

Włodzimierz Zieliński
Politechnika Lubelska, Lublin

ANALIZA PROCESÓW ISKRZENIA W MASZYNACH KOMUTATOROWYCH PRĄDU STAŁEGO W OPARCIU O MATEMATYCZNE WSKAŹNIKI ISKRZENIA

THE ANALYSIS OF THE D.C. COMMUTATOR MACHINES' SPARKING PROCESSES ON THE BASIS OF THE MATHEMATICAL SPARKING INDICATORS

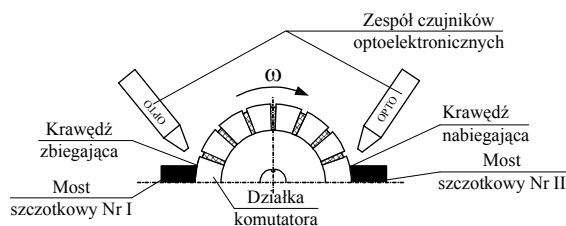
Abstract: The paper presents mathematical apparatus in the form of indicators that makes possible to describe sparking processes forming at the moving contact of brush bridges with commutator bars at the 'oncoming' and 'leaving' sides in direct-current commutating machines. The formulated mathematical dependences make possible to observe and analyze sparking distribution of each single commutator bar in the course of a whole measuring cycle or during an arbitrarily selected revolution or a few successive revolutions of the commutator within the measuring cycle. Boundary values of the proposed sparking indicators have also been given.

1. Wstęp

Jednym z głównych czynników mających istotny wpływ na własności komutacyjne maszyn prądu stałego, a jednocześnie prawidłową komutację jest styk szczotki z komutatorem. Nieprawidłowa praca tego styku powoduje nadmierne iskrzenie, które zużywa zarówno komutator jak i szczotki, a świadczy o złej komutacji, a tym samym wpływa na nieprawidłową pracę maszyny komutatorowej prądu stałego. Dotychczasowy brak zadawalającego technicznie systemu pomiarowego oceny iskrzenia spowodował podjęcie przez autora prac mających na celu opracowanie nowoczesnej komputerowej metody pomiarowej oceny iskrzenia. Metoda ta polega na sprzęgnięciu systemu komputerowego wspomagającego proces pomiarowy z analizatorem iskrzenia oraz obróbką matematyczną wyników w oparciu o zaproponowane matematyczne wskaźniki iskrzenia.

2. Matematyczne wskaźniki oceny iskrzenia szczotek

Przyjmując założenia upraszczające pomijające przyczyny powstawania iskrzenia na styku szczotka-komutator (rys.2.1), do oceny iskrzenia można zaproponować szereg matematycznych wskaźników. Wskaźniki odnoszą się do przetworzonych sygnałów świetlnych przez czujniki optoelektroniczne, a odzwierciedlających iskry powstające na styku krawędzi szczotki zbiegającej względnie nabiegającej z komutatora.



Rys. 2.1. Komutator maszyny prądu stałego wraz z zespołem czujników optoelektronicznych

W maszynie prądu stałego o liczbie działek komutatora K i liczbie par biegunów p , w czasie trwania cyklu pomiarowego na wszystkich działkach komutatora może wystąpić Z iskiei.

$$Z = Z_I + Z_{II} + \dots + Z_{2p} \quad (1)$$

Przy czym każda ze szczotek (jednoimiennych mostów szczotkowych) może wyemitować (np. most nr I.) Z_I iskiei:

$$Z_I = Z_{Iz} + Z_{In} \quad (2)$$

przy czym:

Z_{Iz} - jest liczbą iskiei wyemitowaną z krawędzi zbiegającej szczotki,
 Z_{In} - jest liczbą iskiei wyemitowaną z krawędzi nabiegającej szczotki.

$$Z_{Iz} = Y_{1z} + Y_{2z} + Y_{3z} + \dots + Y_{xz\dots} + Y_{Kz}$$

$$Z_{In} = Y_{1n} + Y_{2n} + Y_{3n} + \dots + Y_{xn\dots} + Y_{Kn}$$

(3)

gdzie:

Y_{xz} - jest liczbą wszystkich iskier dowolnej działki komutatora krawędzi zbiegającej,
 Y_{xn} - jest liczbą wszystkich iskier dowolnej działki komutatora krawędzi nabiegającej.

