ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

NR 13 ELEKTRYKA Z. 4 1957

Mgr inż. Ryszard Hagel i mgr inż. Jerzy Kubek
Zakład Maszyn Elektrycznych

Laboratoryjna metoda badania komutacji w maszynach prądu stałego przy użyciu oscylografu katodowego

Streszczenie. W artykule omówiono metodę badania komutacji przy użyciu oscylografu katodowego. Przeprowadzono porównanie możliwości zastosowania oscylografu pętlicowego i katodowego do badań komutacji. Sprecyzowano wymagania stawiane metodzie pomiarowej. Opisano układ pomiarowy oraz przystosowanie maszyny do badań. W zakończeniu przedstawiono szereg oscylogramów.

Wstęp

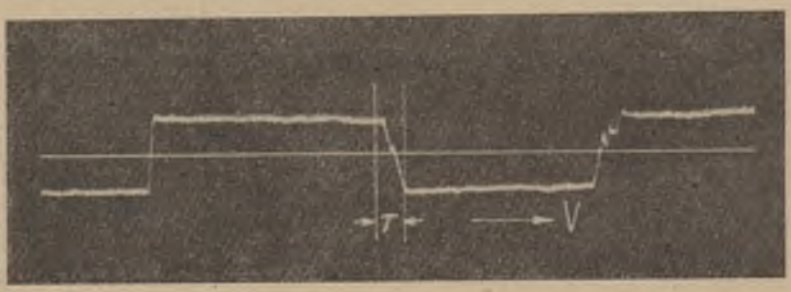
W teorii komutacji zasadniczą rolę odgrywa czasowy przebieg prądu w obwodzie komutacyjnym mający decydujący wpływ na iskrzenie szczotek, czyli tzw. obraz komutacji. Komutacja jest procesem bardzo skomplikowanym, zależnym od całego szeregu ściśle z sobą powiązanych parametrów natury elektromagnetycznej, mechanicznej, termicznej, elektrochemicznej i innych. Utrudnia to niezmiernie matematyczną analizę tego zjawiska, tak że do tej pory nie uzyskano na tej drodze pełnego rozwiązania procesu komutacji. Badania komutacji wkroczyły więc na drogę doświadczalną. Zapoczątkował ją Arnold, chcąc w ten sposób sprawdzić swoje wyniki teoretyczne, a kontynuowali ją: Schenfer, Kahn, Jordan, Binder i inni. Przy zdejmowaniu przebiegu prądu komutowanego posługiwano się przede wszystkim oscylografem pętlicowym, jedynym w tym czasie przyrządem przydatnym do zdejmowania tego rodzaju przebiegów. Różne względy, o których będzie mowa w dalszym ciągu niniejszego artykułu, przemawiają jednak za tym, aby przy badaniach komutacji zastosować oscylograf katodowy w odpowiednio do tego celu przystosowanym układzie. Zdjęcia przebiegów komutacji uzyskane za pomocą oscylografu katodowego pozwalają na powiększenie każdego szczegółu na całą szerokość ekranu oraz na bardziej krytyczne wyjaśnienie pewnych zjawisk mających wpływ na komutację. I tak opierając się na materiale doświadczalnym uzyskanym za pomocą tej metody, można było stwierdzić wpływ różnych parametrów na prze-

bieg prądu komutowanego oraz zależność między rzeczywistym i teoretycznym czasem komutacji. Spostrzeżenia te omówiono w opublikowanych poprzednio pracach Zakładu Maszyn Elektrycznych [5], [6]. W ostatnim czasie coraz szerzej stosowane są metody pozwalające na badanie komutacji w układzie sztucznym. Są to modele, za pomocą których da się odtworzyć takie warunki, jakie istnieją w rzeczywistej maszynie, oraz można wyodrębnić poszczególne parametry wpływające na komutację. I w tych wypadkach stosowanie w odpowiednim układzie oscylografu katodowego okazało się bardzo celowe.

Celem niniejszego artykułu jest głównie omówienie sposobu przystosowania oscylografu katodowego do zdejmowania przebiegów komutacji oraz przedstawienie oscylogramów odpowiednich przebiegów uzyskanych tą metodą bez ich głębszej analizy.

1. Układ pomiarowy

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowo oscylogram przebiegu prądu w jednym zwoju twornika, jaki uzyskano na oscylografie pętlicowym. Przeważająca część tego oscylogramu jest dla analizy przebiegu zmiany prądu w zwoju komutowanym nieistotna. Ponieważ proces komutacji trwa bardzo krótko, zarejestrowanie przebiegu zmiany prądu w większej skali czasu wymaga zwiększenia szybkości posuwu papieru oscylograficznego. Ponadto przy dużych szybkościach zapisywania wymagany jest bardzo czuły papier oscylograficzny celem uzyskania dostatecznego naświetlenia emulsji.



