

**Włodzimierz Zieliński**  
**Politechnika Lubelska, Lublin**

## **DIAGNOSTYKA PROCESÓW ISKRZENIOWYCH KOMUTATOROWYCH MASZYN PRĄDU STAŁEGO W CZASIE RZECZYWISTYM**

### **REAL-TIME DIAGNOSIS OF THE D.C COMMUTATOR MACHINES' SPARKING PROCESSES**

**Abstract:** A new method of commutation diagnosing based on the investigation of processes that appear at the junction between a brush and a commutator, as well as the results of the investigation are presented in the present article. Additional sparking was observed when disordering the commutation poles. Simultaneously, based on the author's original method, real-time research was conducted with the use of a brushes' sparking analyser connected to a computer system. The numeric research results were presented in the form of two cases' characteristics, the former being the case of non-sparking commutation area immaterially exceeded, the latter – of so-called commutation fire on the commutator's circuit formed by the sparks.

#### **1. Wstęp**

Typową maszynę prądu stałego wyposażono w dodatkowe uzwojenia nawinięte na bieguny komutacyjne (przy czym liczba zwojów każdego z nich odpowiadała liczbie zwojów uzwojenia biegunów komutacyjnych przed modyfikacją) i przystosowano je do zasilania ze źródła prądu stałego bądź prądu przemiennego o nastawialnej amplitudzie i częstotliwości. W tak przygotowanym modelu fizycznym maszyny prądu stałego uzyskano możliwość rozstrajania biegunów komutacyjnych, co pozwoliło na przeprowadzenie badań procesów iskrzeniowych przy wykorzystaniu wspomagającego komputerowo analizatora iskrzenia [4], [5], [6].

#### **2. Układ pomiarowy badania procesów iskrzeniowych maszyny komutatorowej prądu stałego**

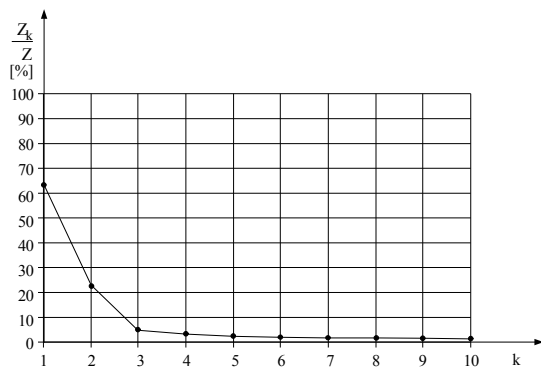
Do badań użyto maszynę prądu stałego o następujących danych znamionowych: typ PCMb54b; moc  $P_N = 7.5$  kW; napięcie twornika  $U_N = 220$  V; prąd twornika  $I_N = 39.2$  A; prąd wzbudzenia  $I_{fN} = 0.71$  A; prędkość obrotowa  $n_N = 24.17$  1/s; współczynnik pokrycia szczotkowego  $\beta = 2.9$ ; liczba działek komutatora  $K = 81$ ;  $u = 3$  [8]. Dla badanej maszyny przeprowadzono przed pomiarami kontrolę i nastawienie: położenia szczotek w osi neutralnej, stabilności kontaktu ślizgowego oraz docisku szczotek do komutatora. Ponadto przeprowadzono pomiar geometrii komutatora. Stwierdzono, że „bicie komutatora” wynikające z

zniekształcenia owalnego oraz nierówności działek na obwodzie komutatora były nieznaczne w związku z czym względy mechaniczne nie wpływały w sposób istotny na powstawanie iskrzenia. Stwierdzono jednak, że kilka działek wyróżniało się drobną deformacją, która powodowała pomiarowo zweryfikowaną nieco zwiększoną intensywność iskrzenia, co świadczy o dużej selektywności układu pomiarowego odkształceń komutatora i iskrzenia indywidualnych działek [8].

