

Zbigniew TERTIL

Instytut Maszyn i Sterowania Układów
Elektroenergetycznych

Akademia Górniczo-Hutnicza
w Krakowie

MOŻLIWOŚCI WYZNACZANIA PARAMETRÓW I CZYNNIKÓW MAJĄCYCH WPŁYW NA KOMUTACJĘ MASZYN PRĄDU STAŁEGO

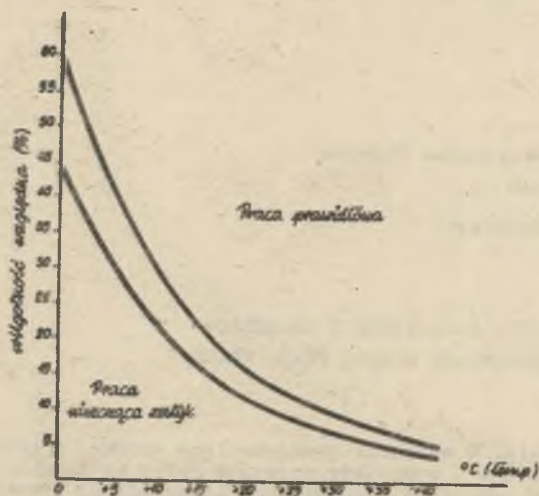
Streszczenie. W artykule przedstawiono krótko możliwości określenia przebiegów i czynników mających wpływ na komutację maszyn prądu stałego. Z czynników zewnętrznych nieco bliżej rozpatrzono wpływ wilgoci i mgły olejowej. Odnosnie do przebiegów wewnętrznych, omówiono krótko możliwości pomiarów i obciążeń strumienia komutacyjnego w stanach nieustalonych oraz parametrów i przebiegów w samych cewkach komutujących. We wnioskach stwierdzono, że możliwości obciążeń i pomiarów są w warunkach przemysłowych bardzo ograniczone i pozostają tylko możliwości pomiarów bezpośrednio na zestyku szozotka-komutator.

WSTĘP

Wśród personelu zajmującego się eksploatacją i ewentualnie remontami maszyn prądu stałego średnich i dużych mocy wiadome jest, że na jakość komutacji wpływa wielka liczba czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Znane są w przemyśle przypadki, że maszyna pracująca przez wiele lat nagle zaczyna wykazywać wadliwą komutację, po czym sama pozornie wraca do poprawnej pracy. Niekiedy znów maszyna zaczyna inaczej reagować na dotychczas stosowane zabiegi konserwacyjne. Doszukiwanie się przyczyn takich przypadków jest na ogół trudne i żmudne, choć z drugiej strony, posiadając w tej dziedzinie pewne doświadczenie, można uzyskać dobre rezultaty w doprowadzeniu maszyny ponownie do zadowolającego stanu.

1. WPŁYW CZYNNIKÓW ZEWNĘTRZNYCH

Jednym z podstawowych czynników jest tu wilgotność powietrza. Jej wpływ był już dawno przedmiotem wielu badań i jest obecnie stosunkowo dobrze znany. Niszczące działanie na zespół szozotka-komutator występuje głównie przy zbyt suchym powietrzu oraz przy obecności skroplonej pary wodnej. Na podstawie pracy [1] można podać wykres (rys. 1).



Rys. 1. Zależność pracy szcetek od wilgotności względnej

Niedostateczna zawartość wilgoci w powietrzu pozbawia grafit własności smarujących, politura komutatora staje się matowa, wzrasta współczynnik tarcia. Poniżej pewnej granicy dochodzi do całkowitego zardcia polityry i błyskawicznego zużycia szcetek. Problemy te znane są w eksploatacji ma-

szyn komutatorowych, pracujących na bardzo dużych wysokościach. Należy jednak podać, że z różnych pomiarów prowadzonych przez autora w hutach wynika, że wilgotność względna powietrza chłodzącego maszyny w obiegach zamkniętych jest bardzo niska - rzędu 10-20%, co przy temperaturze 20-30°C może już źle wpływać na pracę zestyku szcotka-komutator. Z drugiej strony wysoka wilgotność wpływa pozornie pozytywnie na komutację, gdyż powstaje "gruba" politura, powierzchnia ślizgowa szcetek jest gładka. Według prowadzonych przez autora doświadczeń, politura taka nie jest jednak wytrzymała na obciążenia



