

POLITECHNIKA ŚLĄSKA W GLIWICACH
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ENERGETYKI
INSTYTUT MASZYN I URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH

INSTRUKCJA

do ćwiczeń laboratoryjnych
z „Metrologii wielkości energetycznych”

Ćwiczenie M-2

Pomiar mocy

Opracował: mgr inż. Marcin Job
Sprawdził: dr inż. Daniel Węcel
Zatwierdził: dr inż. Daniel Węcel

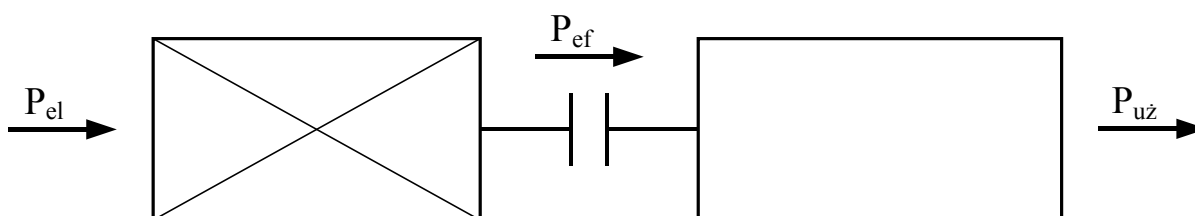
1. Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z podstawowymi technikami pomiaru mocy mechanicznej i elektrycznej silników elektrycznych. W tym celu wykonane zostają pomiary mocy silnika elektrycznego pozwalające na wyznaczenie jego charakterystyk i porównanie wyników uzyskanych dwoma metodami pomiaru mocy mechanicznej.

2. Ogólny schemat układu

Na rysunku 1 przedstawiono schemat układu napędowego, w którym można wyróżnić:

- moc elektryczna na wejściu silnika (w tym przypadku silnik elektryczny trójfazowy)
- moc mechaniczna (moc efektywna)
- moc użyteczna (zależna od rodzaju napędzanego urządzenia)



Rysunek 1. Ogólny schemat układu napędowego.

Tematem ćwiczenia jest pomiar mocy elektrycznej P_{el} i mechanicznej P_{ef} , co pozwala określić sprawność elektryczną silnika η_{el} z zależności:

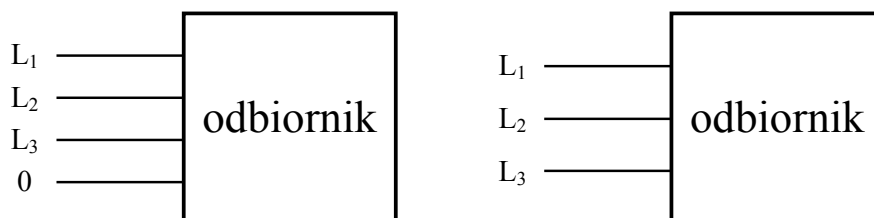
$$\eta_{el} = \frac{P_{ef}}{P_{el}} \quad (1)$$

Metoda pomiaru mocy użytecznej zależy od rodzaju urządzenia napędzanego.

3. Pomiar mocy elektrycznej.

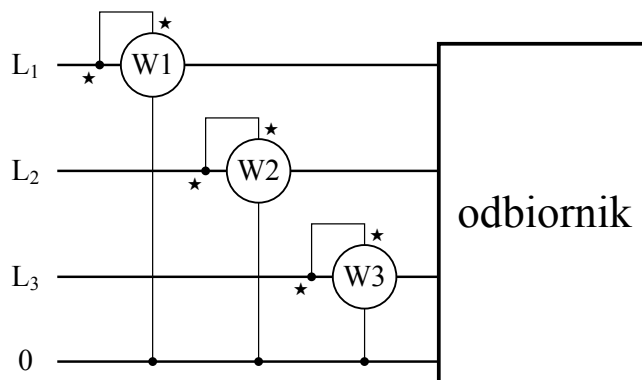
Odbiornik mocy elektrycznej w układzie trójfazowym może być podłączony na dwa sposoby:

- w układzie czteroprzewodowym (z przewodem zerowym)
- w układzie trójprzewodowym



Rysunek 2. Odbiorniki mocy elektrycznej w układzie czteroprzewodowym oraz w układzie trójprzewodowym.

W układzie 4-przewodowym do pomiaru mocy czynnej w przypadku niesymetrycznego obciążenia faz należy stosować 3 watomierze wg schematu:



Rysunek 3. Pomiar mocy czynnej odbiornika w układzie czteroprzewodowym.