#### **3. Wyniki badań**

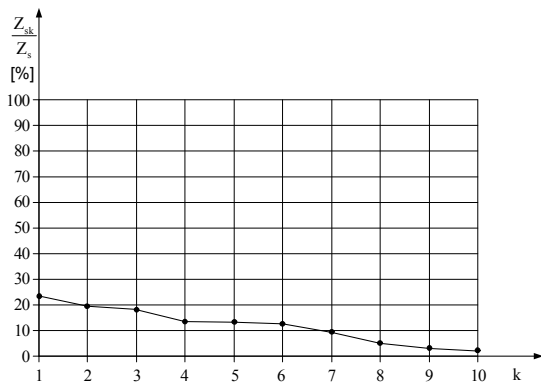
Wykorzystując wspomagany komputerowo optoelektroniczny analizator iskrzenia oraz zaproponowane matematyczne wskaźniki do oceny iskrzenia przeprowadzono badania własności komutacyjnych maszyny prądu stałego przy zasilaniu symulującym warunki zasilania z przekształtników prostownikowych [3], [9]. Przy wygładzonym prądzie twornika zasilono dodatkowe uzwojenie biegunów komutacyjnych prądem przemiennym sinusoidalnym o nastawianej częstotliwości [2]. Rozstrajając bieguny komutacyjne dodatkowym prądem  $+I_{dod}$ ,  $-I_{dod}$  obserwowano wzrokowo iskrzenie szczotek. Równolegle prowadzono badania w czasie rzeczywistym oryginalną metodą opracowaną przez autora za pomocą analizatora iskrzenia szczotek współpracującego z systemem komputerowym. Badania wykonano dla dwóch przypadków. Dla przypadku nieznacznego przekroczenia obszaru komutacji

beziskrowej, kiedy pojawiają się szybko gaśnięce pojedyncze iskry, oraz dla przypadku isker tworzących na obwodzie komutatora tzw. ogień komutatorowy. Typowy rozkład iskrzenia w poszczególnych klasach intensywności isker (od  $k=1$  do  $k=10$ ) przy pracy maszyny w pobliżu obszaru komutacji beziskrowej (przykład pierwszy) przedstawia rys.3.1.



Rys. 3.1. Rozkład iskrzenia w poszczególnych klasach iskrzenia ( $k=1$ - iskrzenie minimalne,  $k=10$  - iskrzenie maksymalne),  $Z_k$ - liczba isker o  $k$ -tej intensywności iskrzenia,  $Z$ - liczba wszystkich isker na komutatorze w cyklu pomiarowym

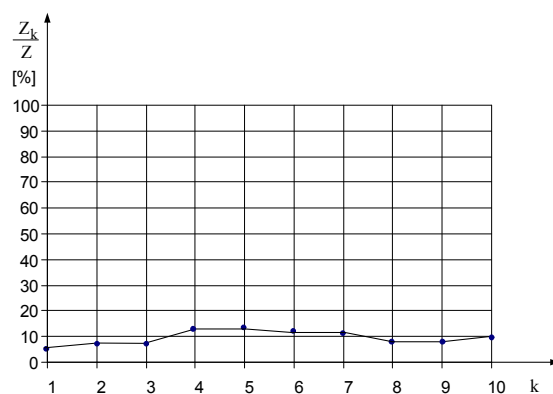
Rozkład ważonych wartości iskrzenia w poszczególnych klasach w pobliżu obszaru komutacji beziskrowej przedstawia rys.3.2.



