

Włodzimierz Zieliński
Politechnika Lubelska, Lublin

DIAGNOSTYKA KOMUTATORÓW MASZYN ELEKTRYCZNYCH PRĄDU STAŁEGO

DIAGNOSTIC TESTING OF COMMUTATORS OF ELECTRIC DIRECT CURRENT MACHINES

Abstract: The paper presents a concept of realization of an expert system for monitoring and diagnostics of electric direct current commutator machines. A perceptron regulator of the current of commutation poles is sometimes incapable of eliminating or reducing the sparking of brushes. This may be due to mechanical or other additional factors, which were not taken into consideration in the process of instruction of the artificial neural network ANN described in the previous paper. That is why the application of a damage detector will allow to control states of emergency or machine failures and to inform the system operator or shut down.

1. Wstęp

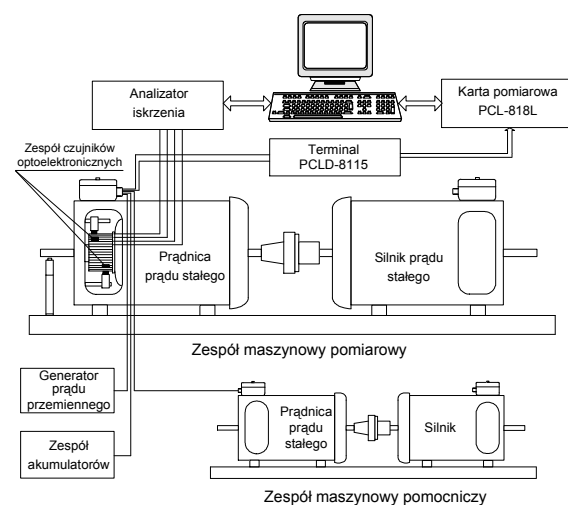
Dotychczasowy brak zadawalającego technicznie systemu diagnostycznego komutatorów elektrycznych maszyn komutatorowych prądu stałego spowodował podjęcie przez autora prac, mających na celu opracowanie metody i nowoczesnego stanowiska badawczego opartego na systemach komputerowych. Metoda ta polega na sprzęgnięciu systemu komputerowego wspomagającego proces pomiarowy, analizatora iskrzenia oraz eksperckiego centrum serwisowego. Układ pomiarowy zaproponowany przez autora pracuje bezdotykowo względem badanej maszyny [2].

2. Opis stanowiska laboratoryjnego

Stanowisko laboratoryjne składa się z zespołu maszynowego pomiarowego (badanej prądnicy oraz silnika napędowego), pomocniczego zespołu maszynowego umożliwiającego regulację dodatkowego prądu biegunów komutacyjnych badanej maszyny, zespołu czujników optoelektrycznych połączonych z analizatorem iskrzenia, generatora prądu przemiennego o regulowanej amplitudzie i częstotliwości, zespołu akumulatorów oraz systemu komputerowego wraz z urządzeniami peryferyjnymi (przetworniki prądowe, terminal oraz karta pomiarowa).

Rozstrajając bieguny komutacyjne wykonano pomiary statycznej strefy komutacji beziskrowej, równocześnie rejestrując przy pomocy analizatora pojawiające się iskrzenie styku szczotek z działkami komutatora. Badania przeprowadzono dla dwóch przypadków: przy zasilaniu maszyny wyładzonym prądem twornika

(zasilanie akumulatorowe) oraz przy zasilaniu składową przenienną (zasilanie z generatora prądu przemiennego). Pomiary wykonano dla słabego iskrzenia oraz ognia komutatorowego. Schemat ideowy stanowiska laboratoryjnego przedstawiono na rys.1 [4], [5].



Rys. 1. Schemat ideowy stanowiska laboratoryjnego badania procesów iskrzeniowych w maszynach komutatorowych prądu stałego

3. Badanie procesów iskrzeniowych w maszynie komutatorowej prądu stałego przy pomocy komputerowego systemu diagnostycznego

Przedmiotem badań procesów iskrzeniowych była maszyna prądu stałego typu *PCMb54b* o następujących danych znamionowych: moc znamionowa $P_N = 7.5$ kW, napięcie znamio-

nowe $U_N = 220$ V, znamionowy prąd twornika $I_N = 39.2$ A, znamionowy prąd wzbudzenia $I_{fN} = 0.71$ A, znamionowa prędkość obrotowa $n_N = 1450$ obr/min, współczynnik pokrycia szczotek $\beta = 2.9$, liczba działek komutatora $K = 81$.

