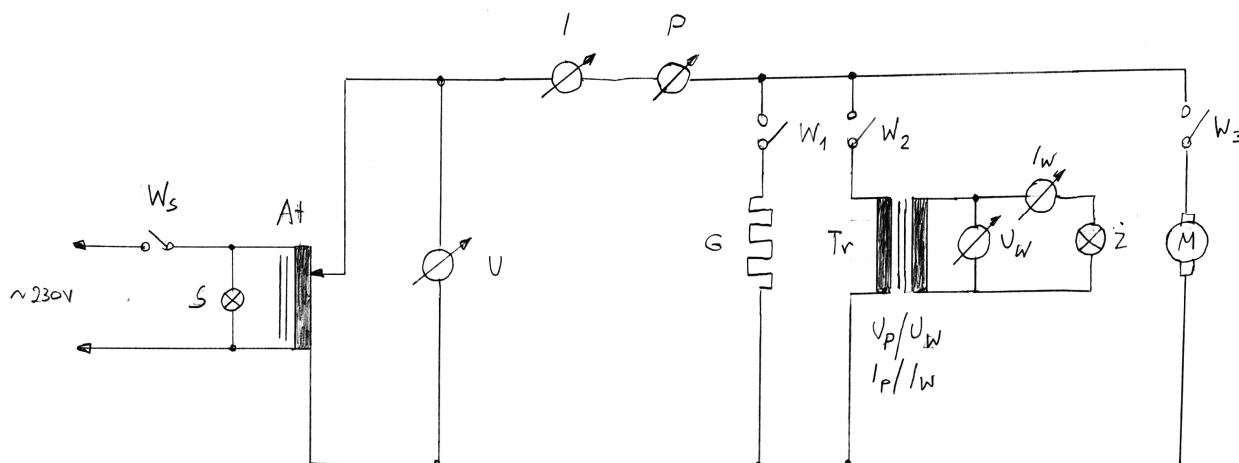


### 3. CZYNNA I BIERNA MOC PRĄDU ELEKTRYCZNEGO

**Cel zadania:** *Poznanie sposobów mierzenia oraz wykorzystania czynnej i biernej mocy prądu elektrycznego w obwodach elektrycznych z grzejnikiem, transformatorem i silnikiem.*

#### 3.1. UKŁAD POMIAROWY

Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys. 3.1. Podstawowym elementem układu jest autotransformator zasilający  $At$ , pozwalający na płynne, ręczne nastawianie napięcia zasilającego. Zasilanie autotransformatora włącza wyłącznik  $W_s$ , a włączenie sygnalizuje lampka  $S$ .



Rys. 3.1. Schemat układu pomiarowego:  $At$  - autotransformator,  $U$  - woltomierz,  $I$  - amperomierz,  $P$  - watomierz,  $G$  - grzejnik,  $Tr$  - transformator,  $Z$  - żarówka,  $M$  - silnik.

Jako obciążenie autotransformatora zastosowano trzy rodzaje odbiorników:

1. Grzejnik elektryczny, zainstalowany w ultratermostacie laboratoryjnym wypełnionym wodą, włączany wyłącznikiem  $W_1$ ,
2. Transformator obniżający napięcie, zasilający żarówkę halogenową zainstalowaną w rzutniku pisma, włączany wyłącznikiem  $W_2$ ,
3. Silnik elektryczny, zainstalowany w młynku żarnowym, włączany wyłącznikiem  $W_3$ .

Parametry elektryczne urządzeń podłączanych do autotransformatora zasilającego mierzą trzy mierniki – woltomierz, amperomierz i watomierz, umieszczone w tzw. walizce monterskiej.

### 3.2. URUCHOMIENIE UKŁADU POMIAROWEGO

**Wyłączyć** zasilanie rzutnika pisma (wyłącznik  $W_2$  **wyciśnięty**). **Wyłączyć** zasilanie młynka żarnowego (mocno **wcisnąć** przycisk  $W_3$  oznaczony jako „O”). **Wyłączyć** zasilanie grzejnika termostatu wyłącznikiem  $W_1$  (**przekręcić go do pozycji „O”**). **Włączyć** zasilanie całego układu pomiarowego wyłącznikiem  $W_s$  (na wtyczce sieciowej przy ścianie), powinna zaświecić się lampka sygnalizacyjna  $S$ .

Pokrętle autotransformatora  $At$  nastawić napięcie wskazywane przez miernik  $U$  na wartość 0 V.

### 3.3. POMIARY SPRAWNOŚCI OGRZEWANIA GRZEJNIKIEM ELEKTRYCZNYM

Sprawdzić czy zbiornik termostatu jest napełniony wodą, kontrolując położenie wskaźnika pływakowego  $Wp$  (powinna być widoczna kreska na pręcie pływaka). W razie wątpliwości poprosić laboranta.

Włączyć (przyciskiem "ON") zasilanie cyfrowego termometru mierzącego temperaturę wody w termostacie.

Pokrętle autotransformatora  $At$  nastawić napięcie wskazywane przez miernik  $U$  na wartość 230 V.