Rys. 1. Przebieg prądu w zwoju twornika zdjęty oscylografem pętlicowym

Zakładając zgodnie z rys. 2, że wychylenie promienia świetlnego z położenia zerowego wynosi: $a = 20$ mm, a rozciągnięcie oscylogramu przebiegu komutacyjnego na długość musi wynosić $b = 40$ mm oraz przyjmując ponadto, że komutacja odbywa się pod całą szerokością szczotki, znajdujemy:

a) teoretyczny czas komutacji dla badanej maszyny:

$$T = \frac{b_{sz}}{V_k} = \frac{b_{sz} \cdot 60}{\pi \cdot D \cdot n} = \frac{0{,}015 \cdot 60}{\pi \cdot 0{,}16 \cdot 1500} = 0{,}0012 \text{ s}^1,$$

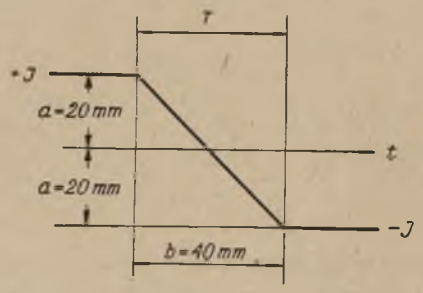
gdzie

b_{sz} — szerokość szczotki w m,
V_k — prędkość obwodowa komutatora w m/s,
D — średnica komutatora w m,
n — obroty maszyny w obr/min,

b) wymaganą szybkość posuwu papieru lub filmu:

$$V_p = \frac{b}{T} = \frac{0{,}04}{0{,}0012} = 33{,}4 \text{ m/s}.$$

Oznacza to, że obroty bębna o obwodzie 21,5 cm musiałyby wynosić około 9300 obr/min, tzn. mniej więcej 6-krotną wartość obrotów normalnie spotykanych w oscylografach.



Rys. 2. Wyznaczony obraz komutacji prądu na ekranie oscylografu

Dla porównania warto przytoczyć jeszcze prędkość posuwu papieru w nowoczesnych oscylografach pętlicowych: w oscylografie firmy Siemens maksymalna szybkość posuwu papieru wynosi 10 m/s, w oscylografie firmy Cambridge 12,5 m/s.

Innym względem utrudniającym zastosowanie oscylografu pętlicowego do badań nad komutacją jest stosunkowo duży pobór mocy pętli pomiarowej.

I tak np. przy użyciu pętli firmy Siemens typu „1" o następujących danych: $R = 1{,}4\ \Omega$, częstotliwość własna pętli nietłumionej $f_0 = 5500$ Hz, stała prądowa przy długości wskazówki świetlnej 100 cm $c_i = 1{,}5$ mA /mm. Pobór prądu i mocy będzie wynosił:

$$J = c_i a = 1{,}5 \cdot 20 = 30 \text{ mA},$$

gdzie $a = 20$ mm (odchylenie promienia świetlnego z położenia zerowego), moc $P = J^2R = 30^2 \cdot 1{,}4 = 1250$ mW.

---

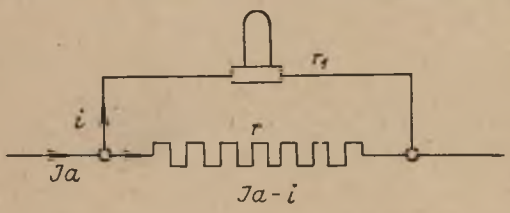
[1] Patrz pkt 2.

Dla pętli typu „5", o częstotliwości własnej pętli nietłumionej $f_0 = 2000$ Hz, oporze pętli $R = 3{,}8\ \Omega$ i stałej prądowej $c_i = 0{,}11$ mA/mm, otrzymujemy:

$$J = 0{,}11 \cdot 20 = 2{,}2 \text{ mA},$$
$$P = 2{,}2^2 \cdot 3{,}8 = 18{,}4 \text{ mW}.$$

Przy poborze mocy tych rzędów będą odgrywały już rolę zniekształcenia i spadki napięć występujące na opornościach przejścia szczotek pomocniczych, za pomocą których mierzy się napięcie na oporze włączonym w rozcięty zezwój uzwojenia twornika dla otrzymania przebiegu prądu komutowanego.

Pod tym względem zastosowanie oscylografu katodowego jest także znacznie korzystniejsze, ponieważ praktycznie nie pobiera on żadnej mocy. Używany do badań oscylograf katodowy firmy Philips posiadał pozorną oporność wejściową 0,4 — 2,2 MΩ.



Rys. 3. Schemat włączenia pętli oscylograficznej w obwód twornika

Aby uzyskać odchylenie promienia świetlnego 20 mm, przy obciążeniu maszyny prądem $J = 10$ A i użyciu czułej pętli typu „5", opór r włączony szeregowo w uzwojenie twornika powinien wynosić (rys. 3):

$$r = \frac{i \cdot r_1}{J_a - i} \approx \frac{i \cdot r_1}{\frac{J}{2}} = \frac{0{,}0022 \cdot 3{,}8}{5} = 0{,}0017\ \Omega,$$

gdzie J_a — prąd w jednej gałęzi równoległej.

