

## Zygryd GŁOWACZ<sup>1</sup>, Antoni ZDROJEWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA W KRAKOWIE, KATEDRA MASZYN ELEKTRYCZNYCH

<sup>2</sup>AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA W KRAKOWIE, KATEDRA AUTOMATYKI NAPĘDU I URZĄDZEŃ PRZEMYSŁOWYCH

# Modelowanie matematyczne silnika komutatorowego prądu stałego i układu zasilania dla diagnostyki

Dr hab. inż. Zygfryd GŁOWACZ

Ur. 05.07.1949; związek z AGH: od 1967; dyscyplina: elektrotechnika; kierunki i specjalności: maszyny elektryczne, układy elektromechaniczne energoelektronika, informatyka; miejsce pracy i stanowisko: AGH, Wydział Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Elektroniki, Katedra Maszyn Elektrycznych, Al. Mickiewicza 30, 30 - 059 Kraków, prof. nadzwyczajny AGH, zastępca kierownika Katedry.



e-mail: glowacz@agh.edu.pl

Mgr inż. Antoni ZDROJEWSKI

Ur. 01.09.1948; związek z AGH: od 1967; dyscyplina: elektrotechnika; kierunki i specjalności: automatyka napędu, energoelektronika, sterowanie mikroprocesorowe; miejsce pracy i stanowisko: AGH, Wydział Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Elektroniki, Katedra Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych, Al. Mickiewicza 30, 30 - 059 Kraków, starszy wykładowca AGH.



e-mail: zdrojton@agh.edu.pl

### Streszczenie

Komutator silnika prądu stałego jest aproksymowany obwodami rezystancyjnymi. Parametry obwodów przyjmują skrajnie różne wartości w zależności od położenia kąowego wirnika. Utworzony dla celów diagnostyki model matematyczny silnika komutatorowego jest zbiorem sztywnych nieliniowych równań różniczkowych. Badania eksperymentalne zostały wykonane dla specjalnie zaprojektowanego silnika prądu stałego z uzwojeniem pętlicowym w wirniku. Konstrukcja silnika pozwala zrealizować przerwę jednego zezwoju wirnika i zwarcie dwóch grup zezwojów wirnika. W badaniach uszkodzenia realizowano oddzielnie i jednocześnie przy zasilaniu twornika z generatora napięcia stałego i z przekształtnika tyrystorowego. Z obliczeń i pomiarów wynika, że prądy wzbudzenia i twornika, jak również napięcia wzbudzenia i twornika zawierają informację o stanie silnika i mogą być zastosowane jako sygnały diagnostyczne.

**Słowa kluczowe:** silnik komutatorowy prądu stałego, stany awaryjne, diagnostyka.

## Mathematical Modelling of Commutator DC Motor and Supply System for Diagnostics

### Abstract

The commutator of dc motor is approximated by equivalent resistance circuit. Extremely different values are assigned to circuit parameters depending on the angular position of the rotor. Created for diagnostics purposes mathematical model of commutator motor is a set of stiff nonlinear differential equations. Experimental investigations were carried out for specially designed dc motor with loop winding in rotor. Construction of this motor enables to realize the breaking of one rotor coil and shorting of two groups of rotor coils. In investigations the defects have been realized separately and simultaneously for armature powered from constant voltage generator and thyristor converter. From calculations and measurements implies that field and armature currents, as well as field and armature voltages contain information about the motor state and can be applied as diagnostic signals.

**Keywords:** commutator dc motor, failure states, diagnostics.

## 1. Wstęp

Silniki komutatorowe prądu stałego zapewniają dużą dokładność i szybkość działania, jak również wysoką sprawność energetyczną, ale wymagają precyzyjnego zaprojektowania, wykonania i testowania [3, 5]. Analiza silników komutatorowych z uwzględnieniem wszystkich istotnych elementów jest ważnym problemem technicznym ponieważ koszt uruchomienia silnika zależy od stosunku nakładów na teoretyczne i eksperymentalne badania [1], [4, 6]. W literaturze [2] maszyna komutatorowa była rozważana jako generator, w tym referacie jako silnik.

## 2. Matematyczny model silnika komutatorowego prądu stałego

Matematyczny model silnika prądu stałego utworzono przy następujących założeniach:

- obwód magnetyczny jest liniowy,
- szczelina powietrzna jest równomierna,
- strumień osiowy jest pominięty,
- prądy wirowe nie są uwzględniane,
- komutator silnika jest aproksymowany obwodami o zmiennych parametrach.