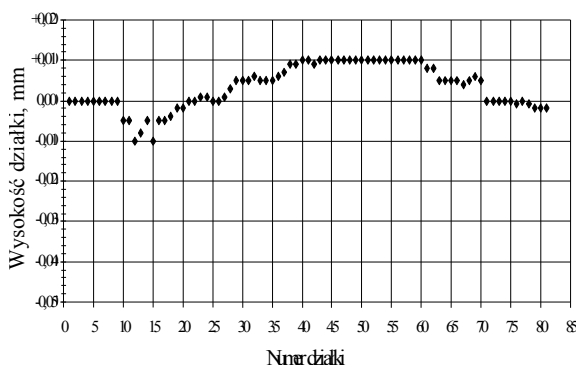
Typową maszynę prądu stałego wyposażono w cztery dodatkowe uzwojenia, nawinięte na bieguny komutacyjne. Liczba zwojów tych uzwojeń odpowiadała liczbie zwojów uzwojeń biegunów komutacyjnych przed modyfikacją. Uzwojenia te zasilano ze źródła prądu przemiennego o nastawialnej amplitudzie i częstotliwości (generatora) symulującym warunki zasilania z przekształtników prostownikowych. W tak przygotowanym modelu fizycznym maszyny prądu stałego uzyskano możliwość rozstrajania biegunów komutacyjnych, co pozwoliło na przeprowadzenie badań diagnostycznych komutatora.

4. Wyniki badań

Przed pomiarami iskrzenia w badanej maszynie przeprowadzono kontrolę i nastawienie: położenia szczotek w osi neutralnej, stabilności kontaktu ślizgowego oraz docisku szczotek do komutatora.

Ponadto sprawdzono geometrię komutatora z punktu widzenia nierówności każdej działki. Do tego celu wykorzystano sygnał z czujnika pojemnościowego połączonego z przetwornikiem deformacji.

Pomiary wykonano przy prędkości znamionowej.



Rys.2. Obraz geometrii obwodu komutatora badanej maszyny: d - oznacza odchyłkę od wymiaru znamionowego (różnica pomiędzy działkami „zapadniętymi”, „wystającymi” a „normalnymi”), x - numer działki komutatora

Stwierdzono, że tzw. „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 generowanie iskrzenia przez działki. Stwierdzono jednak, że kilka działek wyróżniało się nieznaczną deformacją, która powodowała iskrzenie.

Wykorzystując analizator iskrzenia oraz zaproponowane wskaźniki oceny iskrzenia przeprowadzono badania własności komutacyjnych maszyny prądu stałego. Przy wygładzonym prądzie twornika zasilono dodatkowe uzwojenie biegunów komutacyjnych prądem przemiennym sinusoidalnym o regulowanej amplitudzie i częstotliwości.

Dla częstotliwości poniżej 100 Hz przekroczenie statycznego obszaru komutacji beziskrowej przez przebieg indukcji ujawnia się praktycznie tak samo, jak przy prądzie stałym, co potwierdzono za pomocą analizatora iskrzenia. Następną próbę wykonano przy zasilaniu obwodu twornika prądem, zawierającym składową stałą i przemienną. Rozstrojenie biegunów komutacyjnych występuje tu na skutek wpływu inercji w poprzecznym obwodzie magnetycznym (lite jarzmo stojana). Odpowiada to nieznacznemu przekroczeniu granicy statycznej iskrzenia.

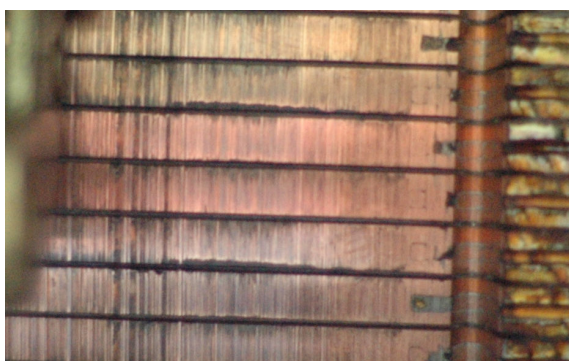
Trajektoria punktu pracy we współrzędnych $\phi_{k(r)}$, $I_{(r)}$ jest odkształconą elipsą, która przecina i przekracza statyczną granicę obszaru beziskrowej komutacji [1].