W wypadku użycia oscylografu katodowego o czułości 10 mm/mV dla uzyskania takiego samego odchylenia strumienia elektronów wystarczy napięcie 2 mV. Wymagany spadek napięcia uzyskuje się na oporze

$$\frac{U}{\frac{J}{a}} = \frac{0{,}002}{5} = 0{,}0004\ \Omega.$$

Ze względu na to, że wprowadzenie dodatkowego oporu r powoduje asymetrię w uzwojeniu maszyny, należy dążyć do takiego obniżenia jego wartości, aby wprowadzał jak najmniejsze zmiany. Także więc z tego punktu widzenia zastosowanie oscylografu katodowego staje się celowe.

Celem zmniejszenia asymetrii spowodowanej oporem r należałoby przynajmniej w kilka sąsiednich zwojów włączyć podobne opory.

Przy omawianiu możliwości zastosowania oscylografu pętlicowego trzeba jeszcze zwrócić uwagę na to, że każda pętla posiada częstotliwość własną, która ogranicza zakres jej stosowalności. Organ ruchomy pętli będzie odtwarzał badany przebieg tym wierniej, im wyższa będzie częstotliwość drgań własnych pętli. Niestety, ze wzrostem częstotliwości własnej maleje czułość pętli. Ten fakt zmusza do stosowania pętli o niskiej częstotliwości drgań własnych. W przypadku przebiegów odkształconych wyższe harmoniczne będą oddawane z większymi błędami. I tak na przykład błędy procentowe, z jakimi będzie odtwarzała pętla o częstotliwości własnej nietłumionej $f_0 = 2000$ Hz wyższe harmoniczne przebiegu prądu w zwoju komutowanym o okresie 0,02 s wynoszą:

dla III harmonicznej — 0,6%,
dla VII harmonicznej — 3,1%,
dla IX harmonicznej — 5,1%,
dla XI harmonicznej — 7,6%.

Ponadto wystąpią jeszcze błędy fazowe, które jednak mogą być pominięte.

1.1. Wymagania w odniesieniu do podstawy czasu

Podstawa czasu, w którą wyposażony jest oscylograf katodowy, powoduje stałe powstawanie na ekranie obrazów badanego przebiegu. Ażeby uzyskać nieruchomy i stale jednakowo powtarzający się obraz, czas ruchu poziomego plamki świetlnej musi być dokładną wielokrotnością czasu jednego okresu badanego przebiegu periodycznego. Przy użyciu takiej synchronicznej podstawy czasu na ekranie musi być odtworzony co najmniej jeden cały okres badanej krzywej (frekwencja podstawy czasu równa jest wtedy frekwencji oscylografowanego przebiegu).

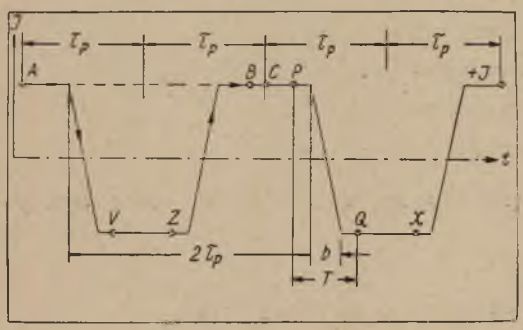
Jeśli oscylografowanym przebiegiem będzie prąd w zwoju twornika maszyny 4-biegunowej (rys. 4), to dobierając frekwencję podstawy czasu równą $\frac{p \cdot n}{60}$ otrzymamy podczas wzrostu napięcia odchylającego poziomo strumień elektronów, linię zawartą pomiędzy punktami A i B. Nakreślona krzywa będzie przedstawiała przebieg zmiany prądu w czasie nieco krótszym od potrzebnego do wykonania połowy obrotu twornika. Następnie w przeciągu krótkiego czasu B-C, potrzebnego do rozładowania kondensatora podstawy czasu, strumień elektronów wraca do punktu wyjściowego po lewej stronie ekranu i zaczyna kreślić na miej-

scu poprzedniego obrazu przebieg prądu w czasie drugiej połowy obrotu twornika (krzywa zawarta między punktami *C* i *D*).

W ten sposób będą się nakładały na ekranie oscylografu przebiegi komutacji prądu pod różnymi szczotkami tego samego znaku.

W rozpatrywanym przykładzie będą to przebiegi komutacyjne *A-V* i *P-Q* oraz *Z-B* i *X-D*. Przebiegi te z bardzo wielu przyczyn mogą się różnić. Przyczyną tych różnic mogą być np. nierówne szczeliny pod biegunami pomocniczymi, różne dociski szczotek, niejednakowe opory przejścia w styku pomiędzy szczotkami i komutatorem, asymetrie magnetyczne i elektryczne itp.

W rezultacie otrzymamy obraz wypadkowy różnych przebiegów, nieostry i drgający.



Rys. 4. Przebieg prądu w zwoju twornika 4-biegunowej maszyny prądu stałego

Drugą wadą synchronicznej podstawy czasu przy zdejmowaniu krzywej komutacji jest to, że przebieg zmiany kierunku prądu okazuje się bardzo ściśnięty w kierunku osi poziomej. Na ekranie obraz przebiegu komutacji przedstawia się w postaci linii prostej, prawie pionowej, na której podstawie nie można wiele powiedzieć o formie zjawiska. Jest to oczywiste, jeżeli zważyć, że czas komutacji jest małym ułamkiem okresu zmian prądu.