Rys. 2

udarowe, łatwo ulega wypaleniom i odsłaniają się plamy gołej miedzi. Fotografia na rys. 2 pokazuje 2 szcetki z tego samego materiału, pracujące po ok. 50 godzin w takich samych warunkach elektrycznych - jedna przy wilgotności względnej 15-20%, druga 85%.

Skroplona para wodna lub mgła wodna z zawartością chlorków sodu lub wapnia występuje bardzo często w otoczeniu silników trakcyjnych. Prowadzi

to do tworzenia się plamistej ciemnej polityry i "brządkowania" komutatorów.

Poza wilgocia, występuje oczywiście wpływ najróżnorodniejszych substancji chemicznych, które mogą występować w powietrzu chłodzącym. Z nich wszystkich warto kilka słów poświęcić często występującym zanieczyszczeniom olejowym. Pozornie trudno jest przyjąć występowanie zawiesiny oleju w powietrzu, jednak prowadzone przez autora doświadczenia na jednej z walcowni wykazały, że okresowe pogarszanie się komutacji w silnikach walcowniczych pokrywało się z wyciekaniem oleju z łożysk do kanałów wentylacyjnych. Obecność zawiesiny oleju w powietrzu stwierdzono ponadto stosując specjalne filtry w obiegu powietrza.



Rys. 3

Z powyższym zagadnieniem łączy się również nie zawsze prawidłowa obsługa komutatorów. Rozpowszechnione mycie komutatorów po przeglądach czy remontach alkoholem etylowym nie ma zupełnie sensu. Zanieczyszczenia na komutatorze najczęściej bowiem są typu olejowego, którego alkohol etylowy nie rozpuszcza. Jako ilustracja podany jest na rys. 3 przedstawiający "politurę" komutatorową powstałą na zaolejonym komutatorze po przetarciu go alkoholem. Do mycia komutatorów należy używać substancji, w których oleje i smary rozpuszczają się.

Do czynników zewnętrznych, mających wpływ na pracę zestyku szozotkowego, można też zaliczyć napięcie zasilające silnik, choć jest to przyjęcie dyskusyjne, gdyż kształt krzywej napięcia wpływa oczywiście na szereg przebiegów elektromagnetycznych w różnych obwodach maszyny. Wpływ ten jednak można obserwować też na zewnątrz. Poza ogólnym pogorszeniem się komutacji, niektóre gatunki szozotek reagują bowiem powstawaniem na powie-

Rys. 4

rzchni ślizgowej o charakterystycznych erozyjnych plamek (rys. 4). Nie pogarsza to bezpośrednio komutacji, ale powoduje przyspieszenie zużycia szozotek.

2. ZAGADNIENIA MATERIAŁOWE

W tej dziedzinie uchwycenie parametrów wpływających na komutację jest również utrudnione ze względu na wielką różnorodność materiałów szcztokowych, pojawianie się coraz to nowych oraz występujący dość często brak powtarzalności parametrów w różnych partiach tego samego materiału. Dodatkowo rozszerzenie liczby czynników wpływających na pracę zestyku szcztoka - komutator spowodowało powszechne ostatnio wprowadzenie do produkcji materiałów nasyconych halogenkami lub teflonem.

W takiej sytuacji pozostaje tylko określenie własności komutacyjnych różnych materiałów wyłącznie na drodze doświadczalnej i tak też postępują wszystkie znane wytwórnie, podając gotowe tabele i zestawienia zastosowań produkowanych materiałów szcztokowych. W naszych aktualnych warunkach specjalnego znaczenia nabiera uzyskanie krajowych materiałów o odpowiednio dobranych i potwierdzonych własnościach eksploatacyjnych [2].

