Moduł 3

Pomiary eksploatacyjne parametrów maszyn i urządzeń elektrycznych

I. Badania eksploatacyjne maszyn i urządzeń elektrycznych
   1. Obowiązki osób sprawujących dozór nad eksploatacją elektrycznych urządzeń napędowych (silników)
   2. Obowiązki osób obsługujących silniki
   3. Obowiązki osób wykonujących usługi przy urządzeniach napędowych
   4. Zasady eksploatacji silników

II. Pomiary ogólne maszyn elektrycznych
   1. Pomiary rezystancji uzwojeń

III. Mierniki do pomiaru parametrów maszyn
   1. Miernik magnetoelektryczny
   2. Miernik elektromagnetyczny

I. Badania eksploatacyjne maszyn i urządzeń elektrycznych

1. Obowiązki osób sprawujących dozór nad eksploatacją elektrycznych urządzeń napędowych (silników)

Podstawowymi obowiązkami osób dozoru są:

1. prowadzenie eksploatacji silnika zgodnie z zasadami techniki oraz wymaganiami BHP,
2. kierowanie czynnościami osób zajmujących się obsługą, konserwacją i naprawami silników,
3. kontrolowanie stosowania instrukcji eksploatacji,
4. nadzorowanie właściwego przygotowania i organizacji miejsca pracy,
5. kontrolowanie realizacji programów pracy silników.

2. Obowiązki osób obsługujących silniki

Podstawowymi obowiązkami osób obsługujących silniki są:

1. uruchamianie i zatrzymywanie urządzeń,
2. kontrola warunków chłodzenia,
3. kontrola temperatury silnika,
4. kontrola drgań i hałasów silnika,
5. kontrola łożysk (stopień nagrzania, natężenia hałasu),
6. obserwacja aparatury kontrolno-pomiarowej,
7. obserwacja pracy szczotek na komutatorze lub pierścieniach ślizgowych,
8. utrzymywanie w czystości silnika i urządzeń pomocniczych,
9. utrzymywanie we właściwym stanie urządzeń zapewniających bezpieczeństwo pożarowe,
10. prowadzenie zapisów (jeżeli silnik posiada dziennik),
11. zgłaszanie zakłóceń,
12. udział w przeprowadzaniu oględzin w czasie postoju silnika.

Ponadto osoby obsługujące urządzenia powinny znać:

1. dokumentację techniczno-ruchową urządzenia,
2. instrukcję eksploatacji urządzenia napędowego,
3. budowę i zasadę działania silnika i urządzeń pomocniczych,
4. zasady racjonalnego wykorzystania energii,
5. wymagania BHP oraz bezpieczeństwa pożarowego,
6. zasady postępowania w czasie awarii, pożaru lub innego zagrożenia obsług i otoczenia.

3. Obowiązki osób wykonujących usługi przy urządzeniach napędowych

Podstawowymi obowiązkami osób wykonujących usługi przy urządzeniach napędowych są:

1. przeprowadzanie oględzin urządzeń napędowych w czasie postoju,
2. przeprowadzanie przeglądów silników,
3. wykonywanie remontów,
4. przeprowadzanie podstawowych pomiarów profilaktycznych,
5. ustawianie silników i podłączanie ich do sieci,

6. suszenie uzwojeń silników.

Osoby wykonujące usługi powinny znać wszelkie instrukcje i dokumenty dotyczące urządzeń, tj. DTR (Dokumentacja Techniczno-Ruchowa), instrukcje konserwacyjno-remontowe, instrukcje eksploatacji silników i inne. Osoby te powinny znać zasady budowy i działania silników i urządzeń pomocniczych, wymagania BHP, bezpieczeństwa pożarowego oraz zasady postępowania w przypadku awarii, pożaru lub innego zagrożenia obsługi i otoczenia.

4. Zasady eksploatacji silników

4.1. Zasady ogólne

Eksploatację elektrycznych urządzeń napędowych należy prowadzić na podstawie:

1. Zarządzenia Ministrów Górnictwa i Energetyki oraz Gospodarki Materiałowej i Paliwowej z dnia 18 lipca 1986 r. w sprawie ogólnych zasad eksploatacji (MP Nr 25, poz. 174),
2. Zarządzenia Ministra Gospodarki Materiałowej i Paliwowej z dnia 28 lutego 1987 r. w sprawie szczegółowych zasad eksploatacji elektrycznych urządzeń napędowych (MP Nr 8, poz. 68 z dnia 26 marca 1987 r.).

Zasady eksploatacji elektrycznych urządzeń napędowych obowiązują w jednostkach gospodarki uspołecznionej i nieuspołecznionej. Zasad tych nie stosuje się do elektrycznych urządzeń napędowych:

1. przeznaczonych do pracy w miejscach zakwalifikowanych do pomieszczeń zagrożonych wybuchem,
2. mocy znamionowej mniejszej niż 1 kW, jeżeli łączna ich moc u jednego użytkownika nie przekracza 10 kW,
3. częstotliwości znamionowej powyżej 60 Hz,
4. przeznaczonych do pracy w cieczy,
5. zainstalowanych w urządzeniach zabezpieczenia ruchu kolejowego.

Przez elektryczne urządzenia napędowe należy rozumieć: silnik elektryczny prądu przemiennego lub prądu stałego wraz z układami służącymi do jego zasilania, regulacji, sterowania, sygnalizacji, zabezpieczeń oraz pomiarów. Przepisy o eksploatacji wprowadzają podział urządzeń napędowych na następujące grupy:

- I grupa – urządzenia o mocy większej niż 250 kW oraz urządzenia o napięciu powyżej 1 kV,
- II grupa – urządzenia o mocy od 50 kW do 250 kW o napięciu znamionowym 1 kV i niższym,
- III grupa – urządzenia o mocy od 5,5 kW do 50 kW,
- IV grupa – urządzenia o mocy poniżej 5,5 kW.

Przyjęcie do eksploatacji urządzenia napędowego, przebudowanego lub po remoncie może nastąpić po stwierdzeniu, że:

1. dobór napędu jest właściwy pod względem parametrów elektrycznych i mechanicznych,
2. spełnione są wymagania prawidłowej pracy i warunki racjonalnego zużycia energii elektrycznej,

3. uzyskano zadowalające wyniki przeprowadzonych badań technicznych (na podstawie normy branżowej E3N-85/3081-01 /02 i /03 podano zakres badań odbiorczych dla silników indukcyjnych),
4. stan połączeń w instalacji elektrycznej jest prawidłowy i zgodny z warunkami technicznymi określonymi w zatwierdzonej dokumentacji,
5. protokół odbioru technicznego po remoncie potwierdza zgodność parametrów z tabliczką znamionową.

4.2. Uruchomienie, rozruchy i praca urządzeń

Przed każdym uruchomieniem, dokonywanym bezpośrednio przez obsługę, należy sprawdzić, czy ruch urządzenia nie stworzy zagrożenia bezpieczeństwa obsługi lub otoczenia albo nie spowoduje uszkodzeń urządzenia. Przed uruchomieniem urządzeń i II grupy po dłuższym postoju należy wykonać pomiary rezystancji izolacji uzwojeń silnika (czas postoju, po którym wymagane są ww. pomiary, powinna określić instrukcja eksploatacyjna).

Przed załączeniem pod napięcie na nowym stanowisku pracy przenośnych, przewoźnych i przesuwanych urządzeń, należy sprawdzić:
1. prawidłowość podłączenia do sieci i doboru zabezpieczeń,
2. spełnienia wymagań ochrony przeciwporażeniowej.

Dla urządzeń napędowych I i II grupy o wydłużonym czasie rozruchu, uruchamianych bezpośrednio z siecią, należy przestrzegać określonej przez wytwórcę dopuszczalnej liczby rozruchów silnika następujących po sobie ze stanu zimnego i nagrzanego.

Na urządzeniach napędowych powinny być umieszczone i utrzymane w stanie czytelnym następujące napisy i oznaczenia:
1. na wszystkich elementach wchodzących w skład urządzenia napędowego – symbole zgodne z dokumentacją,
2. symbole zacisków ochronnych i wprowadzeń końców uzwojeń oraz dane na tabliczkach znamionowych,
3. napisy na podstawach gniazd bezpiecznikowych określające wymagane prądy wkładek,
4. napisy określające funkcję przycisków sterowniczych i lampek sygnalizacyjnych,
5. strzałki wskazujące wymagany kierunek wirowania.

W przypadku pracy urządzeń w warunkach trudniejszych od znamionowych należy ustalić dopuszczalne warunki pracy na podstawie wytycznych zawartych w dokumentacji fabrycznej i pomiarów eksploatacyjnych.

Odchylenia napięcia zasilania urządzeń nie mogą:
1. przekraczać wartości ustalonych w dokumentacji fabrycznej dla urządzeń grupy I,
2. być większe niż ±5% napięcia znamionowego dla pozostałych grup.

Dopuszcza się ruch urządzeń II, III i IV grupy przy odchyleniach napięcia większych niż 5%, jeżeli urządzenia są dostosowane do takich odchyleń napięcia lub są eksploatowane w warunkach nie powodujących przekroczenia prądów znamionowych oraz zapewniających prawidłowy rozruch. Urządzenie napędowe wyłączone samoczynnie przez zabezpieczenie można ponownie uruchomić po stwierdzeniu, że nie ma uszkodzenia.

