dm³.

Modyfikowano proces nawirowania, poszukując zestawu parametrów, które pozwolą otrzymać warstwy o grubości z zakresu 100-120 nm. Zmieniano prędkość wirowania od 1500 do 3000 obrotów na minutę (RPM) oraz czas wirowania od 20 do 30 sekund. Ilość substancji użytej do pojedynczego procesu wynosiła zawsze 30 μ l.

Po procesie spin-coatingu podłoże z naniesioną warstwą organiczną było wygrzewane w temperaturze 50°C przez 5 minut celem odparowania resztek rozpuszczalnika. Na Rys. 1 została przedstawiona otrzymana warstwa organiczna.



Rys. 1. Próbką FOFu z naniesioną warstwą organiczną

2. BADANIE CIENKICH WARSTW ORGANICZNYCH

2.1. POMIAR GRUBOŚCI WARSTW

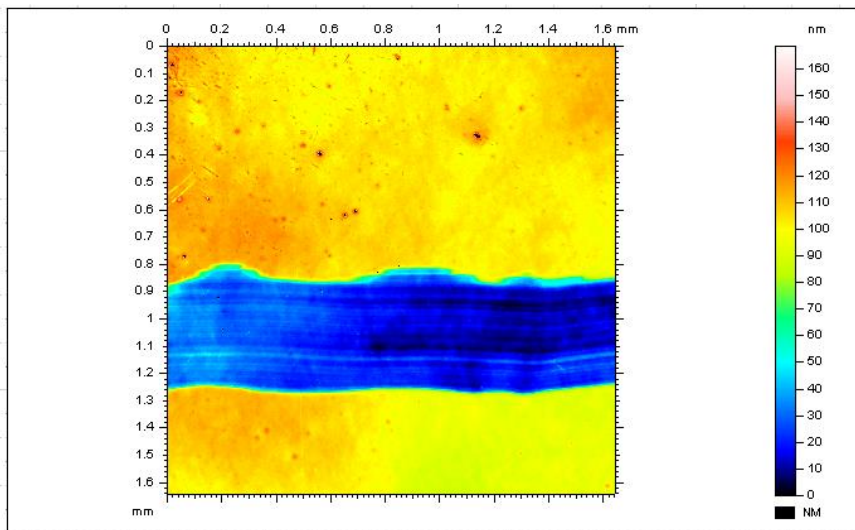
Grubość warstw organicznych (rys. 1), otrzymywanych przy określonych parametrach nawirowania, była mierzona na profilometrze optycznym. Celem wykonania pomiaru, wykonywano rysę tak, aby odsłonić podłoże szklane. Wykonanie uskoku jest niezbędnym elementem tego typu pomiaru.

Na Rys. 2 przedstawiony został obraz z profilometru optycznego.

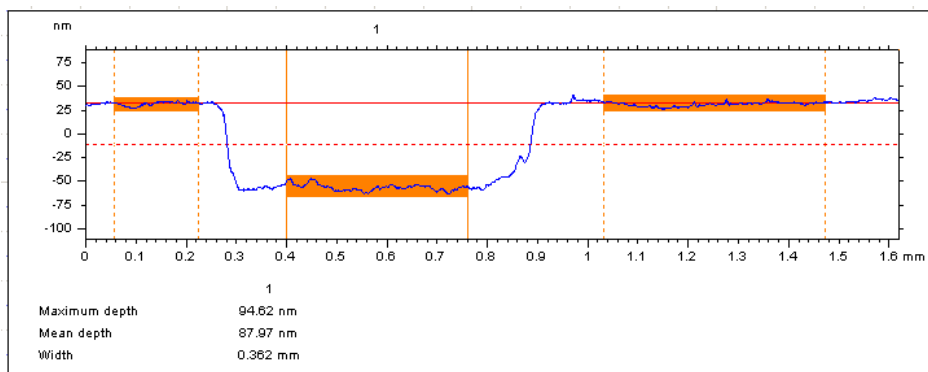
Na podstawie rys. 2 możliwa była wstępna ocena jakości uzyskanej powierzchni organicznej na podłożu szklanym. W kierunku prostopadłym do rysy tworzono profil przekroju (rys. 3) i na tej podstawie mierzono grubość warstwy. Na Rys. 3 został przedstawiony przekrój warstwy organicznej z rys. 2.