3. ELEKTROMAGNETYCZNE PARAMETRY POPRZECZNEGO OBWODU MAGNETYCZNEGO

Na wstępie należy rozdzielić dwie zasadniczo różne sytuacje, w których może znajdować się maszyna: w fazie projektowania i produkcji lub też w eksploatacji w zakładzie przemysłowym. W pierwszym przypadku znane są wszystkie dane materiałowe i geometryczne, nieznane jest natomiast w pełni zachowanie się maszyny w pracy - a w drugim na odwrót. W fazie projektowania oblicza się zwykle podstawowe parametry magnetyczne i geometryczne obwodu poprzecznego, jak: Φ_K , $\dot{\Phi}_K$, kształt nabiegunków biegunów komutacyjnych i wiele innych. Z reguły rozpatruje się stan ustalony pracy, w niezliczonych tylko przypadkach wytwórnie podają np. dopuszczalną, ze względu na komutację, szybkość narastania prądu (kA/s). Zwykle określa się tylko przeciążalność statyczną. Nieco szerzej określa się parametry maszyny mającej pracować przy silnie odkształconym prądzie. Poprzeczny obwód magnetyczny jest wtedy w całości blachowany i wyznacza się dopuszczalne współczynniki kształtu prądu twornika. Ten ostatni parametr jest jednak określany głównie ze względu na wzrost strat w maszynie, a nie ze względu na komutację.

W warunkach eksploatacyjnych z reguły nie są interesujące parametry istotne dla stanów ustalonych, zachodzi natomiast często potrzeba przewidzenia zachowania się maszyny w stanach przejściowych (jak stan nieustalony należy przyjmować zarówno szybkie zmiany prądu twornika, jak i jego pulsujący charakter). Istotną rzeczą jest obliczenia przebiegów $\Phi_K(t)$ w stosunku do $i_t(t)$. Są różne możliwości postępowania: można wyznaczać $\Phi_K(t)$ na podstawie znanej transmitancji poprzecznego obwodu magnetycznego [3], można założyć przebieg $i_t(t)$ jako znany i wyznaczyć obliczeniowo $\Phi_K(t)$ [4] lub też postępować według klasycznej teorii obwodowej i traktować elek-

tryczny obwód poprzeczny jako wielooczkowy układ elementów R L [4]. Wszystkie metody opisane są dokładnie w cytowanych pozycjach literatury i w tym miejscu można podać tylko ich cechy charakterystyczne. W pierwszym przypadku [3] punktem wyjścia do obliczenia $\Phi_K(t)$ jest transmitancja poprzecznego obwodu magnetycznego w postaci

$$\underline{K}_q(j\omega) = k_1 \underline{K}_1(j\omega) - k_2 \underline{K}_2(j\omega),$$

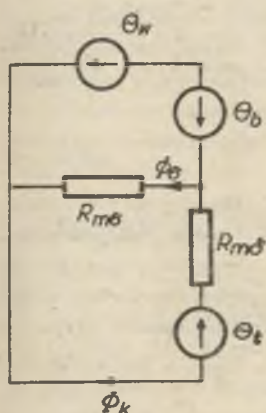
gdzie: k_1, k_2 - stałe zależne od geometrii obwodu magnetycznego, zaś $\underline{K}_1(j\omega)$ i $\underline{K}_2(j\omega)$ zależą od stałych czasowych obwodu. Zarówno stałe k jak i transmitancje składowe \underline{K}_1 i \underline{K}_2 można wyznaczać analitycznie metodą aproksymacji, przyjmując model matematyczny obwodu, lub też pomiarowo na podstawie wyznaczonej charakterystyki modułowo-fazowej $\underline{K}(j\omega)$. W drugiej metodzie, po przyjęciu prostego modelu obwodu magnetycznego (rys. 5) i założeniu np. wykładniczego przebiegu narastania prądu z wykładnikiem α , otrzymuje się strumień w postaci:

$$\Phi_K(t) = \frac{(\alpha_{bmax} - \alpha_{tmax})(1 - e^{-\alpha t}) - \alpha_w(t)}{R_{mf}},$$