Urządzenie wyłączone powtórnie przez zabezpieczenie można uruchomić po usunięciu uszkodzenia.

Urządzenie powinno być wyłączone w razie biegu jałowego. W instrukcji eksploatacji mogą być określone przypadki, kiedy dopuszczany jest bieg jałowy. Do urządzeń I, II i III grupy zaleca się stosowanie ograniczników biegu jałowego. Ruch urządzeń napędowych należy wstrzymać w razie zagrożenia bezpieczeństwa obsługi lub otoczenia oraz w razie stwierdzenia uszkodzeń lub zakłóceń uniemożliwiających normalną eksploatację, a szczególnie w przypadku:

1. trwałego przeciążenia urządzeń lub nadmiernego nagrzewania się elementów,
2. pojawienia się dymu, ognia lub zapachu spalonej izolacji,
3. nadmiernych drgań,
4. zewnętrznych uszkodzeń mechanicznych lub objawów świadczących o wewnętrznych uszkodzeniach,
5. nadmiernego poziomu hałasu,
6. uszkodzenia urządzenia napędowego.

4.3. Programy pracy

W programach pracy urządzeń napędowych I i II grupy należy uwzględniać racjonalne użytkowanie energii elektrycznej. Programy te powinny być opracowane w terminach określonych w instrukcjach eksploatacji i uwzględniać w szczególności:

1. ekonomicznie i technicznie uzasadniony czas ruchu urządzeń,
2. optymalne wykorzystanie możliwości regulacji prędkości obrotowej.

Stan techniczny urządzeń, ich zdolności do pracy i warunki eksploatacji wykorzystane do programu pracy powinny być kontrolowane i oceniane na podstawie wyników okresowo prowadzonych oględzin i przeglądów.

4.4. Oględziny urządzeń napędowych

Terminy i sposób przeprowadzania oględzin należy ustalić w instrukcji eksploatacji, z uwzględnieniem zaleceń wytwórcy, przepisów dozoru technicznego dla urządzeń dźwignicowych i warunków pracy urządzeń.

Oględziny w czasie ruchu powinny obejmować:

1. wskazania aparatury kontrolno-pomiarowej, ze szczególnym zwróceniem uwagi na obciążenie i wartość współczynnika mocy,
2. warunki chłodzenia elementów energoelektronicznych,
3. ustawienie zabezpieczeń,
4. stopień nagrzewania obudowy i łożysk,
5. stan osłon części wirujących,
6. stan przewodów ochronnych i ich podłączenia,
7. poziom drgań,
8. działanie układów chłodzenia.

Oględziny w czasie ruchu urządzeń I grupy należy przeprowadzać nie rzadziej niż raz na zmianę. Przy prowadzeniu oględzin w czasie postoju należy usunąć nieprawidłowości stwierdzone w czasie ruchu oraz wykonać odpowiednie czynności konserwacyjne, ze szczególnym zwróceniem uwagi na stan:

1. czystości urządzeń,
2. układu zasilającego,
3. urządzeń rozruchowych i regulacyjnych,
4. urządzeń zabezpieczających,

5. układów sterowania i sygnalizacji oraz urządzeń pomiarowych,
6. urządzeń energoelektronicznych,
7. pierścieni ślizgowych i komutatorów,
8. szczotek i szczotkotrzymaczy,
9. połączeń elementów urządzenia.

Wyniki oględzin przeprowadzonych w czasie postoju urządzeń I i II grupy należy odnotować w dokumentacji eksploatacyjnej.

4.5. Przeglądy urządzeń napędowych

Przeglądy urządzeń należy prowadzić w czasie ich planowego postoju, w terminach ustalonych w dokumentacji fabrycznej oraz przepisach dozoru technicznego dla urządzeń dźwignicowych, lecz nie rzadziej niż co 2 lata.

Terminy te nie dotyczą urządzeń III i IV grupy wbudowanych na stałe w urządzenia technologiczne. Przeglądy tych urządzeń należy przeprowadzać:

- III grupa – w terminach przewidzianych dla przeglądów i remontów urządzeń technologicznych, lecz nie rzadziej niż co 3 lata,
- IV grupa – w terminach przewidzianych dla przeglądów i remontów urządzeń technologicznych.

Przeglądy powinny obejmować:

1. oględziny w czasie postoju urządzenia,
2. pomiary,
3. sprawdzenie styków w łącznikach,
4. sprawdzenie prawidłowości działania aparatury kontrolno-pomiarowej,
5. kontrolę prawidłowości nastawień zabezpieczeń i działania urządzeń pomocniczych,
6. sprawdzenie stanu urządzeń energoelektronicznych,
7. sprawdzenie stanu łożysk,
8. czynności konserwacyjne w zakresie zgodnym z dokumentacją fabryczną,
9. wymianę zużytych części i usunięcie zauważonych uszkodzeń.

Wyniki przeglądów I, II, III grupy należy odnotować w dokumentacji eksploatacyjnej.

4.6. Pomiary eksploatacyjne urządzeń napędowych

Wyniki pomiarów wykonywanych w czasie eksploatacji urządzeń należy uznać za zadowalające, jeżeli:

1. wartości rezystancji uzwojeń silników oraz współpracujących z nimi maszyn elektrycznych są zgodne z danymi wytwórcy lub wynikami poprzednich pomiarów eksploatacyjnych, przy czym pomiar rezystancji uzwojeń silników nie jest wymagany dla urządzeń napędowych II, III i IV grupy,
2. dla silników I grupy oraz współpracujących z nimi maszyn elektrycznych:
    - rezystancja izolacji uzwojenia przy temperaturze 20C i wyższej, zmierzona po 60 sekundach od chwili rozpoczęcia pomiaru, jest nie mniejsza niż 1 MΩ na 1 kV napięcia znamionowego uzwojenia,
    - stosunek rezystancji izolacji uzwojenia silników o napięciu powyżej 1 kV zmierzonej po 60 sekundach od chwili rozpoczęcia pomiaru do rezystan-

cji zmierzonej po 15 sekundach jest nie mniejszy od 1,3 niezależnie od temperatury uzwojenia,
- rezystancja izolacji uzwojenia wirnika silnika synchronicznego przy temperaturze 20C jest nie mniejsza niż 0,5 MΩ,

3. rezystancja izolacji uzwojeń silników II, III i IV grupy oraz współpracujących z nimi maszyn elektrycznych, zmierzona przy temperaturze uzwojeń 20C i wyższej, jest nie mniejsza niż 1 kΩ na 1 V napięcia znamionowego uzwojenia,
4. rezystancja izolacji innych elementów urządzeń jest zgodna z danymi wytwórcy, a przy ich braku nie mniejsza niż 1 MΩ na 1 kV napięcia znamionowego,
5. ochrona przeciwporażeniowa spełnia wymagania przepisów.

4.7. Remonty i składowanie

Przy magazynowaniu i składowaniu należy przestrzegać zaleceń wytwórcy. Dla urządzeń stanowiących rezerwę (magazynową) należy w instrukcji eksploatacji podać terminy przeprowadzania kontroli warunków składowania i pomiarów rezystancji izolacji uzwojeń i urządzeń pomocniczych. Remonty urządzeń napędowych należy przeprowadzać na podstawie instrukcji eksploatacji w zakresie wynikającym z wyników przeglądu oraz terminach skoordynowanych z terminami remontów urządzeń technologicznych.

II. Pomiary ogólne maszyn elektrycznych

1. Pomiary rezystancji uzwojeń

1.1. Uwagi ogólne

We wszystkich próbach maszyn elektrycznych wykonuje się pomiar rezystancji uzwojeń w stanie zimnym, tzn. gdy temperatura danego uzwojenia nie różni się od temperatury chłodziwa więcej niż ±3 deg. W przypadku małych maszyn za temperaturę stanu zimnego przyjmuje się temperaturę otoczenia, w maszynach dużych temperaturę stanu zimnego mierzy się termometrami umieszczonymi wewnątrz maszyny na 0,5 do 1 h przed rozpoczęciem pomiarów. Ponieważ zmierzona rezystancja zwykle służy do dalszych obliczeń i badań, pomiary jej powinny być wykonane szczególnie starannie. Najczęściej stosowanymi sposobami pomiaru rezystancji są:

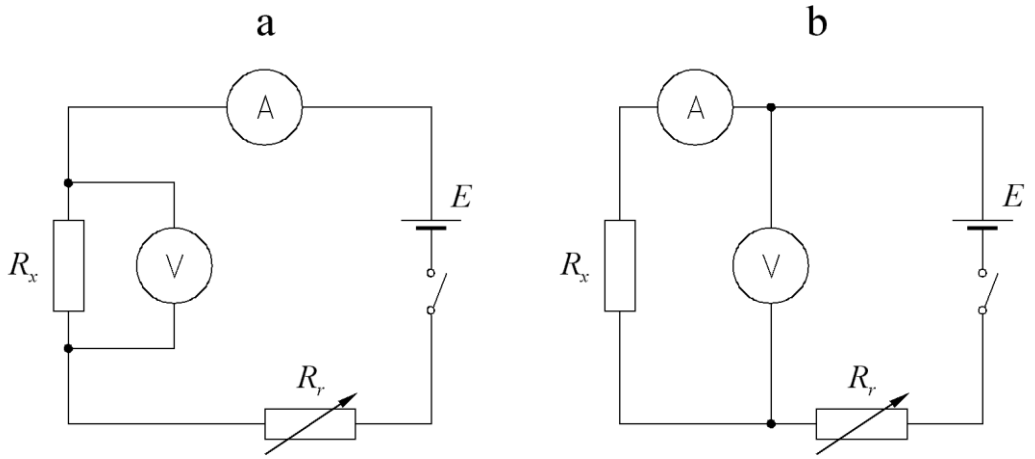
- metody mostkowe,
- metoda „techniczna" (woltomierza i amperomierza).