Jeżeli intensywności iskier strumienia światła generowanego przez iskry dowolnej działki zostaną zdyskretyzowane na dziesięć klas w zakresie $k = 1$ do $k = 10$ wówczas suma iskier tej działki wynosi:

$$\begin{aligned} Y_{xz} &= d_{xz,1} + d_{xz,2} + \dots + d_{xz,k} + \dots + d_{xz,10} \\ Y_{xn} &= d_{xn,1} + d_{xn,2} + \dots + d_{xn,k} + \dots + d_{xn,10} \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie:

$d_{xz,k}$; $d_{xn,k}$ - jest liczbą działki x-tej o k-tej intensywności iskrzenia (krawędzi zbiegającej, nabiegającej).

Ważona liczba iskier krawędzi zbiegającej $Y_{xz,sk}$ jest określona:

$$Y_{xz,sk} = k d_{xz,k} \quad (5)$$

Ważona liczba iskier krawędzi nabiegającej $Y_{nx,sk}$ jest określona:

$$Y_{nx,sk} = k \cdot d_{xn,k} \quad (6)$$

pod warunkiem liniowej zależności przetworzonych sygnałów iskrzenia od intensywności iskier.

Liczba iskier Z_{zk} i Z_{nk} o k-tej intensywności jest określona przez

$$\begin{aligned} Z_{z,k} &= d_{1z,k} + d_{2z,k} + \dots + d_{xz,k} + \dots + d_{Kz,k} \\ Z_{n,k} &= d_{1n,k} + d_{2n,k} + \dots + d_{xn,k} + \dots + d_{Kn,k} \end{aligned} \quad (7)$$

Połączenie liczby iskier, ich intensywności oraz rodzaju krawędzi pozwala zdefiniować macierz Z jako:

$$\begin{aligned} [Z] &= [(Y_{1z} + Y_{1n}), (Y_{2z} + Y_{2n}), \dots, (Z_{Kz} + Z_{Kn})]^T = \\ &= \left[\sum_{k=1}^{10} (d_{1zk} + d_{1nk}), \dots, \sum_{k=1}^{10} (d_{Kzk} + d_{Knk}) \right]^T \end{aligned} \quad (8)$$

Macierz Z informuje o liczbie iskier każdej indywidualnej działki komutatora dając tym samym przegląd lokalnego rozkładu iskier na obwodzie komutatora w cyklu pomiarowym.

Zatem:

$$Z = \sum_{x=1}^K \sum_{k=1}^{10} (d_{xz,k} + d_{xn,k}) = \sum_{x=1}^K (Y_{xz} + Y_{xn}) \quad (9)$$

Analogicznie wykorzystując zależność (8) można zdefiniować podobną macierz Z_{sk} łączącą ważone liczby iskier każdej indywidualnej działki komutatora z intensywnością iskier:

$$\begin{aligned} [Z_{sk}] &= [(Z_{1zsk} + Z_{1nsk}), \dots, (Z_{Kzsk} + Z_{Knk})]^T = \\ &= \left[\sum_{k=1}^{10} k(d_{1zk} + d_{1nk}), \dots, \sum_{k=1}^{10} k(d_{Kzk} + d_{Knk}) \right]^T = \\ &= \left[\sum_{k=1}^{10} (Y_{1zsk} + Y_{1nsk}), \dots, \sum_{k=1}^{10} (Y_{Kzsk} + Y_{Knk}) \right]^T \end{aligned} \quad (10)$$

Macierz Z_{sk} informuje o liczbie iskier o ważonej intensywności każdej indywidualnej działki komutatora w cyklu pomiarowym.

Sumując elementy dowolnego wiersza macierzy Z otrzymuje się liczbą iskier dowolnej x-tej działki w czasie cyklu pomiarowego T :

$$Y_x = \sum_{k=1}^{10} (d_{xz,k} + d_{xn,k}) \quad (11)$$

Średnią częstość iskrzenia dowolnej działki w czasie cyklu pomiarowego można wyznaczyć z zależności:

$$Y'_x = \frac{1}{T \cdot n} \cdot Y_x \quad (12)$$

gdzie:

n - jest prędkością obrotową maszyny,

T - jest czasem trwania cyklu pomiarowego.