Ażeby uzyskać nadające się do analizowania oscylogramy, muszą być spełnione następujące warunki:

1. Na ekranie oscylografu ma być przedstawiony przebieg komutacji tylko pod jedną i zawsze tą samą szczotką (np. przebieg *P-Q* z rys. 4).

2. Szybkość pozioma plamki świetlnej powinna być dostatecznie duża, ażeby można było uzyskać obraz rozciągnięty w kierunku osi czasu.

3. Przebiegi powinny się nakładać periodycznie, naświetlając ekran w stopniu wystarczającym do fotografowania.

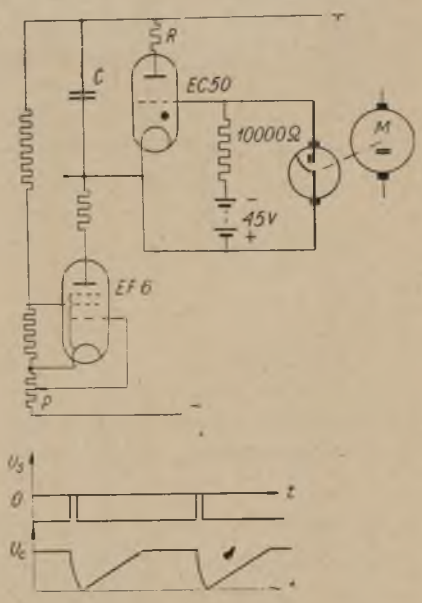
4. Obraz na ekranie powinien być nieruchomy.

Powyższe warunki będą spełnione, jeśli podczas każdego obrotu

twornika, zawsze w tym samym jego położeniu, plamka świetlna zacznie się poruszać po ekranie z jednostajną szybkością tak dobraną, aby nakreślić cały przebieg komutacji. Podczas każdego obrotu twornika plamka świetlna powinna wykonać ten ruch tylko jeden raz.

Czas zapisu stanowić będzie zaledwie małą część czasu jednego obrotu twornika. W pozostałym przeciągu czasu plamka powinna być zaciemniona lub znajdować się poza ekranem.

Rysunek 5 podaje prosty schemat podstawy czasu spełniającej te warunki.



Rys. 5. Schemat układu podstawy czasu oscylografu katodowego sterowanej tarczą kontaktową

Napięcie podstawy czasu zdejmuje się z kondensatora *C*. Prąd ładowania kondensatora regulowany jest przez zmianę ujemnego napięcia siatki pentody za pomocą potencjometru *P*.

W czasie ładowania pojemności *C* na siatkę lampy przekaźnika jonowego (trioda gazowa *EC* 50) przyłożony jest z dodatkowej baterii ujemny potencjał, który blokuje lampę. Przy zupełnie naładowanym kondensatorze plamka świetlna znajduje się z prawej strony poza ekranem. W momencie pojawienia się na płytkach odchylających pionowo napięcia badanego przebiegu powinno nastąpić krótkotrwałe zwarcie baterii, co odpowiada impulsowi dodatniego napięcia na siatkę triody. Przy zaistnieniu takiego impulsu lampa przekaźnika elektronowego zostaje odblokowana i kondensator *C* rozładowuje się przez nią bardzo szybko. Opór *R* w obwodzie przekaźnika ma na celu ograniczenie prądu. Rozładowaniu kondensatora towarzyszy momentalny powrót plamki świetlnej na lewą stronę ekranu. Po zakończonym rozładowaniu kondensatora podstawy czasu trioda jest znowu zablokowana i następuje ponowne ładowanie ze źródła napięcia, czemu towarzyszy rysowanie na ekranie obrazu badanego przedmiotu. Następnie napięcie na pojemności *C* pozostaje nie zmienione aż do pojawienia się następującego impulsu.

Ten sposób sterowania podstawy czasu musi być uzależniony od obrotów maszyny.

W wykonaniu laboratoryjnym posłużono się wirującą tarczą kontaktową i stykiem ślizgowym. Tarczę wykonano z bakelitu i umieszczono na przedłużeniu wolnego końca wału. Na tarczy umocowano blaszkę kontaktową wygiętą w kształt spirali (rys. 6).

Urządzenie to daje dodatni impuls na siatkę triody w momencie powstania kontaktu między szczotką i tarczą.

Moment załączenia podstawy czasu oscylografu można zmieniać w dużych granicach przez przekręcenie tarczy na wale, a w mniejszym zakresie podczas ruchu maszyny przez przesuwanie w kierunku promienia ruchomej szczotki kontaktowej. Obsługa urządzenia może być dokonywana z miejsca obserwacji ekranu oscylografu podczas ruchu maszyny, wskutek czego uzyskuje się możliwość dobrego ustawienia obrazu.

Rys. 6. Tarcza kontaktowa sterowania podstawy czasu

Opisane urządzenie oddawało bardzo dobre usługi, ułatwiając pracę przede wszystkim dzięki możliwości zmiany momentu załączenia podstawy czasu bez konieczności zatrzymywania maszyny, co by w niektórych wypadkach było nawet niedopuszczalne ze względu na zmianę warunków pomiarowych.