Do najbardziej rozpowszechnionych metod mostkowych należy pomiar rezystancji małych (poniżej 10Ω) mostkiem Thomsona oraz rezystancji większych – mostkiem Wheatstone'a. Pomiary mostkowe są bardzo dokładne, pod warunkiem, że mostki są zestawione z elementów wysokiej klasy, co w warunkach przemysłowych jest często trudne do zrealizowania. Dlatego najczęściej stosowaną metodą pomiaru rezystancji uzwojeń maszyn elektrycznych jest metoda „woltomierza" i „amperomierza". Jej dokładność zależy od dokładności użytych do pomiaru przyrządów. W zależności od sposobu połączenia przyrządów rozróżnia się układ do pomiaru rezystancji „małych" (rys. 1a) oraz rezystancji „dużych" (rys. 1b).

Rezystancje uzwojeń wirników, w obwodzie których znajdują się zestyki ślizgowe, należy mierzyć bezpośrednio na działkach komutatora lub pierścieniach ślizgowych.

Zastosowanie odpowiedniego układu pomiarowego bardzo często pozwala nie uwzględniać poprawek. Poprawki należy uwzględniać wtedy, gdy wartość błędu popełnionego w niedokładnym pomiarze prądu czy napięcia powoduje dostrzegalną zmianę we wskazaniu odpowiedniego przyrządu.

Rys. 1. Układ do pomiaru rezystancji: a – małych, b – dużych



Źródło. Opracowanie własne na podstawie L. Kacejko, *Pracownia elektryczna i elektroniczna*, WSiP, Warszawa 2010

Należy zaznaczyć, że za rezystancję „małą" uważa się rezystancję znacznie mniej-

szą od rezystancji wewnętrznej użytego woltomierza, rezystancja „duża” natomiast to rezystancja znacznie większa od rezystancji zastępczej amperomierza i bocznika.

Źródłem zasilania powinna być bateria akumulatorów o pojemności zapewniającej stałość prądu w czasie pomiarów.

Wartość natężenia prądu płynącego przez rezystancję mierzoną należy dobrać tak, aby praktycznie nie powodowała nagrzania się uzwojeń. Również z tego powodu pomiary rezystancji należy wykonywać możliwie szybko.

Zmieniając wartości natężenia prądu, odczytuje się jednocześnie wskazania obydwu przyrządów.

Rezystancję oblicza się według wzoru:

$$R_x = \frac{U}{I}$$

a gdy trzeba uwzględnić poprawkę, według wzoru:

– dla układu z rys. 1a

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}}$$

– dla układu z rys. 1b

$$R_x = \frac{U - I \cdot R_a}{I}$$

przy czym:

I – prąd zmierzony amperomierzem,

U – napięcie zmierzone woltomierzem,

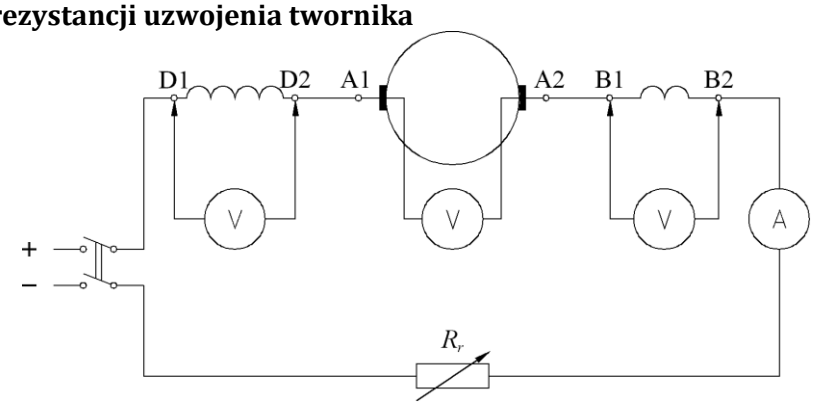
R_v – rezystancja wewnętrzna woltomierza,

R_a – rezystancja wewnętrzna amperomierza wraz z ewentualnym bocznikiem.

1.2. Pomiar rezystancji uzwojeń maszyn prądu stałego

Pomiar rezystancji uzwojeń twornika, biegunów pomocniczych, uzwojeń kompensacyjnych i uzwojeń szeregowych wykonuje się w układzie przedstawionym na rys. 2.2.

Rys. 2. Pomiar rezystancji uzwojenia twornika



Źródło. Opracowanie własne na podstawie L. Kacejko, *Pracownia elektryczna i elektroniczna*, WSiP, Warszawa 2010

Ze względu na nagrzewanie się uzwojeń prąd podczas pomiaru nie powinien przekraczać 25% prądu znamionowego tych uzwojeń. Jeżeli konieczne jest stosowanie prądów o większych wartościach natężenia, należy odpowiednio skrócić czas pomiarów.

Mierząc rezystancję uzwojeń twornika w maszynie zmontowanej, należy zwrócić uwagę na prawidłowe przyłączenie woltomierza. Końcówki przewodów od woltomierza powinny być przyłożone bezpośrednio do działek komutatora, leżących pod różnobiegunowymi szczotkami maszyny, przy czym wszystkie szczotki powinny przylegać do komutatora. Nie należy przyłączać woltomierza do szczotek. Pomiar wykonuje się dla trzech różnych położeń twornika i oblicza wartość średnią. Rezystancję uzwojenia bocznikowego mierzy się, w zależności od jej szacunkowej wartości, w układzie dokładnego pomiaru napięcia (rys. 1a) lub dokładnego pomiaru prądu (rys. 1b). Często do dalszych obliczeń potrzebna jest wartość rezystancji uzwojeń w temperaturze pracy. Ponieważ pomiar rzeczywisty temperatury pracy uzwojeń jest dość kłopotliwy, zgodnie z normą „jeżeli temperatura końcowa uzwojeń maszyny nie została określona w wyniku pomiaru, rezystancję zmierzoną w stanie zimnym przelicza się na pewną umowną temperaturę odniesienia". Temperatura ta wynosi:

- 347K (75°C) – dla klas izolacji uzwojeń A, B, E,
- 387K (115°C) – dla klas izolacji uzwojeń F i H.

Jeśli uzwojenia wykonane są z miedzi, rezystancję przelicza się zgodnie ze wzorem:

$$R^* = R_{T1}\frac{T_2 - 38}{T_1 - 38}$$

a jeśli są aluminiowe, wzorem:

$$R^* = R_{T1}\frac{T_2 - 28}{T_1 - 28}$$

przy czym:

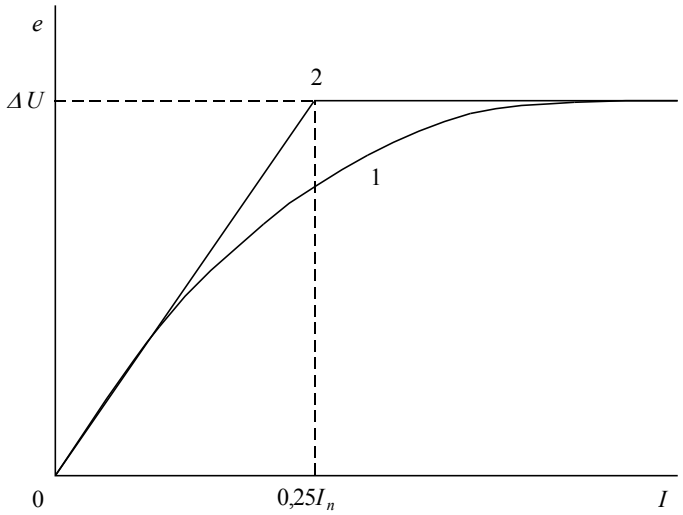
T_1 – temperatura stanu zimnego (w K),
T_2 – temperatura odniesienia (w K),
R_{T1} – rezystancja uzwojenia w temperaturze stanu zimnego (w Ω),
R^* – rezystancja uzwojenia w temperaturze odniesienia (w Ω).

1.3. Spadek napięcia na szczotkach

Rezystancja szczotek oraz rezystancja przejścia między szczotką a komutatorem jest nieliniowa. Zależy ona od wartości natężenia przepływającego prądu, prędkości obrotowej komutatora, biegunowości szczotki, siły nacisku, rodzaju materiału szczotki i komutatora. Charakterystyczne wielkości dla różnych typów szczotek są podawane w katalogach wytwórców.

W praktyce nie określa się rezystancji przejścia, lecz spadek napięcia e_{sz} na tej rezystancji. Szacunkowo przyjmuje się, że spadek ten dla pary szczotek zmienia się według krzywej 1 (rys. 3). W praktyce spadek napięcia na rezystancji przejścia szacujemy na podstawie uproszczonego wykresu (krzywa 2).