Jeżeli liczbę iskier dowolnej działki x komutatora odniesie się do całkowitej liczby iskier jaka wystąpiła w czasie trwania cyklu pomiarowego, to otrzymuje się udział działki x w wytworzeniu iskier w cyklu pomiarowym

$$Q_x = \frac{Y_x}{Z} \quad (13)$$

przy czym:

$$\sum_{x=1}^K Q_x = 1$$

Analogicznie sumując elementy dowolnego wiersza macierzy Z_{sk} otrzymuje się liczbę iskier

o ważonej intensywności dowolnej działki komutatora w cyklu pomiarowym:

$$Y_{x,sk} = \sum_{k=1}^{10} k \cdot d_{x,k} \quad (14)$$

Umowną średnią intensywność iskry jednej dowolnej działki można zdefiniować zależnością:

$$Y'_{x,sk} = \frac{Y_{x,sk}}{Y_x} \quad (15)$$

Natomiast

$$Q_{x,sk} = \frac{Y_{x,sk}}{Z} \quad (16)$$

jest miarą udziału jednej dowolnej działki w wytworzeniu sumarycznej liczby iskier o ważonej intensywności podczas trwania cyklu pomiarowego.

Średnia częstość iskrzenia wszystkich działek komutatora wyznaczona w czasie cyklu pomiarowego:

$$Z' = \frac{Z}{K \cdot T \cdot n} \quad (17)$$

Średnią intensywność iskry całego komutatora w cyklu pomiarowym można wyznaczyć:

$$Z_{sk} = \frac{Z_{sk}}{Z} \quad (18)$$

Korzystając z zależności (17) i (18) można analogicznie określić średnią intensywność iskrzenia całego komutatora wyznaczoną w czasie cyklu pomiarowego:

$$Z'_{sk} = Z' \cdot Z''_{sk} = \frac{Z_{sk}}{K \cdot T \cdot n} \quad (19)$$

Pierwszy czynnik Z' w zależności (19) określa względne „obciążenie iskrowe” komutatora, drugi czynnik Z'' określa średnią intensywność iskry.

3. Wartości graniczne wskaźników

Korzystając z zależności (12) i (15) można wyznaczyć graniczne częstości iskrzenia dowolnej działki komutatora x w odniesieniu do wszystkich łączów działki z obserwowaną szczotką:

$$0 \leq Y'_{x,sk} = Y'_x \cdot Y''_{x,sk} \leq 10 \quad (20)$$

ponieważ

$$0 \leq Y'_x = \frac{Y_x}{T \cdot n} \leq 1 \quad (21)$$

$$1 \leq Y''_{x,sk} = \frac{Y_{x,sk}}{Y_x} \leq 10 \quad \text{przy } Y_x \neq 0 \quad (22)$$

Korzystając z zależności (13) oraz (15) można otrzymać ważne wartości graniczne udziału działki x w odniesieniu do całkowitej liczby iskier:

$$0 \leq Q_{x,sk} = Q_x \cdot Y''_{x,sk} \leq 10 \quad (23)$$

ponieważ

$$0 \leq Q_x = \frac{Y_x}{Z} \leq 1 \quad (24)$$

$$\text{oraz } 1 \leq Y''_{x,sk} = \frac{Y_{x,sk}}{Y_x} \leq 10 \quad \text{przy } Y_x \neq 0 \quad (25)$$

Średnią częstość iskrzenia wszystkich działek komutatora można wyznaczyć korzystając z zależności (17) oraz (19):

$$0 \leq Z'_{sk} = Z' \cdot Z''_{sk} \leq 10 \quad (26)$$

ponieważ zgodnie z zależnością (17) Z' zawiera się w przedziale:

$$0 \leq Z' = \frac{Z}{K \cdot T \cdot n} \leq 1 \quad (27)$$

oraz zgodnie z (19) przy założeniu, że $Z \neq 0$

$$0 \leq Z''_{sk} = \frac{Z_{sk}}{Z} \leq 10 \quad (28)$$

4. Podsumowanie

Przedstawione wskaźniki matematyczne oraz zaproponowana metoda pomiarowa daje możliwość względnego zobiektywizowania oceny jakości komutacji.

Można wyznaczyć doświadczalnie korelacje między wskaźnikiem iskrzenia zdefiniowanym jako średnia ważona intensywności iskier a umownym subiektywnym stopniem iskrzenia zgodnie z referencjami wytwórcy. Najprościej jest dostosować skalę klasy intensywności iskrzenia ($k=1$ do $k=10$) do iskrzenia występującego przy rozstrojeniu biegunów komutacyjnych („ogień komutatorowy”) odpowiada $k=10$.