Opisany powyżej układ podstawy czasu w połączeniu z wirującą tarczą kontaktową, uruchamiającą plamkę świetlną w dowolnym położeniu twornika i tylko jeden raz podczas każdego obrotu, znalazł zastosowanie także przy oscylografowaniu innych przebiegów w maszynie prądu stałego. Stosowano go szczególnie tam, gdzie chodziło o wyodrębnienie i powiększenie jakiegoś fragmentu badanego przebiegu. Wystarczy w tym celu dobrać za pomocą przesuwania szczotki moment włączania podstawy czasu na początku rozpatrywanego przebiegu. Szerokość rozciągnięcia obrazu w kierunku osi x-ów można regulować przez zmianę szybkości ruchu poziomego plamki świetlnej za pomocą odpowiedniego doboru prądu ładowania kondensatora podstawy czasu.

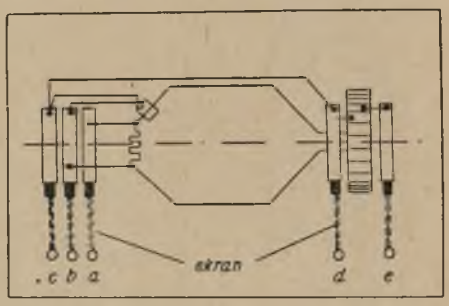
2. Przystosowanie maszyny do badań komutacji

Badania komutacji przy użyciu oscylografu katodowego w wyżej opisanym układzie przeprowadzono na maszynie prądu stałego o następujących danych:

$P = 6{,}5$ kW; $U = 220$ V;
$I = 36{,}5$ A; $n = 1460$ obr/min;

ilość par biegunów — $p = 2$;
ilość żłobków — $Ż = 41$;
ilość działek komutatora — $K = 123$;
średnica komutatora — $D_k = 160$ mm;
stosunek pokrycia — $\beta = 3{,}5$;
uzwojenie faliste proste.

Maszyna jest budowy otwartej i umożliwia łatwy dostęp do komutatora, uzwojeń, szczotkotrzymaczy i szczeliny. Twornik został dobrze wyważony i ułożyskowany w celu zapewnienia spokojnego biegu maszyny. Końcówki uzwojenia biegunów pomocniczych wyprowadzono na tabliczkę zaciskową, uzyskując w ten sposób możliwość łatwej zmiany pola tych biegunów przez bocznikowanie uzwojenia lub zasilania ich z obcego źródła.



Rys. 7. Schemat przystosowania twornika maszyny prądu stałego do badań komutacji

Ponieważ na charakter przebiegu prądu w zwoju komutowanym ma wpływ cały szereg innych parametrów, dlatego teoretyczne badania komutacji nie mogą ograniczyć się tylko do zdejmowania krzywej zmiany prądu. Badaną maszynę wyposażono więc w dodatkowe urządzenia pozwalające na oscylografowanie albo mierzenie oprócz prądu komutowanego następujących przebiegów:

1) krzywej pola biegunów głównych, pomocniczych i oddziaływania twornika,

2) napięcia reaktywnego,

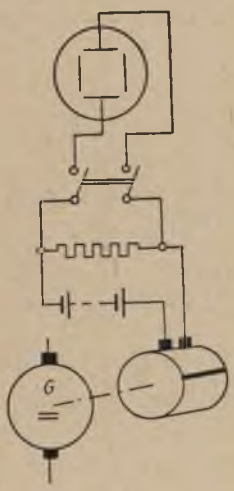
3) krzywej potencjalnej komutatora i szczotki,

4) napięcia międzywycinkowego.

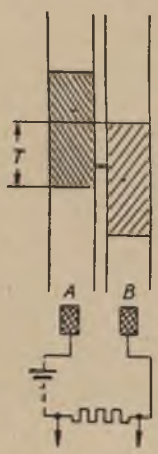
Dla otrzymania przebiegu prądu komutowanego rozcięto w jednym miejscu uzwojenie twornika i włączono w szereg z nim opór omowy r, w postaci kawałka przewodu miedzianego o długości około 15 cm (rys. 7). Wielkość tego oporu wynosiła około 0,0008 Ω. Przy obciążeniu maszyny prądem 10 A spadek napięcia na tym oporze wynosi

$U = J_a \cdot r = \frac{10}{2} \cdot 0{,}0008 = 0{,}004$ V = 4 mV, co wystarcza do otrzymania obrazu o wysokości 4 cm przy największej czułości oscylografu 1 mV/cm. Napięcie z włączonego w rozcięty zezwój oporu zbierano za pomocą dwóch mosiężnych pierścieni (*a* i *b* na rys. 7), umocowanych na wale badanej maszyny i szczotek miedziografitowych. Celem uniknięcia asymetrii w uzwojeniu należałoby rozciąć każdy zezwój twornika i wstawić taki sam opór. Dla uproszczenia jednak zrezygnowano z tego.

Przebiegi pola biegunów głównych, pomocniczych oraz oddziaływania twornika zdejmowano przy pomocy cienkiego drutu miedzianego, umieszczonego na tworniku pod bandażem, połączonego z pierścieniami *c* i *d* (rys. 7). Podczas obrotu twornika indukuje się w przewodniku sem: $e = B_p \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8}$ V. Przy v = const sem e jest tylko funkcją indukcji w szczelinie B_p, a więc otrzymany na ekranie oscylografu obraz odtwarza kształt krzywej pola.