Rys. 3. Spadek napięcia na szczotkach



Źródło. Opracowanie własne na podstawie L. Kacejko, *Pracownia elektryczna i elektroniczna*, WSiP, Warszawa 2010

1.4. Pomiary prędkości obrotowej

Prędkość obrotową najczęściej się mierzy:

- obrotomierzem (tachometrem) odśrodkowym,
- prądnicą tachometryczną,
- tachometrem stroboskopowym,
- tachometrem cyfrowym.

Obrotomierz odśrodkowy działa na podobnej zasadzie jak powszechnie znany odśrodkowy regulator prędkości obrotowej. Tachometr sprzęga się z wałem badanej maszyny za pomocą sprzęgiełka. Łatwo zmieniane przekładnie zębate, w które jest zaopatrzony tachometr, pozwalają na uzyskanie bardzo dużego zakresu pomiarowego. Przyrząd ten służy do pomiaru prędkości obrotowej w stanie ustalonym.

Prądnica tachometryczna jest to zwykle jednofazowa prądnica synchroniczna z wirującymi magnesami trwałymi. Strumień magnetyczny ma zatem wartość stałą. Wartość indukowanej siły elektromotorycznej w uzwojeniu twornika prądnicy jest więc proporcjonalna tylko do prędkości obrotowej:

$$E = c \cdot \Phi \cdot n = C \cdot n$$

Mierząc napięcie na zaciskach prądnicy, jednocześnie mierzy się prędkość obrotową sprzęgniętej z nią maszyny. Zwykle woltomierz stanowi komplet z prądnicą i jest wywzorcowany w obrotach na minutę. Metodę tę można stosować do pomiarów prędkości obrotowej zarówno w stanie ustalonym, jak i nieustalonym.

Wymienione metody pomiaru prędkości obrotowej mają te wadę, że podczas pomiaru badana maszyna jest obciążona dodatkowym momentem hamującym (tachometrem). Jeśli badane są mikromaszyny lub maszyny o ułamkowej mocy, to moment ten jest dla nich za dużym obciążeniem i tym samym uniemożliwia pomiary. Wady tej nie ma metoda pomiaru prędkości obrotowej za pomocą tachometru stroboskopowego.

Tachometr stroboskopowy jest przyrządem, którego głównym elementem jest lampa błyskowa o regulowanej liczbie błysków w jednostce czasu. Regulacja ta odbywa się płynnie przez przestrajanie elektronicznego generatora impulsów zapłonowych. Oświetlając stroboskopem wirujący wał maszyny, na którym uprzednio narysowano promieniową kreskę, tak regulujemy częstość błysków lampy, aż uzyskamy pozornie

nieruchomy obraz narysowanej kreski. Oznacza to, że częstość błysków lampy stroboskopowej, mierzona np. w liczbie błysków na sekundę, jest równa prędkości obrotowej wału w obrotach na sekundę. Wartość tę można odczytać bezpośrednio ze skali przyrządu. Gdy zamiast jednej nieruchomej kreski na wale maszyny zaobserwuje się ich 2, 3, 4 itd., oznacza to, że częstość błysków lampy stroboskopowej jest większa odpowiednio 2, 3, 4 razy. Wadą tej metody jest to, że nadaje się ona do pomiarów prędkości obrotowej tylko w stanie ustalonym. Dokładność jej pomiaru wynosi około 3% i zależy od klasy dokładności generatora impulsów zapłonowych.

Bardzo dużą dokładność pomiaru prędkości obrotowej gwarantuje tachometr cyfrowy. Zasada jego działania polega na zliczeniu liczby impulsów elektrycznych przypadających na jednostkę czasu. Liczba impulsów musi być proporcjonalna do liczby obrotów. W tym celu na wale badanej maszyny umieszcza się specjalną tarczę z otworkami rozmieszczonymi symetrycznie na okręgu. Z jednej strony tarczy znajduje się źródło światła, a z drugiej przetwornik fotoelektryczny. Tarcza, wirując, powoduje okresowe oświetlenie przetwornika, który impulsy świetlne zamienia na impulsy elektryczne. Następnie, po odpowiednim uformowaniu, impulsy elektryczne są podawane na licznik tachometru. Wynik pomiaru odczytuje się bezpośrednio z ekranu tachometru. Dokładność tego typu tachometru jest bardzo duża, wynosi ona 0,1%.

Pomiar poślizgu

Definicję poślizgu przedstawia wzór:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

w którym:

n_1 – prędkość obrotowa wirującego pola magnetycznego,
n – prędkość obrotowa wirnika.

W zależności od wartości obciążenia poślizg maszyn indukcyjnych w ustalonych stanach pracy zmienia się w przedziale wartości od 0,005 do 0,1. Zatem wartości n_1 i n są często bardzo sobie bliskie. W takich wypadkach nie można wyznaczać różnicy $n_1 - n$ przez oddzielny pomiar tych wielkości, gdyż nawet niewielkie błędy w pomiarze n_1 i n (rzędu jednego procentu) będą powodować błędy wartości poślizgu sięgające kilkuset procent. Określenie poślizgu silnika według wzoru musi więc polegać na bezpośrednim wyznaczeniu różnicy $n_1 - n$. Wyjątkiem jest pomiar prędkości obrotowej tachometrem cyfrowym, którego duża dokładność eliminuje możliwość powstania dużego błędu wyznaczanego poślizgu.

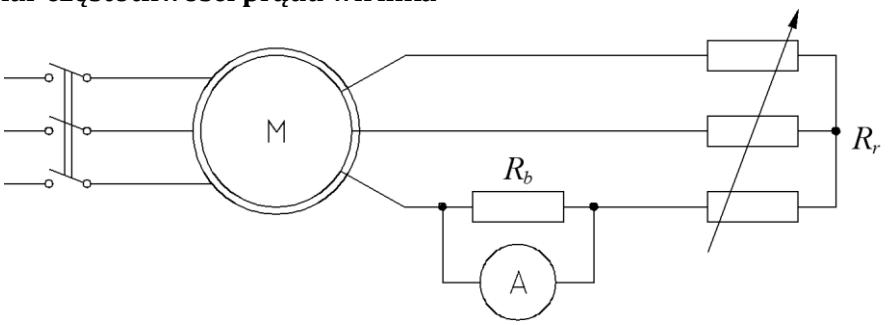
Pomiar częstotliwości prądu wirnika

Częstotliwości prądu stojana f_1 i wirnika f_2 w maszynach asynchronicznych są związane zależnością:

$$s = \frac{f_2}{f_1}$$

Dla znanej zazwyczaj częstotliwości f_1 wyznaczenie częstotliwości f_2 jest jednoznaczne z określeniem poślizgu s.

Rys. 4. Pomiar częstotliwości prądu wirnika



Źródło. Opracowanie własne na podstawie L. Kacejko, *Pracownia elektryczna i elektroniczna*, WSiP, Warszawa 2010

W celu pomiaru częstotliwości f_2 w silnikach pierścieniowych należy włączyć w obwód wirnika amperomierz magnetoelektryczny z zerem pośrodku skali, bocznikowany rezystancją R_b (rys. 4). Ponieważ częstotliwość prądów wirnika jest niewielka (0,025 - 5Hz), wskazówka amperomierza magnetoelektrycznego będzie się wahać wokół położenia zerowego, przy czym czas jednego pełnego wychylenia odpowiada jednemu cyklowi. Mierzy się czas trwania od kilku do kilkudziesięciu cykli, tak by niezależnie od wartości mierzonej częstotliwości czas pomiaru wynosił około 30s. Taki tok postępowania gwarantuje wystarczającą dokładność, nawet wtedy, gdy czas jest mierzony zwykłym zegarkiem z centralnym sekundomierzem. W takim wypadku pomiar muszą wykonywać dwie osoby. Pomiar częstotliwości można również zrealizować przez pomiar spadku napięcia na jednym z przewodów zwierających uzwojenie wirnika.

Na podstawie otrzymanych wyników:

$$f_2 = \frac{x}{t}$$

przy czym:
x – liczba pełnych wychyleń wskazówki w czasie t.

Rezystancja R_b bocznikująca amperomierz w czasie rozruchu silnika powinna być ustawiana na wartość $R = 0$. Po rozruchu rezystancję należy zwiększać aż do wystąpienia wyraźnych wahań wskazówki. Nie należy jednak zbytnio zmniejszać zakresu pomiarowego amperomierza, gdyż wskutek inercji jego organu ruchomego amplituda wychyleń wskazówki, zwłaszcza dla większych częstotliwości, jest znacznie mniejsza niż wynikałoby to z wartości natężenia prądu płynącego przez przyrząd. Może to doprowadzić do jego uszkodzenia.

1.5. Metoda stroboskopowa

Wał maszyny, na którym – podobnie jak w przypadku pomiaru prędkości obrotowej stroboskopem – jest narysowana biała kreska, oświetla się lampą neonową zasilaną napięciem o częstotliwości takiej samej jak częstotliwość napięcia zasilającego. Ponieważ prędkość obrotowa wału jest mniejsza niż prędkość synchroniczna, więc obraz gwiazdy, o liczbie ramion zależnej od liczby par biegunów silnika, będzie wirował w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania wału. Wyznaczając liczbę pełnych obrotów gwiazdy przypadających na jednostkę czasu, znajduje się częstotliwość f_2.