Analizując dane przedstawione na Rys. 3, oszacowano grubość warstwy organicznej na 88 nm. Jest to najgrubsza warstwa, którą udało się nanieść podczas badań. Parametry procesu jak prędkość wirowania i czas wirowania, dla których uzyskano powyższą warstwę, były ściśle zadane i wynosiły odpowiednio 1500 RPM i 20 s.

Grubość otrzymanych warstw próbowano mierzyć również za pomocą profilometru mechanicznego. Niestety, diamentowy stylus o średnicy 2 mikrometrów przecinał powierzchnię warstwy i nie udało się dokonać pomiaru.



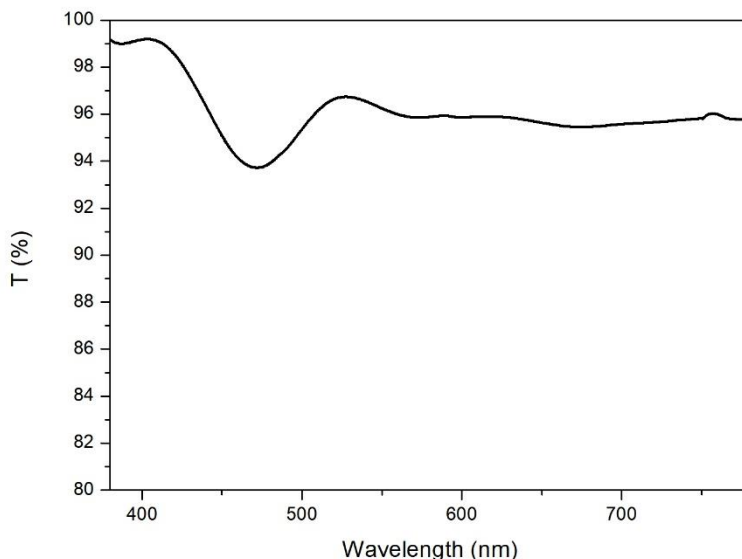
Rys. 2. Próbkę FOFu z naniesioną warstwą organiczną po pomiarze grubości na profilometrze optycznym



Rys. 3. Profil próbki warstwy organicznej

2.2. POMIAR TRANSMITANCJI

Próbkę o grubości 88 nm poddano pomiarowi transmitancji na spektrofotometrze jednowiązkowym. Wyniki przedstawiono na Rys. 4. Pomiar został przeprowadzony w dla światła widzialnego, ponieważ to ma być w przyszłości zakres pracy badanych materiałów.



Rys. 4. Wykres transmitancji dla warstwy organicznej w zależności od długości fali

Na podstawie rys. 4 zauważono, że materiał organiczny absorbuje najwięcej promieniowania z zakresu 380-440 nm oraz 510-550 nm, a najmniej w przedziale 450-500 nm. Wynik ten potwierdza charakterystyczna, żółta barwa próbki (rys. 1).

3. WNIOSKI I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Proces nanoszenia warstwy kwasu 2-cyano-3-(10-(2-fenoksyfenyl)anthracen-9-yl)acrylic, rozpuszczonego w tetrahydrofuranie zakończył się uzyskaniem próbki o grubości 88 nm. Jest to wartość, która nieznacznie odbiega od planowanej grubości 100 nm. Jakość powierzchni była satysfakcjonująca i kwalifikuje próbki do dalszych badań. Dokonano pomiaru transmitancji wykonanej warstwy. Na podstawie badań optycznych stwierdzono, że materiał ten może być w przyszłości wykorzystany do badań nad przyrządami fotowoltaiki, które będą absorbowały promieniowanie z zakresu 380-440 nm oraz 510-550 nm. Dla weryfikacji tego założenia, w przyszłości zostaną przeprowadzone dodatkowe badania wykonanych warstw, w tym badania za elipsometru spektralnego i badania spektroskopii impedancyjnej.

Badania były finansowane i wykonane w ramach projektu Miniatura 2017/01/X/ST5/00340 oraz ze środków na działalność statutową Wydziału Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej.