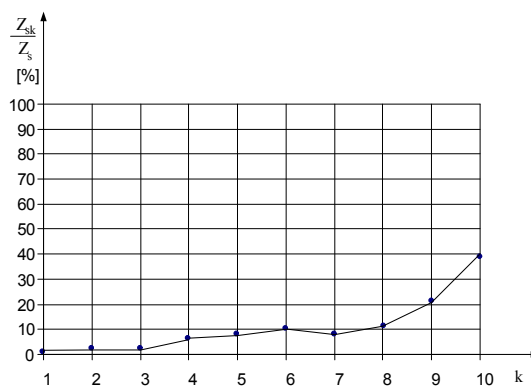
Rys. 3.2. Rozkład ważonych wartości iskrzenia w poszczególnych klasach iskrzenia ( $k=1$  iskrzenie minimalne,  $k=10$ - iskrzenie maksymalne),  $Z_{sk}$ - ważona liczba isker o  $k$ -tej intensywności iskrzenia,  $Z_s$ - ważona liczba wszystkich isker na komutatorze w cyklu pomiarowym

Badania iskrzenia przeprowadzono również dla przypadku gdy na komutatorze pojawia się ogień komutatorowy (przykład drugi). Poja-

wienie się ognia na komutatorze w trakcie eksploatacji klasyfikuje daną maszynę do natychmiastowej naprawy względnie remontu. Dlatego też badania laboratoryjne prowadzono z zachowaniem wszelkiej ostrożności oraz krótkotrwale nie dopuszczając do trwałego uszkodzenia komutatora. Wyniki badań w postaci wykresów przedstawiono na rys.3.3. oraz rys.3.4.



Rys. 3.3. Rozkład iskrzenia w poszczególnych klasach iskrzenia ( $k=1$ - iskrzenie minimalne,  $k=10$ -iskrzenie maksymalne),  $Z_k$  - liczba isker o  $k$ -tej intensywności skrzyenia,  $Z$ - liczba wszystkich isker na komutatorze w cyklu pomiarowym



Rys. 3.4. Rozkład ważonych wartości iskrzenia w poszczególnych klasach iskrzenia ( $k=1$ - iskrzenie minimalne,  $k=10$ - iskrzenie maksymalne),  $Z_{sk}$ - ważona liczba isker o  $k$ -tej intensywności iskrzenia,  $Z_s$ - ważona liczba wszystkich isker na komutatorze w cyklu pomiarowym

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można korzystając z zależności (17), (18), oraz (19) przedstawionych w poprzednim artykule obliczyć przykładowe wskaźniki oceniające

iskwienie badanej maszyny charakteryzujące jej stan techniczny:

$Z' = 2.111$  - średnia częstość iskrzenia wszystkich działek [%],

$Z_{sk} = 4,426$  - średnia intensywność iskry (klasa k),

$Z'_{sk} = 9.567$  - średnia intensywność iskrzenia całego komutatora [%].

Przedstawione wskaźniki pozwalają wnioskować, że stan techniczny badanej maszyny nie budzi zastrzeżeń, a świadczy o prawidłowej pracy węzła szczotka-komutator.

Przy prawidłowym zestrojeniu biegunów komutacyjnych (komutacja prostoliniowa względnie lekko przyspieszona) w pobliżu obszaru komutacji beziskrowej, iskrwienie szczotek występuje głównie na krawędziach zbiegających szczotek i charakteryzuje się niewielkimi ilościami iskier o małej intensywności iskrzenia. Natomiast przekroczenie tego obszaru powoduje znaczny wzrost liczby iskier o dużej intensywności iskrzenia. Dotyczy to zarówno badań przy zasilaniu twornika składową stałą jak i składową przemienną prądu. Przy częstotliwościach składowej przemienną prądu twornika do 100 Hz przekroczenie obszaru komutacji beziskrowej ujawnia się praktycznie tak samo jak przy prądzie stałym. W pobliżu obszaru komutacji beziskrowej proste wartości średnie są zbliżone do średnich wartości ważonych ponieważ liczba iskier o dużej intensywności jest znikoma. Natomiast przy znacznym przekroczeniu tego obszaru otrzymuje się odpowiednio rozkłady świadczące, że wskaźniki iskrzenia otrzymane z średnich ważonych bardziej odpowiadają wizualnej ocenie iskrzenia. W konfrontacji obserwacji wzrokowej szczotek iskrzących z pomiarami analizatorem iskrzenia okazało się, że wskaźniki iskrzenia szczotek powinny być wyrażone przez średnie ważone intensywności iskier wszystkich działek komutatora. Podobnie wskaźniki iskrzenia indywidualnych działek powinny być wyrażone przez średnie ważone intensywności iskier działki w czasie cyklu pomiarowego. Stwierdzono, że metoda oceny zagrożenia iskrzenia szczotek przy zasilaniu prądem pulsującym bazująca na przybliżonej metodzie badania trajektorii punktu pracy na tle obszaru statycznej beziskrowej komutacji