Najczęściej jako lampy neonowej używa się lampy tachometru stroboskopowego, którego częstotliwość błysków jest synchronizowana z częstotliwością sieci (wykonania tachometrów przewidują taką możliwość). Błyski tachometru mają krótki czas trwania oraz dużą moc, co powoduje, że obraz gwiazdy jest bardzo wyraźny.

1.6. Metody pomiaru momentu obrotowego i mocy na wale maszyny

Uwagi ogólne

W większości maszyn elektrycznych następuje zamiana energii elektrycznej na mechaniczną (silniki) lub mechanicznej na elektryczną (prądnice). Toteż podczas ich badań często jest niezbędny pomiar mocy mechanicznej dostarczanej bądź odbieranej z maszyny za pośrednictwem wału. Konieczność taka występuje zwłaszcza podczas wyznaczania sprawności maszyn oraz w wypadku silników – w czasie wyznaczania ich charakterystyk mechanicznych.

Metody wyznaczania mocy lub momentu na wale maszyny można podzielić na:

- bezpośrednie,
- pośrednie,
- mieszane (metoda prądnicy hamulcowej).

Metody bezpośrednie polegają na bezpośrednim pomiarze momentu obrotowego M na wale maszyny oraz prędkości obrotowej n. Szukana moc mechaniczna:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot M \cdot n$$

przy czym:

P – moc na wale (w W),
M – moment obrotowy (w N·m),
N – prędkość obrotowa (w obr/s).

Prędkość obrotową mierzy się dowolną z metod omówionych w p. 3. Moment obrotowy natomiast mierzy się za pomocą urządzenia zwanego hamulcem pomiarowym.

Metoda pośrednia polega na pomiarze mocy elektrycznej P_{el} na zaciskach badanej maszyny oraz wyznaczeniu strat mocy traconej w maszynie ΔP. Szukana moc na wale P_{mech} wynosi:

dla silników –

$$P_{mech} = P_{el} - \Delta P$$

dla prądnic –

$$P_{mech} = P_{el} + \Delta P$$

Wartość momentu może być obliczona według wzoru:

$$M = \frac{P_{mech}}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

Ponieważ metody te są tematem niektórych ćwiczeń laboratoryjnych, nie będą tu dokładniej omawiane.

Metoda łącząca elementy obydwóch omówionych metod nazywa się metodą prądnicy hamulcowej. Polega ona na tym, że jako hamulca używa się prądnicy (najczęściej prądu stałego, bocznikowej lub obcowzbudnej), dla której znana jest zależność mocy na wale P_{mech} lub sprawności od mocy elektrycznej oddawanej z zacisków P_{el} (P_{mech}; $\eta = f(P_{el})$).

Badany silnik napędza prądnicę hamulcową, która po wzbudzeniu może być obciążona i oddawać moc np. na odbiornik o regulowanej rezystancji. Dla zmierzonej mocy na zaciskach maszyny hamulcowej z wykresu znajduje się odpowiadającą jej sprawność, co pozwala dla znanej prędkości obrotowej obliczyć moment obrotowy silnika jako:

$$M = \frac{P_{el}}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot \eta}$$

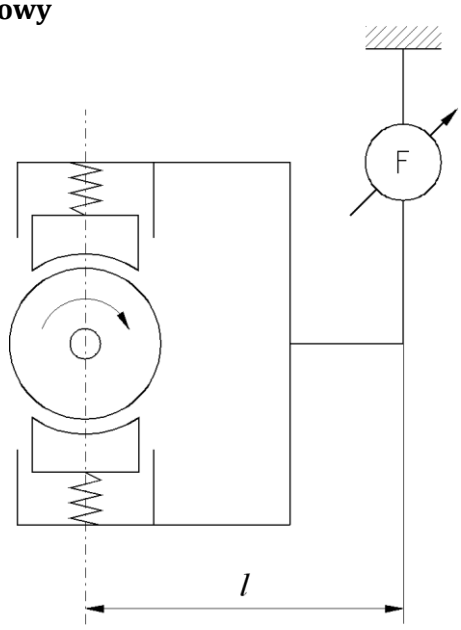
Należy jednak pamiętać, że straty w maszynie hamulcowej, a więc i jej sprawność, są funkcją wielu zmiennych, takich jak: napięcie, prąd, prędkość obrotowa, temperatura. Aby można było korzystać z wykresu $\eta = f(P_{el})$, musi być on wyznaczony dla takich samych wartości parametrów, jakie występują dla danego pomiaru. W tym celu posługujemy się nie jedną, lecz całą rodziną charakterystyk, wyznaczonych najczęściej dla różnych wartości prędkości obrotowych przy stałym napięciu na zaciskach prądnicy. Należy wtedy pamiętać o utrzymaniu w czasie pomiarów stałej wartości napięcia.

1.7. Bezpośrednie metody pomiaru momentu

Jak wspomniano wcześniej, do pomiaru momentu obrotowego używa się hamulców pomiarowych. Hamulec składa się z dwóch części. Pierwsza służy do obciążenia wału badanej maszyny wymaganym momentem, a druga do pomiaru tego momentu. Do najczęściej spotykanych rodzajów hamulców pomiarowych należą:

- cierne,
- elektromaszynowe,
- indukcyjne.

Rys. 5. Hamulec cierny klockowy



Źródło. Opracowanie własne na podstawie L. Kacejko, *Pracownia elektryczna i elektroniczna*, WSiP, Warszawa 2010

Hamulce cierne. Przykład hamulca ciernego przedstawiono na rys. 5. Na wał badanego silnika jest nałożona tarcza, po której ślizgają się dociskane klocki hamulcowe. Siłę docisku można dowolnie regulować. Jeżeli badany silnik zostanie wprawiony w ruch, to na skutek tarcia między tarczą a klockami na klocki będzie działał moment obrotowy zgodny z kierunkiem obrotów. Moment ten jest równoważony przez naciąg sprężyny dynamometru zaczepionego na ramieniu l sztywno sprzęgniętym z klockami ciernymi hamulca. Znając siłę F odczytaną z dynamometru i długość ramienia l, można obliczyć wartość poszukiwanego momentu, którym jest obciążony silnik:

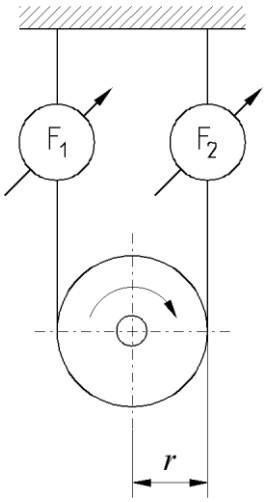
$$M = F \cdot l$$

Zmiana wartości momentu, którym jest obciążony silnik, następuje przez zmianę siły docisku klocków hamulcowych. Ponieważ podczas pomiaru cała energia oddawana przez silnik jest zamieniona na ciepło, klocki i tarcza rozgrzewają się. Długotrwałe obciążenie wymaga odprowadzenia od układu dużych ilości ciepła, dlatego tarcza hamul-

cowa często jest wydrążona i wypełniona wodą, którą się uzupełnia w miarę odparowywania.

Podaną zasadę hamowania i pomiaru momentu stosuje się najczęściej do badań mikromaszyn i maszyn mocy ułamkowej. Funkcję klocków hamulcowych spełnia wtedy skórzany pasek (rys. 6).

Rys. 6. Hamulec cierny pasowy



Źródło. Opracowanie własne na podstawie L. Kacejko, *Pracownia elektryczna i elektroniczna*, WSiP, Warszawa 2010

Moment obciążenia silnika określa się ze wzoru:

$$M = F \cdot r$$

w którym:

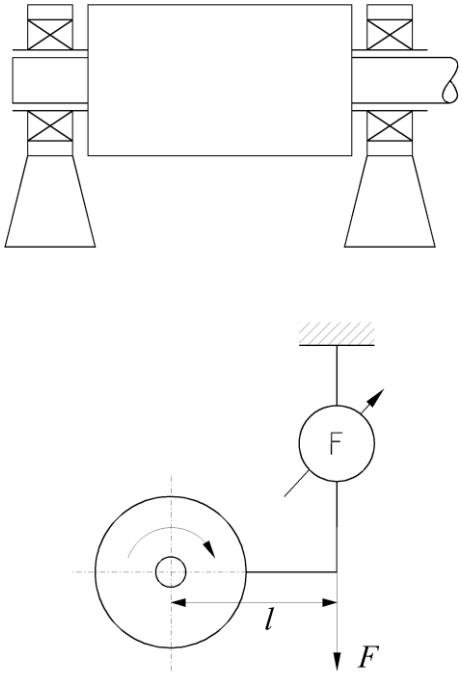
F – różnica wskazań dynamometrów,

r – promień tarczy hamulcowej.

Wadą hamulców ciernych, utrudniającą wykonanie pomiarów, jest nagrzewanie trących się elementów, co prowadzi do zmiany współczynnika tarcia, a w związku z tym i do zmiany momentu.