LITERATURA

- [1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *World Energy Outlook 2016*, Paryż, Listopad 2016
- [2] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE, "Photovoltaics Report," 02-Jul-2017.
- [3] "NREL Photovoltaic Research - Efficiency Chart." [Online]. Available: <https://www.nrel.gov/pv/>. [Accessed: 30-Oct-2017]
- [4] WINIARSKA D., *Organiczne ogniwa słoneczne*, GLOBEnergia : Odnawialne Źródła Energii, 2011
- [5] THE NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL), *Best Research-Cell Efficiencies charts*, <https://www.nrel.gov/pv/>, data dostępności 25.10.2017
- [6] <http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/20359/nowy-rekord-sprawnosci-ogniwa-organicznego>, data dostępności 25.10.2017
- [7] POKLADKO-KOWAR M. i in., *Ogniwa fotowoltaiczne na bazie organicznych materiałów*, Nauki Podstawowe, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011
- [8] ZAJĄC D., *Synteza i badania półprzewodnikowego charakteru układów heterocyklicznych zaprojektowanych do zastosowań w urządzeniach sensorowych*, Wrocław: Politechnika Wrocławska, 2017

PREPARATION AND INVESTIGATION OF ORGANIC COATINGS FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS

In this paper, results of an investigation of organic films for photovoltaic applications were presented. The organic material was deposited by the spin coating method. Influence of the rotation speed, time of deposition and amount of organics substance on film properties was checked. The investigated organic coatings were measured using optical, mechanical profilometers and spectrophotometer as well. The aim of the investigation was to fabricate organic films with a thickness of 100 nm.

Marek JASIŃSKI*, Elżbieta JASIŃSKA**, Michał JASIŃSKI***

ANALIZA PROCESU UTRZYMANIA RUCHU SAMOJEZDNYCH MASZYN DOŁOWYCH

Proces utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie obecnie posiada strategiczne znaczenie dla działalności firmy. Dlatego należy zauważyć, że zmieniło się podejście w rozumieniu utrzymania ruchu. Jego celem jest nie tylko zapewnienie ciągłości produkcyjnej przy jak najmniejszych kosztach, ale równocześnie dbanie o np. efektywne zużycie energii, jakość produktów i usług przy zapewnieniu jak największego poziomu bezpieczeństwa ludzi i ochrony środowiska. Jednym z produktów jest przywrócenie użytkowanego parku maszynowego do stanu, w którym może on wykonywać wymagane funkcje. Wybór właściwej strategii Utrzymania Ruchu w istotnym stopniu uzależniony jest od specyfiki przedsiębiorstwa w rozumieniu ogólnym oraz specyfiki procesu produkcyjnego w szczególności. Zakłady Górnicze Rud Metali Nieżelaznych są tego najlepszym przykładem. Artykuł prezentuje wybrane aspekty związane z podprocesami utrzymania ruchu zapewniające sprawność parku maszynowego wykorzystywanego przy wydobyciu i przetransportowaniu urobku rud miedzi do punktów odstawy: przygotowanie, naprawę i konserwację maszyn dołowych. Wskazuje również obecną tendencję nakierowaną na wdrożenie w kopalniach systemów TPM (Total Productive Maintenance) oraz CMMS (Computerised Maintenance Management Systems).