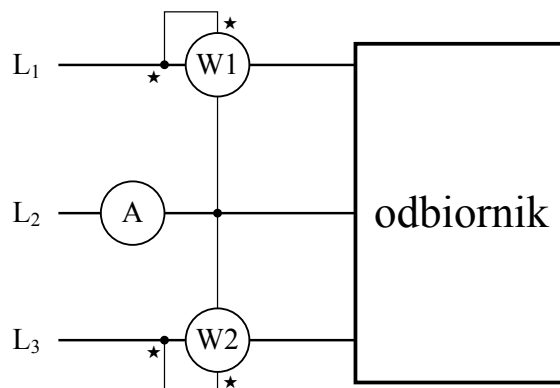
Całkowita moc czynna pobierana przez odbiornik jest sumą wskazań poszczególnych watomierzy:

$$P_{el} = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} \quad (2)$$

Jeżeli obciążenie każdej fazy jest jednakowe (odbiornik jest symetryczny) można zastosować jeden watomierz, a całkowita moc czynna P_{el} układu trójfazowego jest trzykrotnie większa od wskazania watomierza:

$$P_{el} = 3 \cdot P_W \quad (3)$$

Jeżeli odbiornik podłączony jest w układzie trójprzewodowym, to do pomiaru mocy czynnej wykorzystuje się dwa watomierze, podłączane w układzie Arona. W układzie tym obwody prądowe watomierzy włączane są w dwie dowolne fazy układu trójfazowego, a końce obwodów napięciowych łączone są z fazą, do której nie są włączone obwody prądowe. W przedstawionym układzie amperomierz pełni jedynie rolę pomocniczą. Pomiaru mocy czynnej w układzie Arona są poprawne zarówno przy symetrycznym jak i niesymetrycznym obciążeniu poszczególnych faz. Układ pomiarowy przedstawiono na schemacie poniżej:



Rysunek 4. Pomiar mocy czynnej odbiornika w układzie trójprzewodowym (układ Arona).

Całkowita moc czynna P_{el} pobierana przez odbiornik jest sumą wskazań watomierzy:

$$P_{el} = P_{W1} + P_{W2} \quad (4)$$

4. Pomiar mocy mechanicznej.

Pomiar mocy mechanicznej jest czynnością, której nie da się wykonać bezpośrednio. Istnieje kilka pośrednich sposobów pomiaru mocy, które ze względów energetycznych można podzielić na nieniszczące, niszczące i specjalne.

- Nieniszczące sposoby pomiaru mocy stosuje się do pomiaru mocy indykowanej (wewnętrznej) silników lub maszyn roboczych działających w sposób periodyczny. Polegają one na wyznaczeniu z wykresów indykatorowych pracy indykowanej przy znanej prędkości obrotowej maszyny. Ważną zaletą jest tutaj możliwość pomiaru mocy urządzenia w warunkach rzeczywistych, bez wprowadzania dodatkowego obciążenia.
- Metody niszczące polegają na zmianie pracy mechanicznej na inny rodzaj energii wygodniejszy do mierzenia, np. na ciepło lub energię elektryczną, lub też momentu obrotowego oraz prędkości obrotowej przy obciążaniu silnika za pomocą hamulca. Przemiana energii mechanicznej na ciepło nie daje zbyt dokładnych wyników, ze względu na duże straty, natomiast przy metodzie wykorzystującej zamianę energii mechanicznej na elektryczną konieczna jest znajomość sprawności prądnicy w zależności od obrotów i obciążenia, co nie zawsze jest znane. Najczęściej wyznacza się moc efektywną na stanowisku badawczym przy obciążeniu silnika za pomocą hamulca.

Sposób ten jest stosowany m.in. przy wyznaczeniu charakterystyk silnika i sporządzaniu bilansów urządzeń. Metody te nie pozwalają na ciągły pomiar mocy w warunkach rzeczywistych, tzn. bez odłączania silnika od napędzanej maszyny roboczej.

- W trudnych przypadkach stosuje się metody specjalne, polegające na pomiarze momentu obrotowego bez niszczenia mocy za pomocą hamulca. Obciążenie silnika stanowi tu napędzana maszyna robocza. Do tego typu pomiarów stosuje się dynamometry sprzęgowe lub torsjometry.