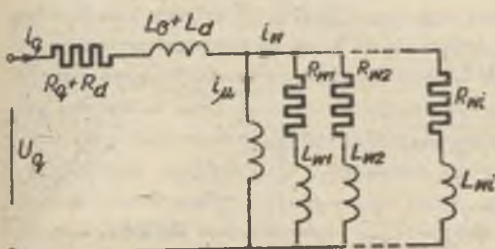
gdzie:

$\alpha_b, \alpha_t, \alpha_w$ - odpowiednio SMM biegunów komutacyjnych, twornika i prądów wirnych,

R_{mf} - reluktancja szczeliny powietrznej pomiędzy biegunem a twornikiem.



Rys. 5



Rys. 6

Istotny dla całości przebieg $\alpha_w(t)$ jest obliczeniowo dość złożony i zawiera funkcje specjalne. Ważnym parametrem wymagającym dokładnego określenia jest reluktancja rozproszenia biegunów komutacyjnych.

Trzecia wreszcie metoda, opierająca się na klasycznym układzie wielooczkowym (rys. 6), wymaga wyznaczenia jego parametrów oraz przebiegów $i_q(t) - i_{\mu}(t)$ i $i_w(t)$. Metoda ta jest

niewygodna ze względu na konieczność pomocniczego wyznaczenia dużej wartości I_g [4] oraz występowania prądu twornika w postaci złożonych funkcji.

W rezultacie porównań, wydaje się, że dla warunków eksploatacyjnych najdogodniejsza jest metoda druga, gdyż nie wymaga skomplikowanych pomiarów lub obliczeń pomocniczych, zaś przyjmowanie prądu twornika jako np. prostego przebiegu wykładniczego jest wystarczająco dokładne (co potwierdziły liczne proste pomiary na różnych maszynach).

W przypadku występowania prądu pulsującego obliczenia prowadzi się zwykle dla podstawowej harmonicznej składowej przemiennej za pomocą liczb zespolonych, przy czym istota stosowanych metod nie ulega zasadniczej zmianie.

Należy jednak wyraźnie podkreślić, że wszystkie wyżej opisane metody obliczeń nie pozwalają same przez się określić komutacji maszyny, przy szybko zmieniającym się lub pulsującym prądzie twornika. Jako odniesienie w każdym przypadku służy klasyczna strefa komutacji beziskrowej, wyznaczona w warunkach statycznych. Pomiar ten jest jednak w warunkach przemysłowych dla silników praktycznie niewykonalny - co wyraźnie ogranicza przydatność praktyczną wszystkich metod obliczeniowych.

W ostatnich latach pojawiają się wprawdzie próby uniknięcia tych trudności przez uzyskanie stref komutacji beziskrowej na drodze obliczeniowo-teoretycznej [5],[6],[7]. Można jednak stwierdzić, że obliczenia te są żmudne (mimo stosowania ETO), wymagają wielu danych wstępnych, a wyniki są niepewne i nie mogące budzić zaufania ze względu na różnorodność czynników przypadkowych.

4. PARAMETRY OBWODÓW KOMUTACYJNYCH - PRÓBY POMIARÓW I OBLICZEŃ

Aby prowadzić obliczenia lub pomiary należy oczywiście najpierw przyjąć model obwodu lub obwodów komutujących. Na tej podstawie można dążyć do uzyskania przebiegu $i(t)$ w cewce komutującej, co pozwala ocenić jakość komutacji. Znowu występują tu wiele możliwości co do modelu: od przyjmowania prostych klasycznych aż po bardzo złożone [8] [9]. W każdym przypadku niezbędne jest określenie pewnych elementów R , L oraz sił elektromotorycznych. Ich pomiarowe wyznaczenie jest niestety trudne. Nawet tak prosty pomiar jak wyznaczenie siły elektromotorycznej rotacji od pola biegunów komutacyjnych - $e_k(t)$ jest ze względu na najróżnorodniejsze zakłócenia bardzo utrudniony, a tym samym bardzo mało dokładny [4]. Możliwe jest oczywiście uzyskiwanie tych danych drogą pośrednią poprzez wykonywanie pomiarów na specjalnych modelach lub na maszynach w trakcie ich budowy - co jednak jest nieaktualne w warunkach przemysłowych.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

W warunkach przemysłowych istnieją bardzo ograniczone możliwości wykonywania pomiarów parametrów i przebiegów mających wpływ na komutację prądu stałego.