Silnik prądu stałego jest opisany równaniami:

$$\frac{d}{dt}(\mathbf{C}^T \mathbf{L}_b \mathbf{C} \mathbf{i}) + \mathbf{C}^T \mathbf{R}_b \mathbf{C} \mathbf{i} = \mathbf{u} \quad (1)$$

$$J \frac{d}{dt} \omega + D \omega = T_e - T_l \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \varphi = \omega \quad (3)$$

$$T_e = \frac{1}{2} (\mathbf{i})^T \frac{\partial}{\partial \varphi} (\mathbf{C}^T \mathbf{L}_b \mathbf{C} \mathbf{i}) \quad (4)$$

$$\mathbf{L} = \mathbf{C}^T \mathbf{L}_b \mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{L}_a & \\ & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{i}_b = \mathbf{C} \mathbf{i} \quad (6)$$

$$\mathbf{C}^T \mathbf{u}_b = \mathbf{u} \quad (7)$$

Indukcyjności zależą od położenia wirnika i mogą być wyznaczone metodą elementów skończonych i później rozwinięte w szeregi Fouriera. Mniejszą dokładność uzyskuje się, gdy indukcyjności są obliczone przy zastosowaniu funkcji przewodności szczeliny powietrznej:

$$\lambda = \frac{\mu_0}{\delta'} \left[ 1 + \sum_{\nu=1}^N a_\nu \cdot \cos(\nu \cdot y) \right] \left[ 1 + \sum_{\rho=1}^N b_\rho \cdot \cos \left( \rho \left( y - \varphi + \frac{\text{tg} \gamma}{r} z \right) \right) \right] \quad (8)$$

$$\delta' = k_C k_{Fe} \delta \quad (9)$$

Rezystancje komutatora  $R_{am}, R_{bm}, m = 1, \dots, K$  zależą od położenia wirnika. Rezystancje te dla silnika z pętlicowym uzwojeniem w wirniku są określone następującymi formułami:

$$R_{am}(t) = h \left( \left( \varphi(t) + \varphi_3 + (m-1)\varepsilon + \frac{\pi}{2p} \right) \left( \text{mod} \frac{2\pi}{p} \right) - \varphi_3 \right) \quad (10)$$

$$R_{bm}(t) = h \left( \left( \varphi(t) + \varphi_3 + (m-1)\varepsilon + \frac{3\pi}{2p} \right) \left( \text{mod} \frac{2\pi}{p} \right) - \varphi_3 \right) \quad (11)$$

dla  $m \in \{1, 2, \dots, K\}$

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{K}, \quad \varphi_3 = 0.5 \left( \frac{b}{r_c} + \frac{2\pi}{K} \right) \quad (12)$$

Funkcja  $f(\varphi)$  jest określona następującą zależnością:

$$h(\varphi) = \min \left\{ \max \left\{ \left( \frac{R_z - R_p}{\varphi_2 - \varphi_1} \right) \left( |\varphi| - \varphi_1 \right), R_p \right\}, R_z \right\} \quad (13)$$

gdzie:  $|\varphi|$  - bezwzględna wartość funkcji,  $\varphi_1 = \eta_1 \varphi_3$ ,  $\varphi_2 = \eta_2 \varphi_3$ ,  $\eta_1, \eta_2$  - współczynniki.

Zwarcie (częściowe i pełne) zezwojów wirnika jest realizowane w modelu poprzez modyfikowanie parametrów obwodu komutatora:

$$R_{bz}(t) = R_z - R_x \cdot 1(t - t_o), \quad R_x \in [0, R_z] \quad (14)$$

Uwikłana metoda całkowania była zastosowana do rozwiązania równań różniczkowych modelu. Parametry symulacji określono w zależności od czasu trwania zaburzenia i wymaganej dokładności obliczeń. Spośród zmiennych modelu matematycznego jako najbardziej charakterystyczne wielkości wybrano: prąd i napięcie wzbudzenia, prąd i napięcie twornika oraz prędkość wirnika. Zbiór awarii zawierał: zwarte i przerwane zezwoje (częściowo i całkowicie). Badania eksperymentalne zostały przeprowadzone dla specjalnie zaprojektowanego silnika prądu stałego z pętlicowym uzwojeniem w wirniku. Konstrukcja tego silnika pozwalała zrealizować przerwanie jednego zezwoju wirnika oraz zwarcie dwóch grup zezwojów. Każda grupa zawierała trzy zezwoje wirnika. W badaniach te uszkodzenia były realizowane pojedynczo i jednocześnie. Uzwojenie twornika silnika prądu stałego było zasilane z generatora napięcia stałego, jak i z przekształtnika tyrystorowego. W obu powyższych przypadkach uzwojenie wzbudzenia zasilano z generatora napięcia stałego. Założono, że każda grupa zezwojów była zwarta przez rezystancję  $R_{bz} = 0.044 \Omega$  wewnątrz przedziału  $[0, 0.1]$  s. Dane znamionowe i projektowe badanego silnika były następujące:  $P_N = 13$  kW,  $U_N = 75$  V,  $I_N = 200$  A,  $U_{fN} = 220$  V,  $n_N = 700$  rpm,  $J = 0.9$  kgm<sup>2</sup>,  $D = 0$  Nms/rad,  $K = 126$ ,  $R_c = 0.0064 \Omega$ ,  $R_f = 50 \Omega$ ,  $R_{r1} = R_{r2} = \dots = R_{rK} = 0.00093 \Omega$ . Pomiary zostały wykonane przy użyciu 16-bitowego przetwornika A/C.

W równaniach modelu i na rysunkach przyjęto następujące oznaczenia:

$t, t_o$  - czas i chwila wystąpienia awarii,

$\omega$  - kątowa prędkość wirnika,

$\varphi$  - kątowe położenie wirnika,

$p$  - liczba par biegunów,

$K$  - liczba wycinków komutatora,

$C$  - macierz więzów,

$L_b$  - macierz indukcyjności gałęziowych,

$R_b$  - macierz rezystancji gałęziowych,

$u_b$  - wektor napięć źródłowych gałęziowych,

$i_b$  - wektor prądów gałęziowych,

$L$  - macierz indukcyjności oczkowych,

$u$  - wektor napięć źródłowych oczkowych,

$i$  - wektor prądów oczkowych,

$T_e$  - moment elektromagnetyczny,

$T_l$  - moment obciążenia,

$L_o$  - indukcyjność własna sieci zasilającej,

$L_{r1}, \dots, L_{rK}$  - indukcyjności własne zezwojów wirnika,

$L_c$  - indukcyjność własna uzwojenia komutacyjnego,

$L_f$  - indukcyjność własna uzwojenia uzwojenia wzbudzenia,

$M_{ij}, i = 1, \dots, K+2, j = 1, \dots, K+2, i \neq j$  - indukcyjności wzajemne,

$R_o$  - rezystancja sieci zasilającej,

$R_{r1}, \dots, R_{rK}$  - rezystancje zezwojów wirnika,

$R_c$  - rezystancja uzwojenia komutacyjnego,

$R_f$  - rezystancja uzwojenia wzbudzenia,

$R_{a1}, \dots, R_{aK}, R_{b1}, \dots, R_{bK}$  - rezystancje komutatora,

$R_{bz}$  - rezystancja zwierająca wycinki komutatora,

$R_p$  - minimalna wartość rezystancji:  $R_{a1}, \dots, R_{aK}, R_{b1}, \dots, R_{bK}$ ,

$R_z$  - maksymalna wartość rezystancji:  $R_{a1}, \dots, R_{aK}, R_{b1}, \dots, R_{bK}$  oraz  $R_{bz}$ ,

$b$  - szerokość szczotki,

$r_c$  - promień komutatora,

$r$  - średni promień szczeliny powietrznej,

$\gamma$  - kąt skosu żłobków wirnika,

$\mu_o$  - przenikalność magnetyczna,

$y, z$  - współrzędne silnika,

$N$  - liczba składników szeregu Fouriera,

$k_C$  - współczynnik Cartera,

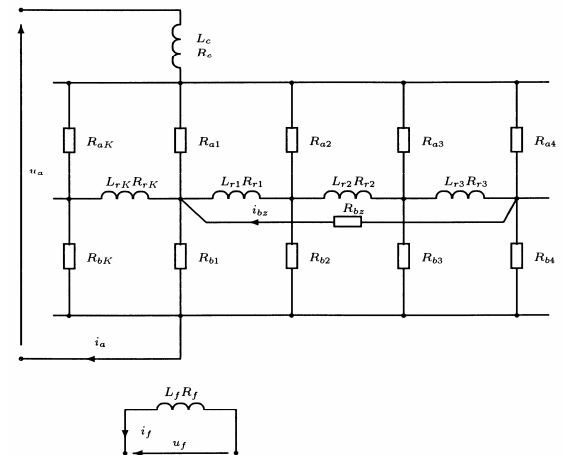
$k_{Fe}$  - współczynnik wypełnienia żelazem,

$J$  - moment bezwładności wirnika,

$D$  - współczynnik tłumienia.