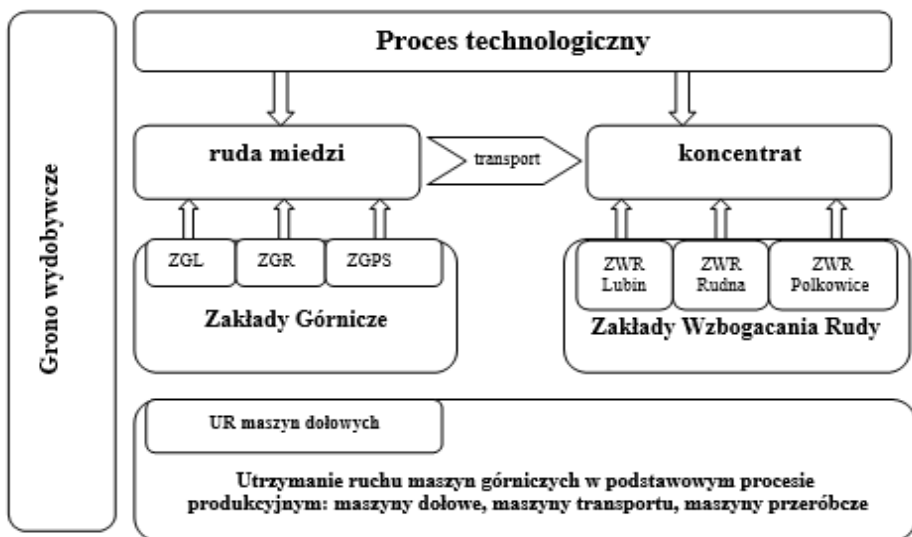
1. OPIS OGÓLNY PROCESU I JEGO ZAKRES

W cyklu technologicznym wydobywania rudy w gronie wydobywczym należy wyodrębnić podproces Utrzymania Ruchu Maszyn Dołowych. Ma on zapewnić jak najkorzystniejszą ciągłość pracy eksploatowanych w podziemiach zakładów górniczych samojezdnych maszyn dołowych w kopalniach rud metali nieżelaznych. Na rysunku 1 przedstawiono cykl technologiczny KGHM z uwzględnieniem utrzymania ruchu maszyn dołowych.

* Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania

** Uczelnia Jana Wyżykowskiego w Polkowicach

*** Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny



Rys. 1. Cykl technologiczny w gronie wydobywczym, a zakres utrzymania ruchu maszyn [4]

Wydobywanie rudy miedzi i jej dostarczenie do zakładu wzbogacania wiąże się z następującymi operacjami technologicznymi [1]:

1. Wierceniem otworów strzałowych i uzbrajaniem ich ładunkami wybuchowymi,
2. Wykonywaniem obudowy kotwowej,
3. Dokonywaniem obrywki w przodkach i w wyrobiskach dojsściowych,
4. Odstawą urobku do wysypów oddziałowych na taśmociągach,
5. Kruszeniem dużych brył skalnych (nadgabarytów) na kracie wysypu oddziałowego,
6. Transportem rudy przenośnikami taśmowymi (lub transportem szynowym) do komór kruszarek przy zbiornikach retencyjnych przyszybowych,
7. Ciąganiem rudy na powierzchnię urządzeniami skipowymi szybów wydobywczych,
8. Transportem rudy taśmociągami do ZWR (Zakładu Wzbogacania Rudy).

Każda z tych operacji wymaga użycia specjalistycznych maszyn dołowych. Na rysunku 2 przedstawiono klasyfikację „podstawowych” SMG (samojezdnych maszyn górniczych).

Na trzech kopalniach samych ładowarek pracuje około 200 i około 150 wozów odstawczych. Dodatkowo w procesie technologicznym wykorzystywane są także SMG „pomocnicze” np. typu ładowarki pomocnicze z grupy LK1 (około 120), wozy transportowe z grupy SWT (około 260) oraz szereg innych. Zakłady górnicze są w związku z tym ogromną firmą transportową funkcjonującą ze swoim parkiem maszynowym w specyficznym środowisku jakim są kopalnie głębinowe [4].



Rys. 2. Klasyfikacja podstawowych maszyn dołowych wykorzystywanych w procesie wydobywania rud miedzi [5]

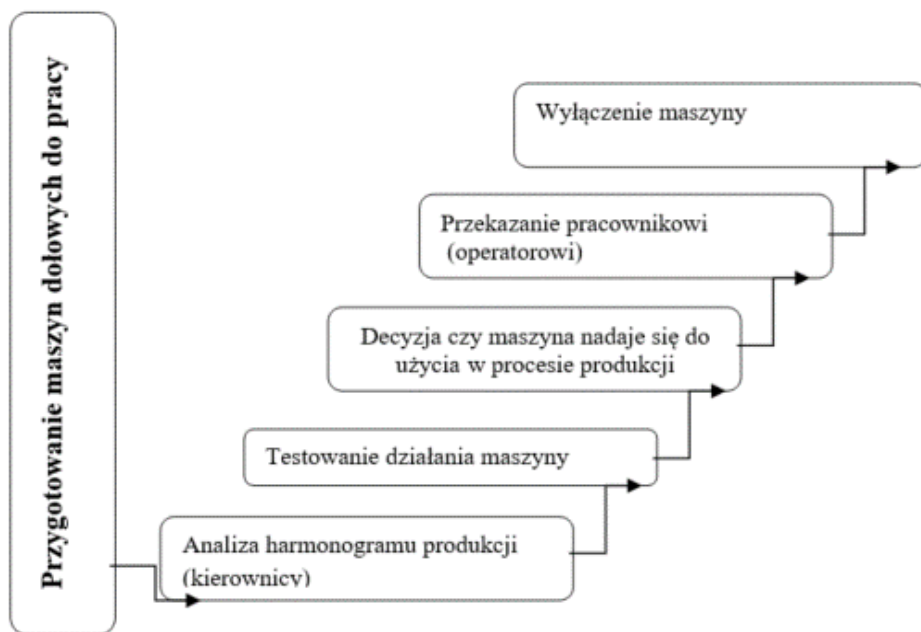
3. ANALIZA PRZEBIEGU PROCESU Z UWZGLĘDNIENIEM INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ SMG