sprawdza się dość dobrze przy zastosowaniu szczotek o współczynniku pokrycia  $\beta > 1$ .

Na podstawie pomiarów przeprowadzonych analizatorem iskrzenia oraz obliczeń dla przypadku pulsującego prądu twornika można wyznaczyć dla kolejno przemieszczających się pod nieruchomą szczotką działek komutatora ilość zerwań prądów o wartości większej od wartości przyjętej granicznie, a określonej wzrokowo przez obserwatora w analogicznym cyklu pomiarowym. Stwierdzono zwiększone iskrwienie działki w przypadku dużych wartości zerwanego prądu twornika na końcu okresu komutacji w zezwoju komutującym samodzielnie i o zwiększonej indukcyjności końcowej.

#### 4. Diagnostyka serwisowa maszyn w systemie eksperckim

W przypadku uszkodzenia silnika prądu stałego w wyniku nieprawidłowej komutacji oraz mogące jeszcze wcześniej wystąpić uszkodzenia szczotek, a nade wszystko komutatora maszyny elektrycznej są niebezpieczne dla ciągłej poprawnej pracy maszyny. Należy także pamiętać, że maszyny te są istotnym, podstawowym elementem układu napędowego sprzęgniętego z maszyną roboczą, od której wymagana jest możliwie największa niezawodność pracy. Wszelkie przestoje wywołane awariami maszyny roboczej powodują znaczne straty ekonomiczne. Mogą też wywołać zagrożenie dla bezpieczeństwa pracy personelu.

Diagnostyczny system pomiarowy oparty na analizatorze iskrzenia przedstawiony powyżej jest systemem w pełni cyfrowym pozwalającym na wykonywanie pomiarów w czasie rzeczywistym. Również obliczenia dzięki zastosowaniu przetwarzania komputerowego otrzymywane są bezpośrednio po wykonaniu badań. Wykorzystanie matematycznych wskaźników iskrzenia zaproponowanych przez autora pozwala na natychmiastową diagnozę badanej maszyny odnośnie stanu technicznego (kondycji). Dane te mogą być przesłane drogą radiową, łączem internetowym do zakładowego centrum serwisowego, względnie eksperckiego centrum serwisowego producenta. Pozwala to na ciągle monitorowanie jej parametrów, prowadzenie dokumentacji serwisowej oraz postawienie natychmiastowej właściwej diagnozy umożliwiającej uniknięcie nieodwracalnego zniszczenia maszyny tym samym znacznych strat ekonomicznych.

W związku z malejącymi kosztami układów elektronicznych możliwa jest w chwili obecnej miniaturyzacja przedstawionego systemu diagnostycznego do skali procesora jednocukładowego i fabryczne montowanie w każdej maszynie, co może być ekonomicznie uzasadnione, gdyż wartość maszyny jest nieporównywalnie większa od wartości modułu diagnostycznego.