Hamulec elektromaszynowy jest maszyną elektryczną, której stojan nie stoi na łapach, jak w normalnej maszynie (rys. 7), lecz jest dodatkowo ułożyskowany i może swobodnie obracać się. Na ramieniu l, zamocowanym na sztywno do stojana, jest zamocowany dynamometr.

Rys. 7. Hamulec elektromaszynowy

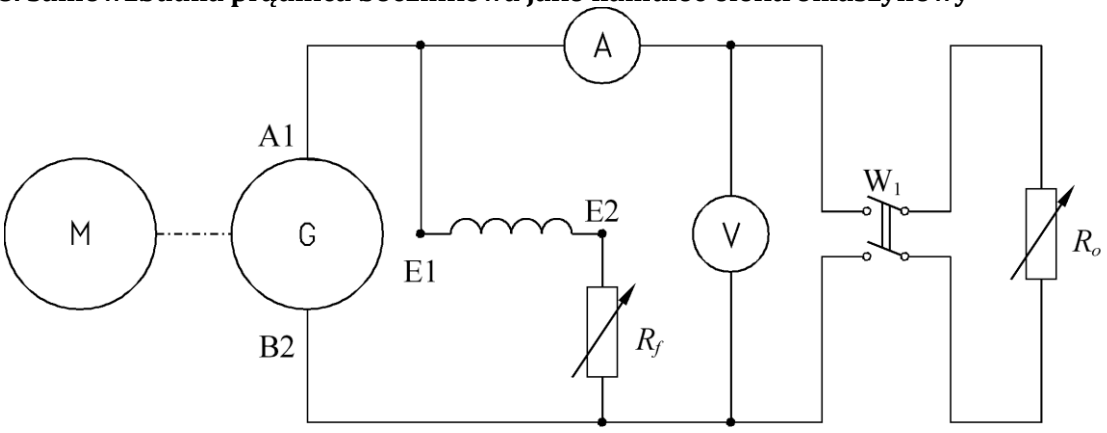


Źródło. Opracowanie własne na podstawie L. Kacejko, *Pracownia elektryczna i elektroniczna*, WSiP, Warszawa 2010

Wspólną cechą hamulców elektromaszynowych jest to, że energia mechaniczna dostarczana przez silnik nie jest tracona wewnątrz hamulca (z wyjątkiem strat mocy), lecz po zamianie na energię elektryczną może być oddawana do sieci lub tracona na opornikach obciążających. Po obciążeniu maszyny hamulcowej między jej stojanem i wirnikiem powstaje moment będący wynikiem oddziaływania twornika i strat mocy wewnątrz maszyny. Moment ten jest miarą momentu wytwarzanego przez silnik. Mierzy się go podobnie jak w hamulcach ciernych, równoważąc siłę działającą na stojan naciągiem sprężyny dynamometru.

Jako maszyny hamulcowe są zwykle stosowane prądnice bocznikowe prądu stałego, maszyny asynchroniczne oraz maszyny komutatorowe prądu przemiennego.

Rys. 8. Samowzbudna prądnica bocznikowa jako hamulec elektromaszynowy

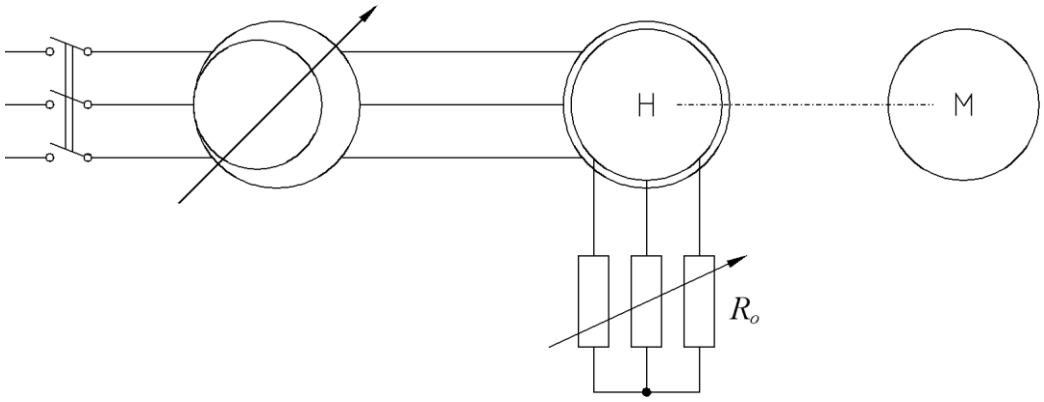


Źródło. Opracowanie własne na podstawie L. Kacejko, *Pracownia elektryczna i elektroniczna*, WSiP, Warszawa 2010

Na rysunku 8 przedstawiono schemat elektryczny hamulca, w którym zastoso-

wano prądnicę bocznikową G. Chcąc badany silnik obciążyć zadanym momentem, należy wzbudzić prądnicę oraz po zamknięciu wyłącznika W_1 obciążyć ją opornikiem regulacyjnym R_o aż do uzyskania wymaganego wskazania na dynamometrze. Przyrządy pomiarowe widoczne na rysunku służą tylko jako wskaźniki kontrolne, aby zapobiec przekroczeniu wartości znamionowych prądu i napięcia. Zaletą tego typu hamulca jest łatwa obsługa, wygodna regulacja momentu obciążenia oraz autonomia układu (nie wymaga zasilania z obcych źródeł). Wadą natomiast jest niewielki moment hamujący prądnicy wirującej ze zmniejszoną prędkością obrotową. To sprawia, że hamulce takie można stosować jedynie dla pewnego przedziału prędkości obrotowej. Niedogodność tę można złagodzić przez zastosowanie obcego wzbudzenia.

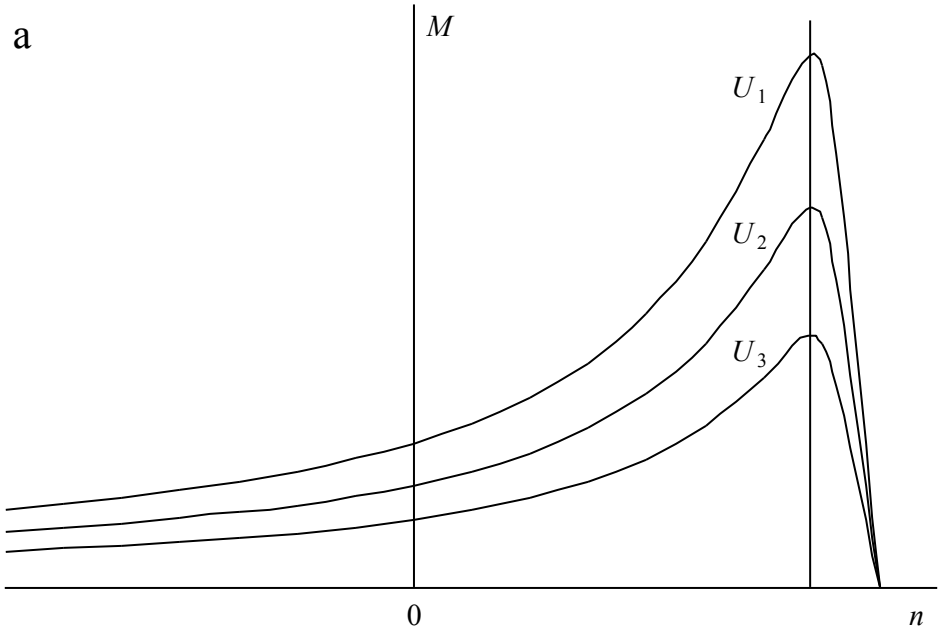
Rys. 9. Maszyna indukcyjna pierścieniowa jako hamulec elektromaszynowy

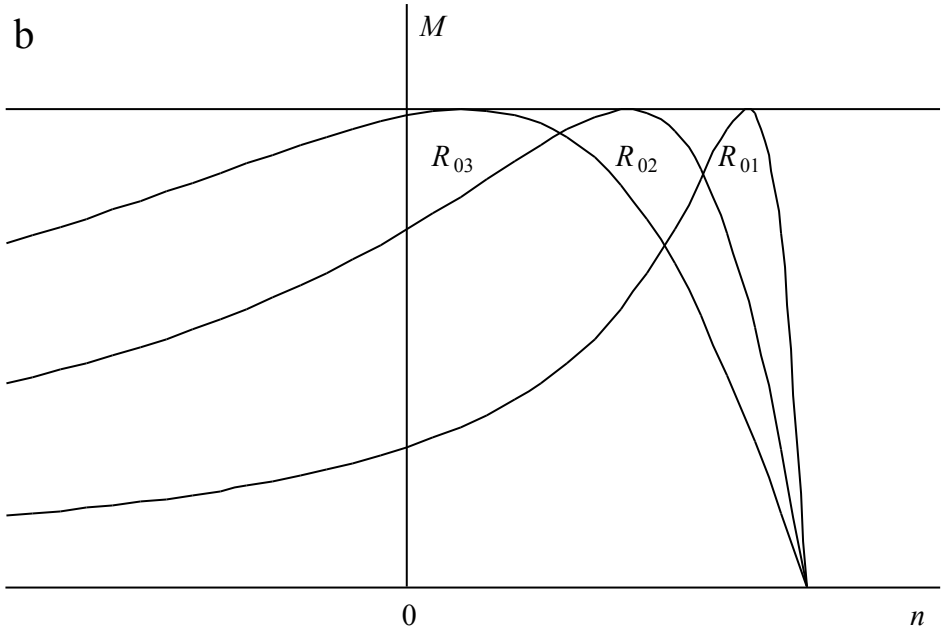


Źródło. Opracowanie własne na podstawie L. Kacejko, *Pracownia elektryczna i elektroniczna*, WSiP, Warszawa 2010

Wad tych nie ma hamulec zbudowany z maszyny asynchronicznej pierścieniowej (rys. 9), w której korzysta się z obszaru pracy w przeciwprądzie, tzn. z obszaru, w którym kierunek wirowania strumienia wzbudzonego przez prądy w uzwojeniu stojana jest przeciwny do kierunku wirowania badanego silnika. Wymagany moment obciążenia silnika uzyskuje się przez zmianę wartości napięcia zasilającego stojan (rys. 10a) lub wartości rezystancji R_o włączanej w obwód wirnika (rys. 10b) lub jednocześnie obydwoma sposobami. Cenną zaletą tego hamulca jest możliwość uzyskania dużych momentów hamujących, nawet dla prędkości obrotowej $n = 0$.