W procesie utrzymania ruchu maszyn dołowych można wyodrębnić trzy podprocesy zapewniające sprawność parku maszynowego wykorzystywanego przy wydobywaniu i przetransportowaniu urobku rud miedzi do punktów odstawy: przygotowanie, naprawę i konserwację maszyn dołowych.

Poszczególne podprocesy można ukierunkować i dokonywać ich analizy pod ściśle określonym kątem np. pod względem poprawności pracy urządzeń zasilanych energią elektryczną w SMG.

Podproces „przygotowanie maszyn dołowych do pracy”, przedstawiono na rysunku 3. Pozwala ten w efekcie na sprawne przejście maszyny do pracy przez operatora.

Analizę tego podprocesu możemy przeprowadzić tylko pod określonym kątem (np. energia elektryczna). Wówczas w podprocesie tym operator zwraca szczególną uwagę na działanie wszystkich urządzeń zasilanych energią elektryczną. Zaczyna np. od rozruchu urządzenia (praca rozrusznika), sprawdzenie wskaźników na tablicy rozdzielczej i manometrów w kabinie operatora przy uruchomionym silniku spalinowym. Następnie sprawdza poprawność działania wszystkich lamp służących do oświetlenia maszyny przy przemieszczaniu się, jak również oświetlenie pola jej pracy (np. dla wiertnic). Oświetlenie zewnętrzne maszyn dołowych jest szczególnie narażone na wszelkie uszkodzenia mechaniczne zarówno podczas jazdy chodnikami wyrobisk górniczych jak i podczas manewrowania w nich. SMG to pojazdy posiadające wyposażenie podobne jak samochody, a pracujące, jeżdżące w bardzo trudnych warunkach kopalni głębinowej.



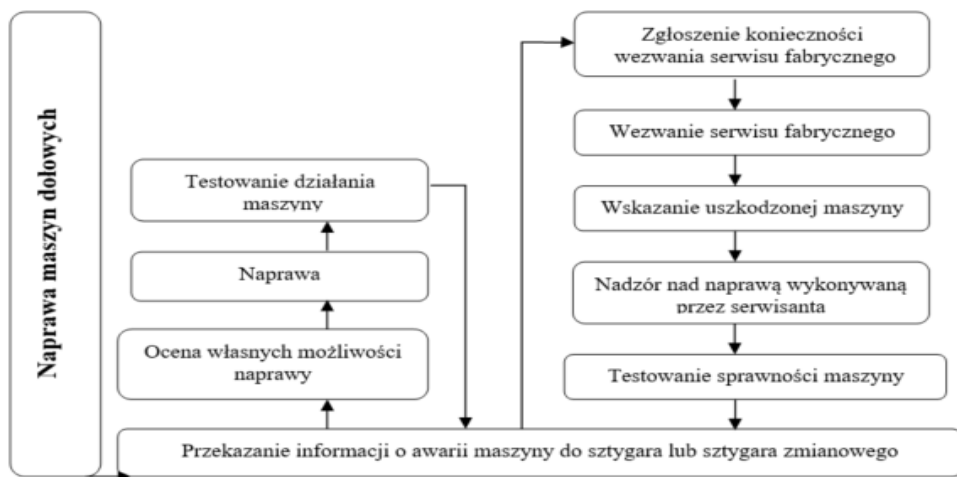
Rys. 3. Podproces „Przygotowanie maszyn dołowych” . Opracowanie własne na podstawie [1, 3]