Rozstrajając bieguny komutacyjne dodatkowym prądem $+I_{dod}$, $-I_{dod}$ obserwowano wzrokowo iskrzenie szczotek, klasyfikując je do odpowiedniego stopnia iskrzenia z pięciostopniowej skali [1]. 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 gasnące pojedyncze iskry, sklasyfikowane wzrokowo jako stopień $I\frac{1}{4}$ (rys.3)

oraz dla przypadku iskier, tworzących na obwodzie komutatora tzw. ogień komutatorowy stopień 3 (rys.4.).



Rys. 3. Widok działek komutatora maszyny prądu stałego przy słabym iskrzeniu szczotek



Rys. 4. Widok działek komutatora maszyny prądu stałego przy silnym iskrzeniu szczotek

Opracowane specjalistyczne oprogramowanie w oparciu o matematyczne wskaźniki iskrzenia umożliwiło szybką obróbkę pomiarów i ich wizualizację w postaci numerycznej oraz graficznej [3].

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można, korzystając z wybranych przykładowo wskaźników iskrzenia ocenić stan techniczny badanego komutatora:

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

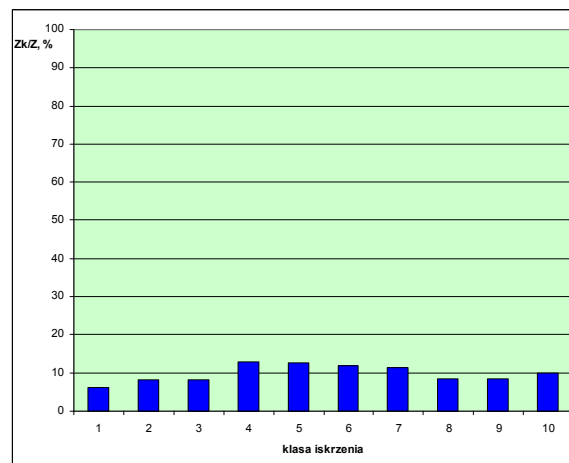
$Z''_{sk} = 4,426$ [klasa] - średnia intensywność iskry,

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

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

Typowy rozkład iskrzenia w poszczególnych klasach intensywności iskier (od $k=1$ do $k=10$) przy pracy maszyny w pobliżu obszaru komutacji beziskrowej przedstawia widok komutatora rys.3. i rys.4.

Przy prawidłowym zestrojeniu biegunów komutacyjnych (komutacja prostoliniowa, względnie lekko przyspieszona) w pobliżu obszaru komutacji beziskrowej, iskrzenie szczotek występuje głównie na krawędziach zbiegających szczotek i charakteryzuje się niewielkimi liczbami iskier o małej intensywności iskrzenia (rys.5.) [3], [5], [6].

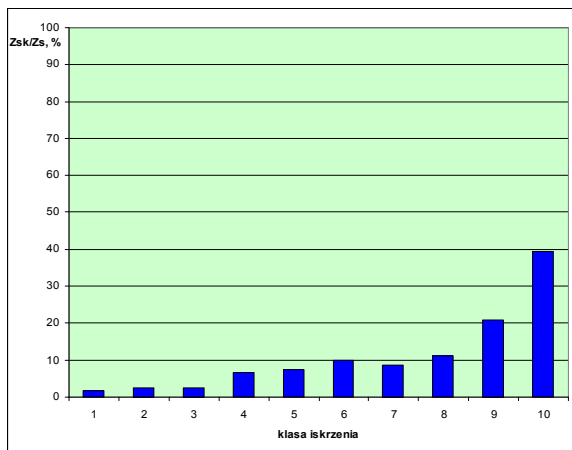


Rys. 5. Nomogram iskrzenia w poszczególnych klasach ($k=1$ - iskrzenie minimalne, $k=10$ - iskrzenie maksymalne), Z_k - liczba iskier o k -tej intensywności iskrzenia, Z - liczba wszystkich iskier na komutatorze w cyklu pomiarowym

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 (rys.3.), (rys.4.).