Rys. 8. Schemat układu do zaznaczania teoretycznego czasu komutacji na ekranie oscylografu katodowego



Rys. 9. Tarcza kontaktowa do zaznaczania teoretycznego czasu komutacji na ekranie oscylografu katodowego

Do oscylografowania przebiegu napięcia reaktywnego posłużono się metodą podaną przez Schenfera, a polegającą na tym, że dokoła połączeń czołowych cewek leżących w jednym żłobku owinięto kilkanaście razy miękki drut żelazny, tworząc w ten sposób rdzeń magnetyczny, na który nawinięto ceweczkę o 50 zwojach. Jest to rodzaj transformatorka prądowego, którego uzwojenie pierwotne stanowi uzwojenie twornika, a wtórne — ceweczka nawinięta na rdzeń z drutów żelaznych.

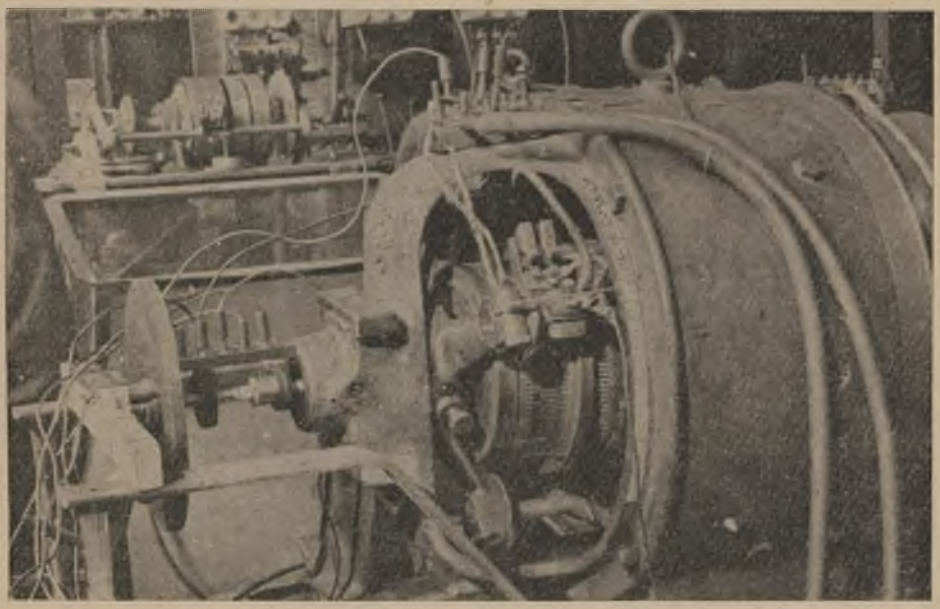
Zdjęcie krzywej potencjalnej komutatora dokonano przez pomiar napięcia między szczotką i jedną działką komutatora przyłączoną do pierścienia *e* (rys. 7).

Oscylografowanie krzywej potencjalnej szczotki będącej wycinkiem

krzywej potencjalnej komutatora następowało w ten sam sposób, przy użyciu ponadto opisanej poprzednio tarczy kontaktowej. Dzięki temu uzyskuje się w odpowiedniej skali tylko część krzywej potencjalnej komutatora leżącą pod szczotką.

Dla uzyskania przebiegu napięcia międzywycinkowego przyłączono sąsiednią działkę komutatora do pierścienia *d* (rys. 7).

W teorii komutacji dużą rolę odgrywa okres komutacji *T*, w jakim musi zajść zmiana prądu w zwoju zwartym przez szczotkę. Dla zaznaczenia na oscylogramach tego czasu, odpowiadającego szerokości szczotki posłużono się następującą metodą. Na przedłużeniu wału ma-



Rys. 10. Widok maszyny doświadczalnej

szyny umieszczono krążek bakelitowy z nałożonym na nim paskiem miedzianym o szerokości odpowiadającej szerokości szczotki zredukowanej do średnicy krążka i pomniejszonej o szerokość pomocniczych szczotek kontaktowych. Ten układ (rys. 8) daje na płytki oscylografu impuls napięciowy trwający tak długo, jak długo dana działka komutatora znajduje się pod szczotką. Dla zaznaczenia okresu komutacji posługiwano się również drugim sposobem, polegającym na zastosowaniu tarczy kontaktowej składającej się z dwóch bakelitowych krążków obracalnych wspólnie na wale i względem siebie. Krążki zaopatrzono w mosiężne segmenty kontaktowe połączone z sobą cienkim drutem (rys. 9). Czas trwania kontaktu między szczotkami *A* i *B* można zmieniać przez przekręcenie tarcz względem siebie tak, aby odpowiadał on czasowi komu-