Podstawowym elementem instalacji elektrycznej SMG (samojezdnej maszyny górniczej) jest akumulator wykorzystywany do uruchomienia maszyny. Ze strony elektrycznej podczas obsługi codziennej należy sprawdzić np. poziom elektrolitu, zamocowanie akumulatorów, stan zacisków i sprawdzić dodatkowo raz na dobę (raz na 4 zmiany pracy maszyny) stan naładowania akumulatorów. Bardzo ważne jest oprócz sprawdzenia wszystkich świateł SMG sprawdzenie prawidłowej pracy sygnału dźwiękowego maszyn (nieodczownego przy komunikacji na skrzyżowaniach w podziemiach kopalń). Podczas pracy silnika spalinowego napędzającego alternator funkcję źródła zasilania pełni właśnie on. Zapewnia on z jednej strony ładowanie akumulatora, a z drugiej strony zasila wszystkie odbiorniki w pojeździe podczas jej pracy. W przypadku uszkodzenia diod (zwarcie) w alternatorze z maszyny zasilającej pojazd prądem stałym alternator staje się źródłem prądu przemiennego, co w efekcie przy dalszym jego ładowaniu tym prądem, może spowodować uszkodzenia, a nawet wybuch akumulatora. Poprawność jego pracy można stwierdzić obserwując wskaźnik ładowania akumulatora w pojeździe (napięcie ładowania) i zachowanie odbiorników pracujących przy zasilaniu odbiegającym od znamionowego, na które urządzenie zastało zaprojektowane i wykonane. W szeroko pojętej elektryce szczególnie ważna jest jakość połączeń elektrycznych. Szczególnie odpowiedni docisk przewodów w listwach zaciskowych różnego rodzaju. Dlatego należy zawsze zwracać uwagę na:

1. poprawność podłączenia (wprowadzenia) przewodów zasilających do odbiorników,
2. poprawność przyłączenia przewodów do poszczególnych aparatów stanowiących wyposażenie obwodu elektrycznego wewnątrz odbiornika.

W tym podprocesie najczęściej sprawdzenie odbywa się na podstawie stanu wiedzy technicznej operatora o urządzeniu (czy działa poprawnie) i wykorzystania jego zmysłów do oceny pracy maszyny (czy nie widać uszkodzeń, przegrzań izolacji przewodów lub zacisków w urządzeniach, czy nie czuć swędu spalenizny, czy nie słysząc trzasków podczas przepływu prądu np. w puszkach przyłączeniowych, wycieków itp.). Każdy operator w książce pracy maszyny potwierdza podpisem dokonana obsługę zmianową OC i zdolność maszyny do pracy. Co prawda skrót OC należy kojarzyć z obsługą codzienną, która w przypadku SMG jest wykonywana w jednym dniu na 4 zmianach, dlatego w nazwie jest zmianowa. Taka eksploatacja (4 zmianowa), kiedy zdarzają się przypadki kiedy maszyna przyjmowana jest przez drugiego operatora bez jej wyłączenia wymaga dobrej organizacji służb mających utrzymać ich ciągłość pracy.

Drugim z podprocesów jest „naprawa maszyn dołowych”, który przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Podproces „Naprawa maszyn dołowych”. Opracowanie własne na podstawie [1,3]

Należy tu rozróżnić dwa przypadki w postępowaniu operatora po stwierdzeniu nieprawidłowości w działaniu maszyny. Pierwszy polegający na tym, że przekazuje informację o niesprawności maszyny do sztygara odpowiedniego oddziału. Poprzedzone ono powinno być wstępną diagnozą dokonaną przez obsługującego maszynę. Bo przecież to on jest osobą posiadającą odpowiednie kwalifikacje (potwierdzające jego wiadomości i umiejętności), uprawniające go do obsługi danego typu maszyn SMG czyli np. na ładowarek kopalnianych ŁK. Operator stwierdzając uszkodzenie maszyny w pierwszej

kolejności powinien dokonać oceny, czy on sam nie jest w stanie dokonać naprawy (brak pracy rozrusznika, bo np. za słaby styk na klemie akumulatora). W przypadku trafnej diagnozy powinien tę naprawę dokonać (dokręcając zacisk) i następnie dokonać testowania pracy maszyny (czy rozrusznik pracuje). W drugim przypadku operator informuje on szygara o konieczności naprawy maszyny przez elektryka na komorze naprawczej, lub też o konieczności ewentualnego wezwania serwisu fabrycznego. W podziemnych zakładach górniczych bardzo częstą praktyką staje się funkcjonowanie komór naprawczych z serwisantami odpowiednich producentów SMG np. Zanamu.