Próby zastąpienia w ostatnich latach pomiarów skomplikowanych obliczeniami teoretycznymi nie dają wiarogodnych wyników.

Klasyyczny pomiar strefy komutacji beziskrowej ma w warunkach przemysłowych bardzo ograniczone zastosowanie - co z kolei ogranicza stosowanie metod pomiarowo-obliczeniowych.

Do praktycznego wykorzystania pozostają jedynie metody pomiarowe, oparte na bezpośrednim badaniu zestyku szozotka-komutator. Do nich zaliczyć można metodę pomiaru napięć na krawędziach szozotek opisaną dokładnie w pracy [4] oraz różne metody pomiarów iskrenia, np. [10].

LITERATURA

- [1] Chisamutdinow R.Ch.: Komutacja maszyn postojannogo toka. Metalurgizdat 1953.
- [2] Tertil Z., Bal B.: O własności krajowych materiałów szozotkowych przy zastosowaniu ich do maszyn prądu stałego serii Pb i Pc. Materiały XVIII Sympozjum Maszyn Elektrycznych.
- [3] Glinka T.: Własności komutacyjne maszyn prądu stałego przy pulsującym bądź szybko zmieniającym się prądzie twornika. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Elektryka 44/1974.
- [4] Tertil Z.: Doświadczalne metody badania elektromagnetycznych i komutacyjnych własności maszyn prądu stałego. Zeszyty Naukowe AGH. Elektryfikacja i mechanizacja górnictwa i hutnictwa. 132/1981.
- [5] Pratt J.W.: The influence of design parameters on the sparkless zones of d.c. machines. GEC Journal of Science and Technology 45/2/1979.
- [6] Pruss-Zukowski W.W.: O przybliżenno opisanii beziskrowych zon maszyn postojannogo toka. Elektrizestwo 10/72.
- [7] Wada S., Ototake K.: Digital calculation of no-spark zones of large D-C Machines. IEEE Transactions on Power, Apparatus and Systems 65/63.
- [8] Drehmann A.: Über die Möglichkeit der genaueren Darstellung des Kommutierungsvorganges. E.u.M. 1/69.
- [9] Karasew M.N.: Komutacja kolektornych maszyn postojannogo toka. Gas-energoizdat 1961.
- [10] Jakubiec J., Warchoł I., Wiechuła P.: Pomiar intensywności iskrenia komutatorów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Elektryka z. 53 1976.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Władysław Paszek

Wpłynęło do redakcji 5.IV.1982 r.

ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ФАКТОРОВ
ИМЕЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА КОММУТАЦИЮ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Р е з ю м е

В работе кратко представлено влияние разнообразных внешних и электромагнитных факторов на коммутацию в машине постоянного тока. Ниже критически оценены возможности определения электромагнитных параметров поперечной магнитной цепи и коммутирующих контуров для машин работающих в промышленности. Было установлено, что только небольшую группу измерительных и вычислительных методов можно в этих условиях использовать. Представлены примеры этих методов.

POSSIBILITIES OF DETERMINATION OF PARAMETERS
AND FACTORS AFFECTING THE COMMUTATION IN D.C. MACHINES

S u m m a r y

The paper presents in brief the effect of different external and electromagnetic factors on the commutation processes in D.C. machines. The possibilities of determination of electromagnetic parameters of the transverse magnetic circuit and of the commutating circuits are critically assessed in the sequel for machines operating in the industry. It was found that only few measurement and calculation methods can be used under these conditions. Examples of such methods are given.