Rys. 10. Regulacja momentu maszyny indukcyjnej przez: a – zmianę napięcia, b – zmianę rezystancji wirnika





Źródło. Opracowanie własne na podstawie L. Kacejko, *Pracownia elektryczna i elektroniczna*, WSiP, Warszawa 2010

Hamulec indukcyjny składa się z tarczy miedzianej lub aluminiowej, którą sprzęga się z wałem badanego silnika. Tarcza ta wiruje w polu magnetycznym elektromagnesów zasilanych prądem stałym, których wartość strumienia można regulować przez zmianę prądu wzbudzenia. W tarczy indukują się prądy wirowe, powodując powstanie strat energii. Prądy te oddziałując na strumień elektromagnesów, powodują powstanie momentu obrotowego między tarczą a elektromagnesem. Moment ten jest równoważony dynamometrem.

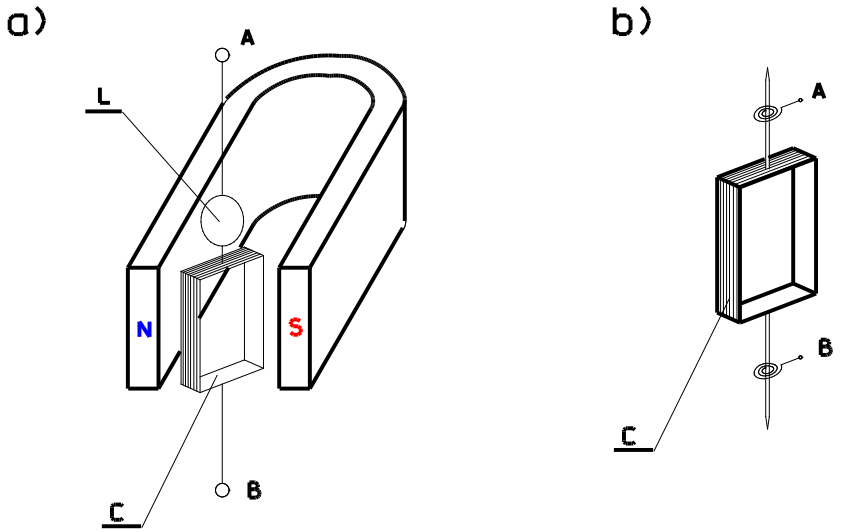
Hamulce indukcyjne są stosowane dla niewielkich wartości momentu. Ich wadą jest niewielki moment hamujący, gdy prędkość obrotowa jest mała, dlatego używa się je najczęściej do badań wysokoobrotowych silników mocy ułamkowej.

III. Mierniki do pomiaru parametrów maszyn

1. Miernik magnetoelektryczny

W mierniku magnetoelektrycznym działają siły na przewody cewki nawiniętej na prostokątnej ramce umieszczonej w polu magnetycznym magnesu stałego. Tworzą one parę sił skręcającą ramkę. Obrotowi przeciwdziała moment zwracający rosnący wraz z kątem obrotu. Równowaga ustala się przy zrównaniu obu momentów.

Rys. 11. Schemat galwanometru lusterkowego



Źródło. *Praktyczna elektrotechnika*, Praca zbiorowa, Rea, Warszawa 2012

Na rys. 11 pokazany jest schemat galwanometru lusterkowego. Ramka z cewką C zawieszona jest na cienkich sprężystych taśmach dających moment zwracający, a stanowiących zarazem doprowadzenie prądu do cewki (zaciski A i B). Do górnej taśmy przymocowane jest lusterko L. Wiązka światła po odbiciu od niego pada na skalę, na której można odczytać kąt obrotu ramki.

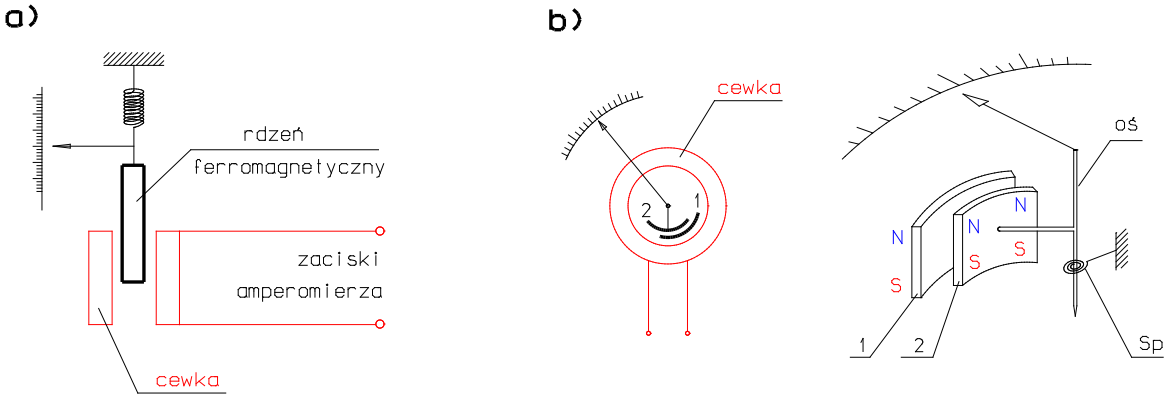
W amperomierzach ramka z cewką umieszczona jest na osi obracającej się w ostrzowych łożyskach. Moment zwracający oraz doprowadzenie prądu stanowią dwie sprężynki spiralne połączone z końcami uzwojenia cewki. Z ramką połączona jest wskazówka. Dla zwiększenia pola magnetycznego, w którym poruszają się boczne przewody cewki, wewnątrz ramki umieszczony jest żelazny walec. Należy pokazać model galwanometru (włączyć prąd i pokazać ruch plamki świetlnej na ekranie), ramkę ze sprężynkami i wskazówką wyjęte z miernika oraz układ magnesu i cewki miernika demonstracyjnego – zbliżenia na ekranie monitora.

Mierniki te stosuje się tylko do pomiaru prądu stałego. Prąd zmienny można mierzyć po dołączeniu prostownika i odpowiednim wyskalowaniu.

2. Miernik elektromagnetyczny

Zasada działania polega na wciąganiu rdzenia ferromagnetycznego do wnętrza cewki, przez którą przepływa mierzony prąd. Szkic modelu pokazuje rys. 11a.

Rys. 11. Schemat miernika elektromagnetycznego



Źródło. *Praktyczna elektrotechnika*, Praca zbiorowa, Rea, Warszawa 2012

Inny typ miernika elektromagnetycznego wykorzystuje odpychanie się dwóch blaszek ferromagnetycznych umieszczonych w cewce, przez którą płynie mierzony prąd (rys. 11b). Jedna z blaszek (1) jest nieruchoma, a druga (2) przymocowana do osi. Sprężynka spiralna Sp zapewnia moment zwracający. Układ z rys. 11b jest w mierniku demonstracyjnym; pokazać go w zbliżeniu na ekranie monitora, a włączając prąd uwidocznić ruch blaszki ruchomej (2).

Miernik ten, po wyskalowaniu prądem stałym, mierzy wartość skuteczną prądu zmiennego.

Woltomierz jest to przyrząd pomiarowy, za pomocą którego mierzy się napięcie elektryczne (jednostka napięcia wolt).

Rys. 12. Wygląd woltomierza

Źródło. *Praktyczna elektrotechnika*, Praca zbiorowa, Rea, Warszawa 2012

Woltomierz jest włączany równolegle do obwodu elektrycznego. Idealny woltomierz posiada nieskończenie dużą rezystancję wewnętrzną. W związku z tym oczekuje się pomijalnie małego upływu prądu przez cewkę pomiarową.

Obwody, w których dokonujemy pomiaru napięcia mogą mieć różną konfigurację i parametry, które pod wpływem włączenia woltomierza do obwodu ulec mogą zmianie,

obarczając wynik pomiaru pewnym błędem – gdyż woltomierz zasilanie (moc) czerpie najczęściej z układu.