Kolejnym podprocesem w procesie utrzymaniu ruchu maszyn dołowych jest ich konserwacja SMG, która dokonywana jest według harmonogramu przeglądów. Podstawowym kryterium ich wykonania jest, albo ilość motogodzin przepracowanych przez maszynę, lub ilość przejechanych kilometrów. Przy jej przeprowadzeniu pracownik utrzymania ruchu korzysta z dokumentacji techniczno-ruchowej, własnej wiedzy i doświadczenia, jako determinantów jej prawidłowego wykonania. Bardzo często ten podproces realizowany jest przez pracowników zatrudnionych w serwisach firm będących producentem danej maszyny. Podczas obsługi OT-1 dodatkowo sprawdza się stan całej instalacji elektrycznej oraz stan akumulatora, przewodów, izolacji i połączeń (w razie potrzeby usuwa się usterki). Sprawdzenie stanu rozrusznika i alternatora oraz przeprowadzenie ich konserwacji dokonuje się przy przeglądzie OT-2 np. po 500 przepracowanych godzinach (dane dotyczą wozu odstawczego).

4. PROPOZYCJA DZIAŁAŃ POZWALAJĄCYCH NA POPRAWĘ STANU ISTNIEJĄCEGO

W zakładach górniczych prowadzących eksploatację podziemną stosowane są wszystkie ze znanych strategii eksploatacyjnych oczywiście w różnym stopniu. Od działania na zasadzie reakcji, gdzie naprawie podlega to, co uległo uszkodzeniu (szybkie naprawy), poprzez pracę zaplanowaną, typu wymiana części zgodnie z harmonogramem, poprzez działania prewencyjne oparte na zapobieganiu awariom maszyn (do codziennej praktyki należy w pierwszej kolejności diagnostyka maszyn polegająca na badaniu rzeczywistego stanu maszyny, jej elementu a następuje podjęcie decyzji i wykonywanie określonych czynnościach eksploatacyjnych). Jednocześnie stosowana jest również strategia oparta o działanie proaktywne oparte na znajomości stanu technicznego maszyn, a ukierunkowane na przewidywanie awarii. W celu właściwego zarządzania procesem utrzymania ruchu w zakładach należących do kombinatu miedziowego (Zakładach Wzbogacania Rudy oraz podziemnych zakładach górniczych) aktualnie wdrażany jest proces zwany kompleksowym utrzymaniem ruchu TPM (Total Productive Maintenance) [7]. To właściwe zarządzanie UR jest możliwe poprzez eliminację sześciu podstawowych strat jakim są: awarie sprzętu, długi czas przeobrażenia i regulacji, bezczynność i drobne przestoje, obniżona prędkość pracy

niska jakość produkowanych części i zmniejszoną wydajność. Wprowadzenie TPM jest trudne i czasochłonne bo przezbroid nie tylko należy maszyny ale przede wszystkim pracownika w swoim postepowania w stosunku do obsługiwanej maszyny, bo to przecież on jest najbliżej i najwięcej czasu przebywa w jej otoczeniu. Wymaga on od pracowników wykształcenia nowego zestawu umiejętności koniecznych dla zapewnienia ciągłości pracy maszyn w oparciu o TPM [9].

Kolejną propozycją w celu poprawy stanu istniejącego jest wdrażany w KGHM Polska Miedź już od kilku lat system CMMS [2, 8] komputerowego wspomaganie prowadzenia eksploatacji maszyn i urządzeń, który stanowi bazę danych. Można stwierdzić, że wdrożenie narzędzi informatycznych do śledzenia zużycia technicznego maszyn i urządzeń wraz z kosztami ich użytkowania staje się codziennością w oddziałach górniczych KGHM Polska Miedź S.A [1]. Mając informacje wprowadzane do systemu komputerowego CMMS na bieżąco prowadzona jest analiza awaryjności maszyn dołowych, ale przede wszystkim można w oparciu o te dane prawidłowo zarządzać parkiem maszynowym. Do tej pory każde zdarzenie dotyczące SMG gromadzone było w tzw. książkach pracy maszyny (każda maszyna posiada na dole kopalni osobną książkę do dokonywania wpisów dotyczących eksploatacji maszyny). Wprowadzanie danych na temat stanu SMG dokonywane jest przez sztygarów bezpośrednio w podziemnych komorach naprawczych maszyn dołowych. Informacje te są dostępne w sieci komputerowej w programie CMMS dla uprawnionych pracowników (kierowników oddziałowych, głównego mechanika, magazynierów czy głównych specjalistów ds. maszyn dołowych).