### 3. Silnik zasilany z generatora napięcia stałego

Silnik prądu stałego zasilany z generatora napięcia stałego jest przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Równoważne obwody silnika prądu stałego ze zwartymi trzema zezwojami wirnika zasilanego z generatora napięcia stałego

Fig. 1. Equivalent circuits of commutator dc motor with shorted three rotor coils powered from constant voltage generator

Macierze  $L_a, R_b, C$  i wektory  $i, u$  dla silnika prądu stałego zasilanego z generatora napięcia stałego mają postać:

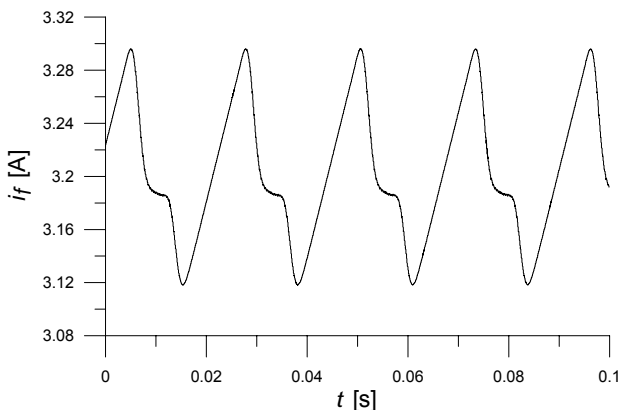
$$L_a = \begin{bmatrix} L_{r1} & M_{12} & \dots & M_{1K} & M_{1c} & M_{1f} \\ M_{21} & L_{r2} & \dots & M_{2K} & M_{2c} & M_{2f} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_{K1} & M_{K2} & \dots & L_{rK} & M_{Kc} & M_{Kf} \\ M_{c1} & M_{c2} & \dots & M_{cK} & L_c & M_{cf} \\ M_{f1} & M_{f2} & \dots & M_{fK} & M_{fc} & L_f \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\mathbf{R}_b = \text{diag} (R_{r1}, R_{r2}, \dots, R_{rK}, R_c, R_f, R_{a1}, \dots, R_{aK}, R_{b1}, \dots, R_{bK}, R_{bz}) \quad (16)$$

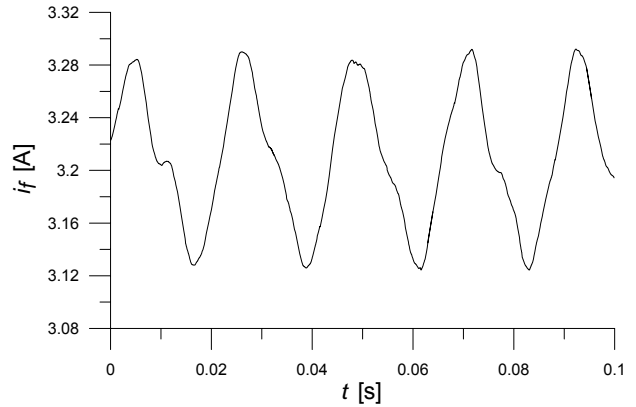
$$\mathbf{i} = \begin{bmatrix} i_{a1} \\ i_{a2} \\ \vdots \\ i_{aK} \\ i_a \\ i_f \\ i_{b1} \\ i_{b2} \\ \vdots \\ i_{b(K-1)} \\ i_{bz} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ u_a \\ u_f \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \hline 1 & 0 & \dots & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -1 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -1 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & -1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & -1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Rezultaty obliczeń i pomiarów prądu wzbudzenia w warunkach awaryjnych (zwarcia trzech pętlcowych zezwojów wirnika) są przedstawione na rys. 2 i 3.