W świetle doświadczeń autora wydaje się, że liniowa skala iskrzenia wg referencji zachod-

nich (stopnie od 0 do 5) lepiej odpowiada skali średniej ważonej intensywności iskier całego komutatora (uzyskanej z analizatora iskrzenia), niż nieliniowa skala wg standardów polskich (stopnie od 1 do 3).

5. Literatura

[1]. Paszek Wł., Zieliński W.: *Tests of dc machine commutation performed with a spark analyzer in comparison to the results of computer simulation of current waveforms in commutation coils.*(in Polish) XXVII Symposium Maszyn Elektrycznych str.50 – 58. Gdańsk 1991.

[2]. Zielińska M., Zieliński W.: *Determination of electromagnetic interference forming at the brush-commutator contact in direct current machines by means of a method based on luminous spark emission.* Electromagnetic Devices and Processes in Environment Protection the Second International Conference str. 257 - 261. Nałęczów – 1997.

[3]. Zielińska M., Zieliński W.: *Metoda określania zakłóceń elektromagnetycznych powstających na styku szczotka-komutator w maszynach prądu stałego opierająca się na emisji iskier świetlnych, matematyczne wskaźniki iskrzenia.* VII Sympozjum Środowiskowe PTZE. Zastosowania elektromagnetyzmu w nowoczesnych technikach i technologiach. Krasnobród 1997.

[4]. Zielińska M., Zieliński W.: *Determination of electromagnetic interference forming at the brush-commutator contact in direct current machines by means of a method based on luminous spark emission* str.93 - 96. Proceedings of seminar on electrical engineering "BESKIDY 97", Conference Archives vol.4, 1997.

[5]. Zieliński W.: *Monitorowanie iskrzenia styku szczotka komutator w maszynach prądu stałego za pomocą opto-elektronicznego analizatora iskrzenia.* Maszyny elektryczne. Zeszyty problemowe 2003. Katowice 2003.

[6]. Zieliński W.: *Symulacja przebiegu prądów w zezwojach komutujących przy zasilaniu wygładzonym oraz pulsującym prądem twornika.* Maszyny elektryczne. Zeszyty problemowe 2004. Katowice 2004.

[7]. Zieliński W.: *Metoda monitorowania styku szczotka-komutator przy pomocy optoelektronicznego analizatora iskrzenia w maszynach komutatorowych prądu stałego.* Pomiary Automatyka Kontrola nr.3. Warszawa 2005.

[6]. Zieliński W.: *Computer Indicators of Sparkling in DC Commutating Machines.* IV International Conference NEET'2005. Zakopane –21-24 June 2005r. s. 301-303.

[7]. Zieliński W.: *Metody monitorowania styku szczotka-komutator przy pomocy optoelektronicznego analizatora iskrzenia w maszynach komutatorowych prądu stałego.* Miesięcznik Naukowo-Tech-

niczny „Pomiary, Automatyka, Kontrola”, 3/2005, s. 14-16.

[8]. Zieliński W.: *Komputernye algoritmy dlja ocenki iskrenija, registriruemogo s pomoszczju optoelektronного analizatora iskrenija.* „ENERGETYKA” 4/2005. Mińsk. s. 41-46.

[9]. Zieliński W.: *Kontrol iskrzenia kontakta szczetka – kolektor w maszynach postajannogo toka pomoszczju optoelektronного analizatora iskrzenia.* „ENERGETYKA” 5/2005. Mińsk. s. 52-58.

[10]. Zieliński W.: *Symulacja przebiegu prądów twornika w maszynach komutatorowych prądu stałego.* Materiały Konferencyjne „Zrównoważone systemy energetyczne”. Nowe kierunki wytwarzania i wykorzystania energii. Zakopane 12-14 października 2005.

[11]. Zieliński W.: *Przykład zastosowania optoelektronicznego analizatora iskrzenia do badania komutacji maszyn prądu stałego.* Maszyny elektryczne. Zeszyty problemowe 2006. Katowice 2006.

[12]. Zieliński W.: *Технико-экономические и математические оценки процессов искрения в коллекторах электромашин постоянного тока.* Ataleproblemy ekonomiki Nr.1(67)2007.Narodowa Akademia Zarządzania. Kijów 2007.s.176-181.