Przy częstotliwościach składowej przemienniej prądu twornika do 100 Hz przekroczenie obszaru komutacji beziskrowej ujawnia się praktycznie tak samo, jak przy prądzie stałym.

Obliczenia prostych i ważonych wartości sygnałów intensywności iskier w czasie trwania cyklu pomiarowego przedstawiono w postaci nomogramów, a wskaźniki iskrzenia poszczególnych działek komutatora wynikające z prostych i ważonych średnich wartości przedstawiono numerycznie.



Rys. 6. Nomogram ważonych wartości iskrzenia w poszczególnych klasach ($k = 1$ - iskrzenie minimalne, $k = 10$ - iskrzenie maksymalne), Z_{sk} - ważona liczba iskier o k - tej intensywności iskrzenia, Z_s - ważona liczba wszystkich iskier na komutatorze w cyklu pomiarowym

5. Wnioski

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 ze 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 działek powinny być wyrażone przez średnie ważone intensywności iskier działki w czasie cyklu pomiarowego. Stwierdzono, że metoda oceny zagrożenia iskrzenia szczotek przy zasilaniu prądem przemiennym, bazująca na przybliżonej metodzie badania trajektorii punktu pracy na tle obszaru statycznej beziskrowej komutacji, sprawdza się dość dobrze przy zastosowaniu szczotek o szerokości większej od podziałki komutatorowej.

Na podstawie pomiarów przeprowadzonych analizatorem iskrzenia oraz obliczeń dla przypadku przemiennego prądu twornika, można z pewnym przybliżeniem wyznaczyć dla kolejno przemieszczających się pod nieruchomą szczotką działek komutatora ilość zerwań prądów o wartości większej od wartości przy-

jętej granicznie, a określonej wzrokowo przez obserwatora w analogicznym cyklu pomiarowym. Stwierdzono zwiększone iskrzenie działki w przypadku dużych wartości zerwanego prądu twornika na końcu okresu komutacji w zezwoju komutującym samodzielnie i o zwiększonej indukcyjności końcowej.

Dotychczasowe badania procesów iskrzeniowych w maszynach komutatorowych prądu stałego ograniczają się zgodnie z referencjami do oceny wzrokowej iskrzenia i przypisaniu jej do odpowiedniego stopnia przez operatora do odpowiedniej skali. Skala ta jest skalą nieliniową, nie uwzględniającą stanu oświetlenia zewnętrznego, jak również prędkości obrotowej maszyny elektrycznej prądu stałego. Tych wad pozbawiony jest system diagnostyczny oparty o analizator iskrzenia.

6. Literatura

- [1]. Glinka T.: *Własności komutacyjne maszyn prądu stałego przy pulsującym bądź szybkozmieniającym się prądzie twornika*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Nr 414. Gliwice 1974.
- [2]. Zieliński W.: *Metody monitorowania styku szczotka-komutator przy pomocy optoelektronicznego analizatora iskrzenia w maszynach komutatorowych prądu stałego*. Miesięcznik Naukowo-Techniczny „Pomiary, Automatyka, Kontrola”, 3/2005.
- [3]. Zieliński W.: *Analiza procesów iskrzenia w maszynach komutatorowych prądu stałego w oparciu o matematyczne wskaźniki iskrzenia*. Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy KOMEL, Maszyny Elektryczne, Zeszyty problemowe Nr 77/2007, Katowice – maj 2007.
- [4]. Zieliński W.: *Diagnostyka procesów iskrzeniowych komutatorowych maszyn prądu stałego w czasie rzeczywistym*. Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy KOMEL, Maszyny Elektryczne, Zeszyty problemowe Nr 77/2007, Katowice – maj 2007.
- [5]. Zieliński W.: *System diagnostyki procesów iskrzeniowych w elektrycznych maszynach komutatorowych prądu stałego*. PAN. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej. Lublin 2007.
- [6]. Zieliński W.: *Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do redukcji stopnia iskrzenia w elektrycznych maszynach komutatorowych prądu stałego*. Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy KOMEL, Maszyny Elektryczne, Zeszyty problemowe Nr 80/2008, Katowice – maj 2008.