Moc mechaniczna jest iloczynem momentu mechanicznego M i prędkości kątowej ω :

$$P_{ef} = M \cdot \omega \quad (5)$$

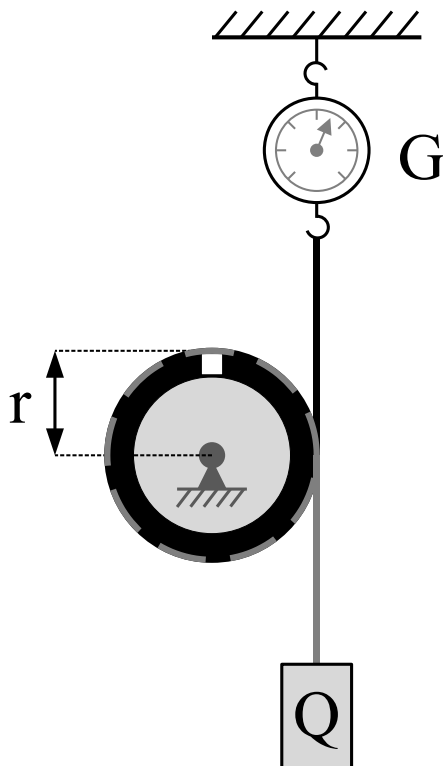
4.1. Pomiar prędkości kątowej.

Pomiaru prędkości obrotowej n (1/min) wykonuje się za pomocą tachometru optycznego zliczającego odbite impulsy świetlne. Silnik obciążony jest hamulcem taśmowym, na tarczy którego umieszczony jest srebrny prostokąt odbijający światło. Wynik pomiaru należy przekształcić na prędkość kątową ω (rad/s) według wzoru:

$$\omega = n \cdot \frac{2\pi}{60} \quad (6)$$

4.2. Pomiar momentu mechanicznego za pomocą hamulca (metoda 1).

Silnik obciążony jest hamulcem taśmowym wytwarzającym moment tarcia, który powoduje zmianę energii mechanicznej na ciepło.



Wartość momentu siły M_1 na wale hamulca można wyznaczyć mnożąc siłę tarcia taśmy o tarczę hamulca T przez promień tarczy hamulca r :

$$M_1 = T \cdot r \quad (7)$$

Promień tarczy hamulca wynosi $r = 0,14 \text{ m}$.

Siła tarcia liny o tarczę hamulca T jest różnicą wskazań masy Q i dynamometru G :

$$T = (Q - G) \cdot g \quad (8)$$

gdzie g to przyspieszenie ziemskie,

do obliczeń przyjmując $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

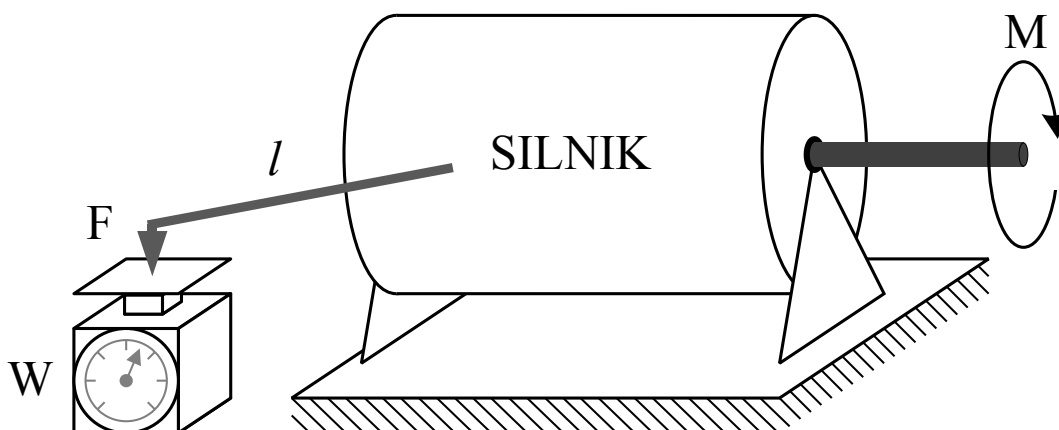
Moc mechaniczna dla pomiaru pierwszą metodą:

$$P_{\text{ef.1}} = M_1 \cdot \omega \quad (9)$$

Rysunek 5. Hamulec taśmowy silnika.

4.3. Pomiar momentu mechanicznego przez wahliwe zawieszenie silnika (metoda 2).

Innym sposobem pomiaru momentu siły na wale silnika jest jego wahliwe zawieszenie. Przy normalnym zamocowaniu silnika moment siły na jego wale jest przenoszony elektromagnetycznie na korpus i równoważony przez reakcje umocowania korpusu. Przy zamocowaniu korpusu silnika w łożyskach (jak na schemacie poniżej) moment siły M jest równoważony przez siłę F , którą mierzy się za pomocą wagi (reakcje w łożyskach przechodzą przez oś obrotu i nie dają momentu).