Zarówno CMMS jak i TPM pozwalają na właściwą eksploatację SMG pod różnymi względami. Te dwa rozwiązania wdrażane umożliwiają z jednej strony większe zaangażowanie pracowników (operatorów) w proces utrzymania ruchu maszyn górniczych a z drugiej strony baza danych o dotychczasowej eksploatacji maszyn (nie ma potrzeby przeglądania wpisów w książkach pracy maszyny, których w ciągu cyklu życia jednej maszyny zaprowadzono np. 9) w zasięgu ręki od razu po kliknięciu wybranej opcji w oprogramowaniu CMMS. Aktualnie coraz większe znaczenie odgrywa niezawodność parku maszynowego. Można ją zwiększyć poprzez odpowiednią statystyczną analizę danych dotyczących eksploatowanych maszyn, a do której zakład ma w każdej chwili dostęp poprzez system CMMS. W dzisiejszych czasach dąży się do stanu, gdzie w firmie osiagającej całkowitą efektywność parku maszynowego powyżej 80%, tylko około 10 % czasu poświęcane będzie na dokonywanie napraw. Utrzymanie ruchu powinno być, zatem skierowane na dokonywanie odpowiednio zaplanowanych prac zapobiegawczych.

LITERATURA

- [1] <http://kgm.com/pl>, dostęp 10.01.2016
- [2] <http://szkolaeksploatacji.pl/sesja/techniki-i-technologie-przyszlosci-w-procesie-pozyskiwania-surowcow-mineralnych-informatyka-w-gornictwie-praktyka-dzialania/> 10.01.2016
- [3] https://mfiles.pl/pl/index.php/Proces_utrzymania_ruchu 10.01.2016

- [4] JASIŃSKI M., JASIŃSKA E., JANIK S., JASIŃSKI Ł., *Warunki eksploatacyjno-wydobywcze determinantem awaryjności maszyn dolowych - zarys problematyki*, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Organizacja i Zarządzania, Zeszyt 66, Poznań 2015
- [5] JASIŃSKI M, informacje zebrane podczas rozmów z przedstawicielami KGHM Polska Miedź S.A. na podstawie porozumienia w sprawie pisania pracy doktorskiej.
- [6] KAWECKA-ENDLER A., *Wykład monograficzny na studium doktoranckim, Wielokryterialne projektowanie systemów wytwórczych*, Poznań, 20.11.2015
- [7] KGHM, *Materiały szkoleniowe przy wdrożeniu TPM w Zakładach Wzbogacania Rudy*, za Nakajima S.: Introduction to TPM. Productivity Press, Portland Oregon 1998; Shirose K.: TPM for workshop leaders. Productivity Press, Portland Oregon 1992.; Praca zbiorowa.: TPM development program, Portland Oregon 1998
- [8] KGHM Polska Miedź S.A., *Strategia KGHM Polska Miedź S.A. na lata 2015-2020 z perspektywą do 2040 roku*
- [9] PH, JB, *Miejsce na wszystko, wszystko na miejscu*, Miedziak, Gazeta pracowników KGHM Polska Miedź S.A., środa 17 września 2014, s.4.

ANALYSIS OF MAINTENANCE PROCESS OF SELF-PROPEL UNDERGROUND MACHINE

This paper presents maintenance significant to mining plant production process. Article contain the description of copper mining plant production process with the placement of maintenance. Article contain the examples of sub-processes of maintenance of self-propel underground machines. The examples are process of underground machine preparation, reparation maintenance. Article contains the description of appliance of CMMS and TPM system as an assessment for everyday life in mining plant.



**Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej są do nabycia w księgarni,
plac Grunwaldzki 13, 50-377 Wrocław, budynek D-1 PWr., tel. 71 320 29 35
Prowadzimy sprzedaż wysyłkową: zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl**

ISBN 978-83-7493-003-1