Woltomierz **magnetoelektryczny** służy do pomiaru napięć stałych. Po zastosowaniu układu prostowniczego może mierzyć również napięcia przemienne. Zasada działania tego woltomierza polega na oddziaływaniu pola magnetycznego, wytworzonego przez prąd płynący przez cewkę, nawiniętą na część ruchomą miernika, na stałe pole magnetyczne, w którym znajduje się cewka.

Woltomierz **elektromagnetyczny** służy do pomiaru napięć przemiennych. Ze względu na prostą budowę, a przez to niskie koszty produkcji, jest to najczęściej stosowany typ miernika, zwłaszcza w pomiarach technicznych. Działa na zasadzie oddziaływania pola elektromagnetycznego nieruchomej cewki na rdzeń ferromagnetyczny stanowiący ruchomą część ustroju pomiarowego.

Woltomierz **elektrodynamiczny** ma zastosowanie przy pomiarach napięć stałych i przemiennych. Ma bardziej złożoną budowę niż woltomierz magnetoelektryczny i elektromagnetyczny, przez co jest droższy i najrzadziej stosowany. Posiada dwie cewki, ruchomą i nieruchomą, które połączone są szeregowo. Moment pomiarowy powstaje na skutek wzajemnego oddziaływania dwóch cewek (stałej i ruchomej), przez które przepływa prąd.

Pomiaru natężenia prądu dokonuje się poprzez oddziaływanie przewodnika z prądem i pola magnetycznego budując następujące rodzaje amperomierzy:

- magnetoelektryczny,
- elektromagnetyczny,
- elektrodynamiczny,
- indukcyjny.

Stosowane są też amperomierze cieplne i termoelektryczne wykorzystujące efekt nagrzewania się przewodu, w którym płynie prąd. Amperomierze cieplne stosuje się w obwodach wielkiej częstotliwości, gdzie indukcyjność cewki amperomierza magnetycznego wprowadzałaby duże zmiany w obwodzie.

Przy pomiarach prądu stałego, dla zwiększenia zakresu pomiarowego **cewkę** ustroju łączy się równolegle z **bocznikiem**, przez który płynie część prądu. Wówczas odchylenie organu ruchomego mikroamperomierza jest proporcjonalne do prądu płynącego przez cały układ miernika. Współczynnik proporcjonalności pozwalający wyznaczyć rzeczywistą wartość prądu odpowiada, z pewną dokładnością, wartości stosunku **rezystancji** ustroju do rezystancji wewnętrznej całego miernika, wynikającej z równoległego połączenia rezystancji ustroju oraz bocznika. Do pomiaru dużych prądów stałych stosuje się również przekładniki prądu stałego, tzn. **transduktory**. Ze względu na wyższe koszty są rzadko stosowane.

Do rozszerzenia zakresu pomiarowego amperomierza przy pomiarach prądu przemiennego wykorzystuje się układ amperomierza z przekładnikiem prądowym.

Amperomierz jest włączany szeregowo w obwód elektryczny. Idealny amperomierz posiada nieskończenie małą rezystancję wewnętrzną. W amperomierzach realizowalnych fizycznie wartość rezystancji wewnętrznej jest różna od zera. W związku z tym występuje na nich spadek napięcia mający wpływ na dokładność wyniku dokonanego pomiaru. Rezystancję wewnętrzną amperomierza można pominąć w pomiarach technicznych, przy zachowaniu warunków znamionowych pomiaru.

Rys. 12. Wygląd amperomierza tablicowego

Źródło. *Praktyczna elektrotechnika*, Praca zbiorowa, Rea, Warszawa 2012

Watomierz – jest przyrządem przeznaczonym do pomiaru mocy czynnej.

Watomierze budowane są jako mierniki:

- elektrodynamiczne,
- ferrodynamiczne,
- indukcyjne.

Watomierz elektrodynamiczny – najczęściej spotykany typ miernika. Przeznaczony jest do pomiaru mocy w obwodach prądu stałego i przemiennego.

Ma on dwie cewki: nieruchomą cewkę prądową, o małej rezystancji oraz ruchomą cewkę napięciową, o dużej rezystancji. Cewkę prądową włącza się do układu poprzez zaciski prądowe, szeregowo z obciążeniem. Cewkę napięciową – poprzez zaciski napięciowe, równolegle z obciążeniem. Odchylenie wskazówki miernika jest proporcjonalne do iloczynu prądu w cewce prądowej, napięcia na cewce napięciowej i cos φ:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

gdzie:

U – napięcie
I – natężenie
cos φ – kąt fazowy (w prądzie zmiennym)

Na tarczy podziałkowej watomierza znajduje się symbol jednostki wielkości mierzonej (W – wat, moc czynna).

Miernik cyfrowy to miernik elektroniczny, w którym wielkość mierzona jest kodowana i wyświetlana w formie cyfrowej.

Rys. 13. Cyfrowy miernik uniwersalny

Źródło. *Praktyczna elektrotechnika*, Praca zbiorowa, Rea, Warszawa 2012

Watomierz – jest przyrządem przeznaczonym do pomiaru mocy czynnej. Watomierze budowane są jako mierniki: elektrodynamiczne, ferrodynamiczne oraz indukcyjne. Watomierz elektrodynamiczny – najczęściej spotykany typ miernika. Przeznaczony jest do pomiaru mocy w obwodach prądu stałego i przemiennego. Ma on dwie cewki: nieruchomą cewkę prądową, o małej rezystancji oraz ruchomą cewkę napięciową, o dużej rezystancji. Cewkę prądową włącza się do układu poprzez zaciski prądowe, szeregowo z obciążeniem. Cewkę napięciową – poprzez zaciski napięciowe, równolegle z obciążeniem.

Omomierz – przyrząd służący do pomiaru rezystancji. Do pomiaru rezystancji wykorzystuje się zależności występujące w prawie Ohma, czyli przez pomiar lub ustawienie natężenia prądu płynącego i napięcia na badanym elemencie. Klasyczne układy omomierzy można podzielić na szeregowe i równoległe.

Omomierz szeregowy – układ składa się ze źródła napięcia, rezystora i przeskalowanego amperomierza oraz badanego elementu. Wszystkie elementy połączone są szeregowo. Pomiaru dokonuje się przez pomiar natężenia prądu, przeskalowany miernik wskazuje opór. Najprostsze mierniki posiadają pokrętło do regulacji podłączonego szeregowo oporu, by korygować zmiany napięcia w trakcie zużycia baterii.

Omomierz równoległy – układ składa się ze źródła napięcia stałego, opornika wzorcowego, te elementy wraz z badanym rezystorem połączone są szeregowo. Równolegle do badanego elementu podłączony jest amperomierz, skala amperomierza jest wyskalowana w jednostkach oporu.

Rys. 14. Miernik uniwersalny pracujący jako omomierz

.

Źródło. *Praktyczna elektrotechnika*, Praca zbiorowa, Rea, Warszawa 2012

Multimetr jest zespolonym urządzeniem pomiarowym posiadającym możliwość pomiaru różnych wielkości fizycznych. Termin stosowany najczęściej w elektrotechnice do opisania urządzenia zawierającego co najmniej: amperomierz, woltomierz, omomierz. Cechą charakterystyczną jest sposób prezentacji pomiaru – zawsze na tym samym elemencie wyjściowym, przy użyciu:

- wskaźnika wychyłowego napędzanego siłą elektrodynamiczną w multimetrze analogowym,
- wyświetlacza LCD lub LED sterowanego mikroprocesorowo w multimetrze cyfrowym,
- interfejsu elektronicznego do przekazania danych np. do komputera.

Nowoczesne multimetry potrafią m.in. realizować kilka pomiarów jednocześnie, np. wartości napięcia i jego częstotliwości, zapamiętywać mierzone wielkości czy wyznaczać średnią z pomiarów.

Rys. 15. Wielofunkcyjny miernik elektryczny – multimetr

Źródło. *Praktyczna elektrotechnika*, Praca zbiorowa, Rea, Warszawa 2012

Bibliografia:

1. Barlik R., Nowak M. (1998) Układy sterowania i regulacji urządzeń energoelektronicznych. Warszawa: WSiP
2. Bartodziej G., Kałuża E. (2000) Aparaty i urządzenia elektryczne. Warszawa: WSiP
3. Bolkowski S. (2005) Elektrotechnika. Warszawa: WSiP
4. Chochowski A. (1998) Elektrotechnika z automatyką. Warszawa: WSiP
5. Chochowski A. (2003) Podstawy elektrotechniki i elektroniki dla elektryków. Część 1 i 2. Warszawa: WSiP
6. Chwaleba A., Moeschke B., Płoszajski G. (2008) Elektronika. Warszawa: WSiP

Netografia:

1. Januszewski S., Pytlak A., Rosnowska - Nowaczyk M., Świątek H. (2004) Energoelektronika. Warszawa: WSiP
2. Jabłoński W., Płoszajski G. (2003) Elektrotechnika z automatyką. Warszawa: WSiP
3. Kurdziel R. (1999) Elektrotechnika dla szkoły zasadniczej. Część 1 i 2. Warszawa: WSiP
4. Nowicki J. (1999) Podstawy elektrotechniki i elektroniki dla zasadniczych szkół nieelektrycznych. Warszawa: WSiP
5. Pilawski M. (2008) Pracownia elektryczna. Warszawa: WSiPFabijański P., Wójciak A. (2008) Praktyczna elektrotechnika ogólna. Warszawa: Rea