## 5. Podsumowanie

Reasumując, przedstawiony układ dla pracującego w czasie rzeczywistym analizatora iskrzenia pozwala na: pełną automatyzację pomiarów i rejestrację ich wyników, monitorowanie bezkontaktowe, kontrolę identyfikacji poszczególnych działek komutatora, kontrolę prędkości obrotowej w czasie trwania cyklu pomiarowego, kontrolę identyfikacji cykli pomiarowych, wybór czasu trwania cyklu pomiarowego, ocenę iskrzenia całej maszyny poprzez obliczenia prostych i ważonych wartości sygnałów w czasie trwania cyklu pomiarowego, ocenę iskrzenia poszczególnych działek komutatora poprzez obliczenia prostych i ważonych wartości sygnałów świetlnych, kontrolę iskrzenia każdej indywidualnej działki w każdym kolejnym obrocie i w czasie cyklu pomiarowego, kontrolę geometrii komutatora, niezależność od zewnętrznych zakłóceń jak np. od pola elektromagnetycznego powstającego przy przerywaniu obwodu szczotka-komutator, stopnia natężenia oświetlenia zewnętrznego, wizualizację wyników, odpowiednią dokładność, pełną mobilność, niezawodną transmisję wyników badań do eksperckiego centrum serwisowego. Przedstawiona powyżej analiza matematyczna oraz zaproponowana metoda pomiarowa daje możliwość względnego zobiektywizowania oceny jakości komutacji.

## 6. Literatura

- [1]. T. Glinka: *Własności komutacyjne maszyn prądu stałego przy pulsującym bądź szybkozmieniającym się prądzie twornika*. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej Nr 414. Gliwice 1974.
- [2]. W. Paszek, T. Glinka: *Zagadnienia komutacji w stanach ustalonych maszyn prądu stałego zasilanych z układów tyrystorowych*. Zeszyty problemowe KOMEL Nr 10/1974, Katowice.
- [3]. Wł. Zieliński: *Komputerowe algorytmy do oceny iskrzenia rejestrowanego za pomocą optoelektronicznego analizatora iskrzenia*. Maszyny Elektryczne, Zeszyty problemowe KOMEL Nr 66/2003, Katowice – maj 2003r. s. 125-128.

- [4]. Wł. Zieliński: *Monitorowanie iskrzenia styku szczotka-komutator w maszynach prądu stałego za pomocą optoelektronicznego analizatora iskrzenia*. Maszyny Elektryczne, Zeszyty problemowe KOMEL Nr 65/2003, Katowice – maj 2003r. s. 149-152.
- [5]. Wł. Zieliński: *Computer Indicators of Sparkling in DC Commutating Machines*. IV International Conference NEET'2005. Zakopane –21-24 June 2005r. s. 301-303.
- [6]. Wł. Zieliński: *Metody monitorowania styku szczotka-komutator przy pomocy optoelektronicznego analizatora iskrzenia w maszynach komutatorowych prądu stałego*. Miesięcznik Naukowo-Techniczny „Pomiary, Automatyka, Kontrola”, 3/2005, s. 14-16.
- [7]. Wł. Zieliński: *Komputeryjne algorytmy dla oceny iskrzenia, rejestracji i pomiaru iskrzenia przy pomocy optoelektronicznego analizatora iskrzenia*. „ENERGETYKA” 4/2005. Mińsk. s. 41-46.
- [8]. Wł. Zieliński: *Kontrola iskrzenia kontakta szczotka – kolektor w maszynach postajannego toka pomoszczu optoelektronicznego analizatora iskrzenia*. „ENERGETYKA” 5/2005. Mińsk. s. 52-58.
- [9]. Wł. Zieliński: *Analiza matematyczna wyników iskrzenia maszyn komutatorowych prądu stałego*. Maszyny Elektryczne, Zeszyty problemowe KOMEL Nr 72/2005, Katowice – maj 2005r. s. 253-256.
- [10]. Wł. Zieliński W.: *Przykład zastosowania optoelektronicznego analizatora iskrzenia do badania komutacji maszyn prądu stałego*. Maszyny elektryczne. Zeszyty problemowe 2006. Katowice 2006.s.213-216.