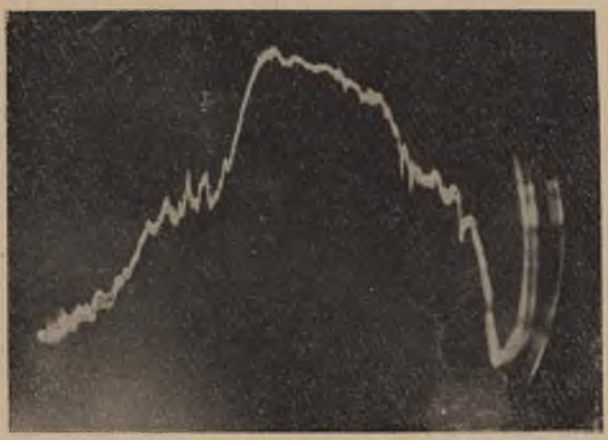
tacji, który z kolei zależy od szerokości szczotki. Poprzez obrót całej tarczy kontaktowej na wale dobiera się moment zwarcia szczotek *A* i *B* mający nastąpić wtedy, gdy badany zezwój rozpoczyna komutację.

Na rysunku 10 przedstawiono fotografię maszyny doświadczalnej wyposażoną w dodatkowe urządzenia. Widoczna jest tarcza kontaktowa oraz pierścienie umocowane po stronie komutatora.

3. Zestawienie wyników pomiarowych i oscylogramów

W celu zobrazowania przydatności opisanej metody do badania komutacji w maszynie prądu stałego zostanie omówionych w dalszym ciągu kilka oscylogramów odpowiednich przebiegów.

Rysunek 11 przedstawia doświadczalnie zdjęty przebieg pola wypadkowego w szczelinie przy obciążeniu maszyny. Krzywa pola wypadkowego maszyny obciążonej wykazuje zniekształcenie powstałe na skutek oddziaływania twornika. Miejscowe wahania pola widoczne na oscylogramie spowodowane są istnieniem żłobków twornika oraz polem pulsującym od dodatkowych prądów zwarcia.



Rys. 11. Oscylogram pola w szczelinie silnika $U = 42$ V, $I = 5$ A, $n = 800$ obr/min

Rysunek 12 przedstawia oscylograficzne powiększenie wycinka przebiegu pola w strefie neutralnej z rys. 11, jakie uzyskano przy użyciu jednorazowej podstawy czasu i tarczy kontaktowej. Jako dalszy przykład zastosowania podstawy czasu sterowanej tarczą kontaktową może posłużyć oscylogram przedstawiony na rys. 14, będący szczegółem rys. 13, obrazującego składową zmienną w prądzie stałym. Oscylogram, który

ilustruje rysunek 13, został wykonany przy użyciu synchronicznej podstawy czasu. Bieguny pomocnicze badanej maszyny zostały wyłączone. Na oscylogramie wyróżnia się pulsacja pochodząca od żłobkowania i od drgań punktu ciężkości twornika (jeden okres drgań na jeden obrót twornika). Na rysunku 14 można ponadto stwierdzić częstotliwość żłobkową i komutatorową.

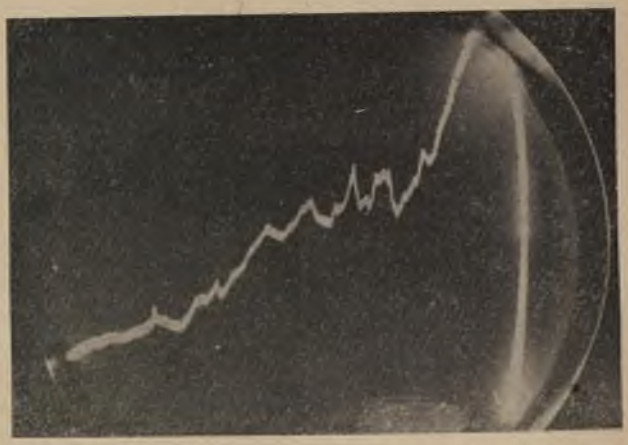
Oscylogram zobrazowany na rys. 15 przedstawia przebieg pola oddziaływania twornika. Maszynę badaną napędzano pomocniczym silnikiem, a twornik zasilano przez szczotki z obcego źródła. Przed wykonaniem zdjęcia zniesiono magnetyzm szczątkowy. Na przebieg pola nałożone są przebiegi o częstotliwości żłobkowej. Zaznaczają się one szczególnie w strefie komutacyjnej w postaci ostrych wyskoków, ponieważ zwoje, przez które przepływa prąd twornika są zwierane.

Dla oceny komutacji duże znaczenie posiada krzywa potencjalna szczotki będąca wycinkiem krzywej potencjalnej komutatora. Taki przebieg uzyskany również za pomocą tarczy kontaktowej przedstawia oscylogram zobrazowany na rys. 16. Na oscylogramie zaznaczona jest szerokość szczotki. Na rysunku 17 przedstawiono oscylogram przebiegu prądu w zwoju komutowanym. Dzięki zastosowaniu tarczy kontaktowej sterującej podstawę czasu rozciągnięto przebieg komutacji w kierunku osi czasu uzyskując w ten sposób obraz nadający się do szczegółowej analizy. W ten sposób stwarza się lepsze możliwości do uchwycenia różnorodnych wpływów na przebieg komutacji.