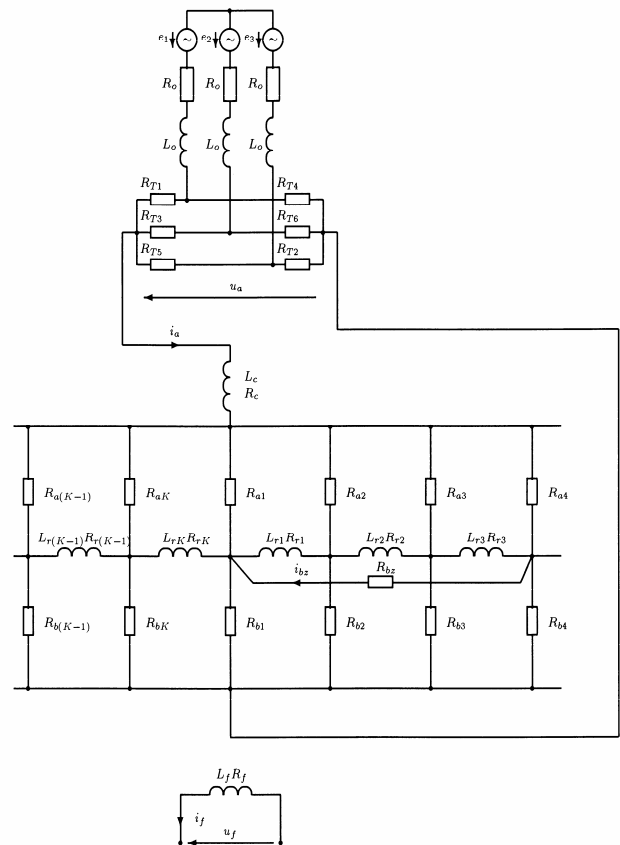
Rys. 2. Prąd wzbudzenia w warunkach zwarcia trzech zezwojów wirnika (wynik obliczeń)  
Fig. 2. Field current in conditions of shorting of three rotor coils (calculation result)



Rys. 3. Prąd wzbudzenia w warunkach zwarcia trzech zezwojów wirnika (wynik pomiarów)  
Fig. 3. Field current in conditions of shorting of three rotor coils (measurement result)

#### 4. Silnik zasilany z przekształtnika tyrystorowego

Silnik prądu stałego zasilany z przekształtnika tyrystorowego jest przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4. Równoważne obwody silnika prądu stałego z trzema zwartymi zezwojami wirnika zasilanego z przekształtnika tyrystorowego

Fig. 4. Equivalent circuits of commutator dc motor with shorted three rotor coils powered from thyristor converter

Macierze  $\mathbf{L}_a$ ,  $\mathbf{R}_b$ ,  $\mathbf{C}$  i wektory  $\mathbf{i}$ ,  $\mathbf{u}$  dla silnika prądu stałego zasilanego z przekształtnika tyrystorowego mają postać:



## 5. Wnioski

Utworzony model matematyczny silnika prądu stałego jest użyteczny w diagnostyce. Różnice pomiędzy wynikami pomiarów i obliczeń są spowodowane niedokładnym opisem zjawisk w komutatorowym silniku prądu stałego. Obliczenia wykonane w oparciu o ten model matematyczny wykazują, że zwarte i przerwane zezwoje wirnika wpływają na sygnały silnika. W przypadku zwarcia zezwojów wirnika pojawiają się znaczne odkształcenia prądu i napięcia wzbudzenia, prądu i napięcia twornika oraz prędkości wirnika. Efekty procesów komutacyjnych są widoczne w przebiegach czasowych rozważanych sygnałów. Spektra prądów wzbudzenia i twornika, jak również napięcie wzbudzenia i twornika, wyznaczone na podstawie obliczonych przebiegów czasowych zawierają harmoniczne związane ze zwartymi i przerwany zezwojami. Podstawowa harmoniczna zależy od prędkości wirnika. Ponadto w tych spektrach pojawiają się harmoniczne, których częstotliwość i amplituda są zależne od układu zasilania. Analiza spektralna wykonana na podstawie zmierzonych pomiarowo dostępnych sygnałów potwierdza, że prąd wzbudzenia jest najlepszym sygnałem diagnostycznym dla oceny stanu silnika prądu stałego.