Rysunek 6. Pomiar momentu siły przez wahliwe zawieszenie silnika.

Wartość momentu siły M_2 określa wzór:

$$M_2 = F \cdot l \quad (10)$$

gdzie l jest długością ramienia korpusu silnika, wynosi $l = 0,635 \text{ m}$.

Siła F wyznaczana jest za pomocą wagi szalkowej, na której odczytywane jest wychylenie wskazówki W :

$$F = W \cdot g \quad (11)$$

Moc mechaniczna dla pomiaru drugą metodą:

$$P_{\text{ef.2}} = M_2 \cdot \omega \quad (12)$$

5. Przebieg ćwiczenia.

- 1) Dokonać pomiarów masy Q dla wszystkich używanych ciężarków hamulca wykorzystując wagę szalkową (liczba ciężarków od 1 do 5).
- 2) Przy obciążeniu „zerowym” silnika ($Q = 0$) wykonać pierwszą serię pomiarów: dynamometru G , wskazania wagi W , natężenia prądu na amperomierzu I , mocy na watomierzach P_{W1} i P_{W2} , oraz liczby obrotów n .
- 3) Obciążyć hamulec jednym ciężarkiem i wykonać następną serię pomiarową.
- 4) Powtórzyć krok 3 dla liczby ciężarków 2 do 5.
- 5) Analogicznie do kroków 2-4 dokonać pomiarów przy odciążaniu hamulca rozpoczynając od pomiarów dla obciążenia 5 ciężarkami i kończąc na pomiarach przy obciążeniu „zerowym”.

6. Opracowanie wyników.

Tabela pomiarowa oraz tabela wyników w formie przygotowanej do wydruku znajdują się na ostatniej stronie instrukcji.

Należy przygotować **dwie tabele pomiarowe** – dla pomiarów przy obciążaniu oraz odciążaniu hamulca:

- a) Dla wszystkich pomiarów obliczyć moc elektryczną P_{el} , prędkość kątową ω , oraz dla obu metod pomiaru mocy mechanicznej odpowiednio: momenty siły M_1 , M_2 , moce mechaniczne $P_{\text{ef.1}}$, $P_{\text{ef.2}}$ i sprawności elektryczne silnika $\eta_{\text{el.1}}$, $\eta_{\text{el.2}}$. Wyniki zestawić w tabeli wyników.
- b) Na podstawie przeprowadzonych pomiarów i otrzymanych wyników obliczeń utworzyć wykresy z następującymi charakterystykami badanego silnika:

- | | | |
|------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| I. | $N_{\text{el}} = f(\omega)$ | |
| II. | 1. $P_{\text{ef.1}} = f(\omega)$ | 2. $P_{\text{ef.2}} = f(\omega)$ |
| III. | 1. $M_1 = f(\omega)$ | 2. $M_2 = f(\omega)$ |
| IV. | 1. $\eta_{\text{el.1}} = f(\omega)$ | 2. $\eta_{\text{el.2}} = f(\omega)$ |

Charakterystyki wykonać osobno dla pracy z rosnącym oraz malejącym obciążeniem silnika.

7. Sprawozdanie.

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Stronę tytułową.
2. Cel ćwiczenia.
3. Wstęp teoretyczny.
4. Przykładowe obliczenia.
5. Dołączone tabele pomiarowe oraz tabele wyników.
6. Wykresy charakterystyk badanego silnika.
7. Uwagi i wnioski.

GODZ:		DATA:		NR LAB:	M-2	NR GRUPY:	
--------------	--	--------------	--	----------------	-----	------------------	--

TABELA POMIAROWA

L.P.	Liczba ciężarków	Masa Q , kg	Dynamometr G , kg	Wskazanie wagi W , kg	Natężenie prądu I , A	Moc P_{W1} , W	Moc P_{W2} , W	L. obrotów n , 1/min
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

TABELA WYNIKÓW

L.P.	Moc elektryczna P_{el} , W	Prędkość kątowna ω , rad/s	Moment siły M_1 , Nm	Moc mechaniczna $P_{ef.1}$, W	Sprawność elektryczna $\eta_{el.1}$, %	Moment siły M_2 , Nm	Moc mechaniczna $P_{ef.2}$, W	Sprawność elektryczna $\eta_{el.2}$, %
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								