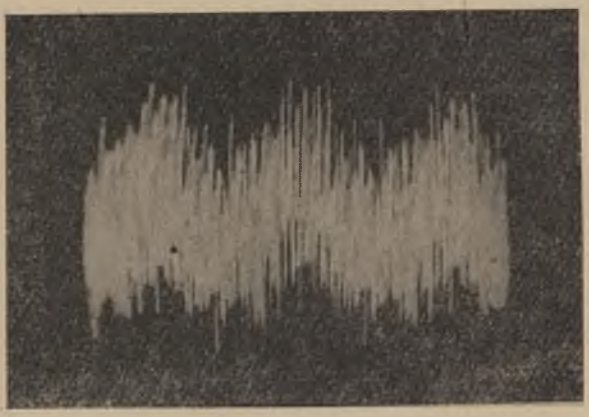
4. Uwagi końcowe

Opisany układ pomiarowy w zastosowaniu do badań komutacji posiada tę zaletę, że pozwala na przeprowadzenie badań przy wprowadzeniu niewielkiej asymetrii w tworniku oraz na wyodrębnienie i powiększenie z badanych przebiegów najistotniejszych wycinków. Dzięki temu może znaleźć zastosowanie również i przy badaniu innych przebiegów periodycznych.

Oscylogramy przytoczone w tym artykule oraz w poprzednich, [5], [6], ilustrują przydatność metody w badaniu maszyn elektrycznych prądu stałego.

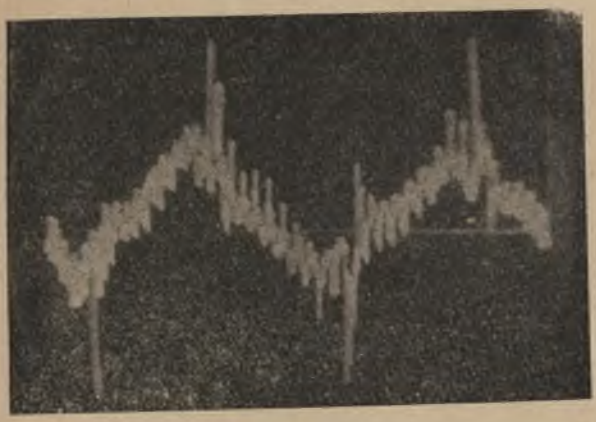


Rys. 12. Oscylograficzne powiększenie strefy neutralnej z rys. 11



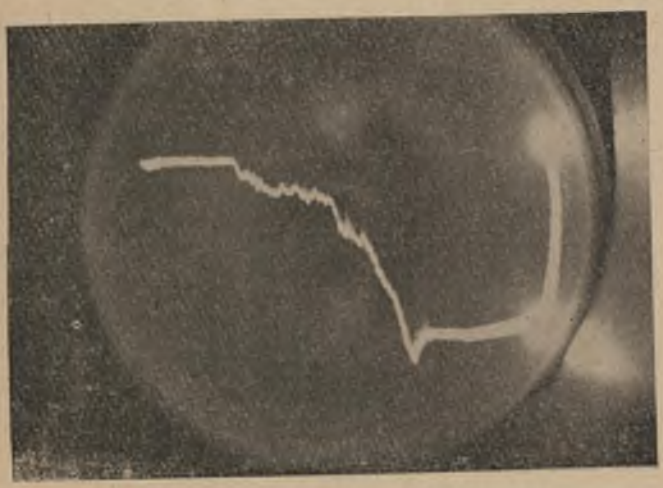
Rys. 13. Oscylogram składowej zmiennej w prądzie stałym, wykonany przy zastosowaniu synchronicznej podstawy czasu: $U = 150$ V, $J = 6{,}5$ A. Bieguny pomocnicze wyłączone

Rys. 14. Szczegół rys. 13 uzyskany przy użyciu podstawy czasu sterowanej tarczą kontaktową



Rys. 15. Oscylogram pola oddziaływania twornika $J = 10$ A

Rys. 16. Oscylogram krzywej potencjalnej szczotki przy komutacji przyspieszonej. Na oscylogramie zaznaczona jest szerokość szczotki: $U = 145$ V, $J = 10$ A, $J_{bp} = 14$ A



Rys. 17. Oscylogram komutacji prądu w zwoju twornika prądnicy: $U = 127$ V, $J = J_{bp} = 15$ A

LITERATURA

[1] K. Schenfer, *Dynamomasziny i dwigatieli postojannogo toka.*
[2] E. Arnold, J. la Cour, *Die Gleichstrommaschine,* tom I, 1919.
[3] E. W. Golding, *Electric Measurements and Measuring Instruments,* 1933.
[4] W. Blankenburg, *Ein Glühkatoden-Oszilograph zur Untersuchung einer Gleichstrom-Wendepolmaschine,* 1936.
[5] W. Kołek, *Przebiegi komutacyjne w maszynach prądu stałego.* Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej „Elektryka" nr 1, 1954.
[6] W. Kołek R. Hagel, J. Kubek, *wpływ własności szczotek oraz warunków zewnętrznych na przebiegi komutacyjne w maszynach prądu stałego,* Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej „Elektryka" nr 1, 1954.

Rękopis dostarczono 28. XII. 1954.