## 6. Literatura

- [1] T. Glinka: Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle. Wyd. KOMEL, Katowice, 1998.
- [2] Z. Głowacz: Mathematical model and simulation investigation of d.c. machine with equalizing connections in emergency states. International Conference on Electrical Machines (ICEM 2000), Espoo, 2000, pp. 1447-1451.
- [3] P.C. Krause: Analysis of Electrical Machines. McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.
- [4] M. Noga, Z. Głowacz, J. Rusek: Mathematisches Modell der Gleichstrommaschine zur Berechnung der Ströme in den Läuferwicklungen. 6. Wissenschaftliche Konferenz: Rationalisierung im Maschinenbau durch Schlüsseltechnologien, Fachtagung 8: Elektroauto-matisierungstechnik, TH Zwickau, 1989, pp. 167-170.
- [5] W. Rams: The Commutator Machine as a System of the Cyclic Constant Structure, International Conference on Electrical Machines (ICEM 2004), Cracow, 2004, 6 pages, CD.
- [6] R. Schröder, K. Oberreil: Neues Verfahren zur Berechnung der Kommutierung von Gleichstrommaschinen unter Berücksichtigung der Bürstenübergangswiderstände. Archiv für Elektrotechnik, Vol. 73, No. 2, 1990, pp. 69-79.

*Artykuł recenzowany*

## INFORMACJE

# Studia Podyplomowe

Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach  
Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki  
ogłasza nabór na Dwusemestralne Zaoczne Studia Podyplomowe

### Organizacja i Akredytacja Laboratoriów

#### Cel studiów

Celem studiów jest pogłębienie wiedzy w zakresie systemu jakości laboratoriów wzorcujących, problematyki zapewnienia jakości wyposażenia pomiarowego, walidacji metod pomiarowych, metodyki tworzenia budżetów niepewności i opracowania wyników badań zgodnie z obowiązującymi przepisami oraz przygotowanie słuchaczy do samodzielnej pracy w zakresie organizowania i prowadzenia laboratorium akredytowanego. Przedstawione zostaną podstawy automatyzacji pomiarów i organizacji systemów pomiarowych. Problemy analizowane będą na przykładach, z uwzględnieniem niezbędnych podstaw teoretycznych oraz aktualnych przepisów.

#### Profil uczestnika studiów

Studia przeznaczone są dla pracowników o różnych specjalnościach, zajmujących się organizacją laboratoriów oraz wykonywaniem badań i kalibracji w zakładach, firmach lub jednostkach naukowo-badawczych. Studia adresowane są do osób z wyższym wykształceniem zajmujących się realizacją pomiarów i opracowywaniem wyników badań w różnych dziedzinach. Ich ukończenie pozwoli uczestnikom na podwyższenie kwalifikacji niezbędnych do efektywnego opracowywania i dokumentowania procesów pomiarowych. Absolwent studiów otrzymuje Świadectwo Ukończenia Studiów Podyplomowych w zakresie objętym nazwą studiów.

Studia prowadzone są na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, w systemie zaocznym w każdą sobotę lub w co drugi weekend (do wyboru) przez dwa semestry. Zajęcia prowadzone są przez nauczycieli akademickich ze stopniem co najmniej doktora oraz przez zaproszonych Gości o uznanym dorobku i autorytecie. Studia obejmują 200 godzin dydaktycznych. Rozpoczęcie Studiów nastąpi po skompletowaniu odpowiedniej liczby kandydatów na dany rodzaj studiów.

### Warunki przyjęcia na studia:

1. Na studia mogą być przyjęte osoby posiadające dyplom magistra lub inżyniera, posiadające podstawową wiedzę z zakresu wybranych studiów.
2. Warunkiem uruchomienia studiów jest przyjęcie odpowiedniej liczby Kandydatów na podstawie złożonych dokumentów.
3. Dokumenty składane przez Kandydatów:
  - Kwestionariusz Osobowy – Karta Zgłoszenia (do pobrania ze strony internetowej). Przyjmowane na bieżąco: e-mailem, pocztą lub osobiście.
  - Kopia/odpis dyplomu ukończenia studiów wyższych.
4. Kandydaci odbywają rozmowę kwalifikacyjną. Termin ustalony i podany zostanie po skompletowaniu odpowiedniej liczby Kandydatów.
5. Po spełnieniu warunków Kandydaci wnoszą opłatę zgodnie z zawartą umową w wysokości 3 600 złotych za cały okres studiów.

### Organizator studiów:

Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, tel. 032 237 12 41, fax: 032 237 20 34, e-mail: re2@polsl.pl lub anna.kropka@polsl.pl, <http://www.wega.elekt.polsl.gliwice.pl>

### Kierownik studiów:

Prof. dr hab. inż. Tadeusz SKUBIS