Z termometru cyfrowego odczytać i zanotować temperaturę  $t_1$  wody w termostacie, następnie uruchomić pomiar czasu i **włączyć** ogrzewanie termostatu z najmniejszą mocą, przestawiając jego pokrętkę sterowania z pozycji „O” w pozycję „H1”. Z watomierza odczytać i **zanotować** wartość mocy dostarczanej do grzejnika ( $P_G$ ).

Kontynuować podgrzewanie wody w termostacie, notując wartości temperatury co 5 min przez pół godziny. Po ostatnim odczycie temperatury ( $t_7$  w trzydziestej minucie pomiarów), wyłączyć zasilanie grzejnika termostatu, przełączając pokrętkę w pozycję „O”. Wyłączyć termometr cyfrowy przyciskiem „OFF”. Obliczyć  $\Delta t = t_7 - t_1$  [°C].

### 3.4. POMIARY MOCY CZYNNEJ I POZORNEJ GRZEJNIKA ELEKTRYCZNEGO

Sprawdzić **wyłączenie** zasilanie rzutnika pisma (**wyłącznik  $W_2$  wyciśnięty**) i młynka żarnowego (**wcisnięty** przycisk  $W_3$  oznaczony jako „O”).

Przygotować trzy tabelki wg poniższego wzoru:

Tabele 3.1-3.3. Wyniki pomiarów mocy czynnej i pozornej

napięcie $U$ [V]	natężenie $I$ [A]	moc czynna $P$ [W]	moc pozorna $S$ [VA] $S = U \cdot I$	moc bierna $Q$ [Var] $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	$\cos \varphi$ $\cos \varphi = P/S$
zmierzone	zmierzone	zmierzona	obliczona	obliczona	obliczony
0				-	-
30					
40					
50					
60					
.					
.					
.					
200					

**Włączyć** ogrzewanie termostatu z maksymalną mocą, przekręcając wyłącznik  $W_1$  **do pozycji „H4”**. Wypełniać pierwszą tabelkę, ustawiając napięcie  $U$  zasilające grzejnik (wskazywane przez miernik  $U$ , zakres pomiarowy 0...300 V) na kolejne wartości pokazane w pierwszej kolumnie tabelki – 0, 30, 40, 50, 60 i dalej co 10 V aż do 200 V) i odczytując wskazania mierników natężenia prądu  $I$  płynącego w obwodzie (w amperach A – zakres pomiarowy 0...5 A) oraz mocy czynnej  $P$  pobieranej przez grzejnik (w watach W – wskazania watomierza mnożyć przez 20). **Nie obliczać wartości w kolumnach moc bierna  $Q$ !**

Po zakończeniu pomiarów, pokrętelem autotransformatora **zmniejszyć napięcie  $U$  do zera**. Wyłączyć zasilanie grzejnika termostatu ( $W_1$  **przestawić w pozycję „O”**).

### 3.5. POMIARY MOCY CZYNNEJ I POZORNEJ TRANSFORMATORA OBCIĄŻONEGO ŻARÓWKĄ

Sprawdzić, czy napięcie wskazywane przez miernik  $U$  ma wartość 0 V. **Włączyć** zasilanie transformatora obciążonego żarówką halogenową zainstalowaną w rzutniku pisma wyłącznikiem  $W_2$  (**wyłącznik  $W_2$  wciśnięty**). Wyłączniki  $W_1$  ultratermostatu i  $W_3$  młynka żarnowego pozostawić w pozycji **wyłączonej**.

Wypełniać drugą tabelkę, ustawiając napięcie  $U$  zasilające rzutnik (**wskazywane przez miernik  $U$** , zakres pomiarowy 0...300 V) na kolejne wartości pokazane w pierwszej kolumnie tabelki – 0, 30, 40, 50, 60 i dalej co 10 V aż do 200 V i odczytując wskazania mierników natężenia prądu  $I$  płynącego w obwodzie (zakres pomiarowy 0...5 A) oraz mocy czynnej  $P$  pobieranej przez grzejnik (wskazania watomierza mnożyć przez 20). **Nie obliczać wartości w kolumnach moc bierna  $Q$ !**

Po zakończeniu pomiarów, pokrętle autotransformatora **zmniejszyć napięcie  $U$  do zera**. Wyłączyć zasilanie rzutnika wyłącznikiem  $W_2$  (**wyłącznik  $W_2$  wyciśnięty**).

### 3.6. POMIARY MOCY CZYNNEJ I BIERNEJ SILNIKA ELEKTRYCZNEGO BEZ OBCIĄŻENIA

Ze względu na wymóg startu silnika w młynku żarnowym przy pełnym napięciu zasilania, w tym punkcie zadania pomiary zostaną wykonane od napięcia najwyższego do najniższego (ale nie do zerowego!). Badany silnik nie jest obciążony (nie wykonuje pracy), ponieważ młynek nie prowadzi funkcji mielenia.

Pokrętle autotransformatora ustawić napięcie **wskazywane przez miernik  $U$**  na wartość 200 V. **Włączyć** zasilanie młynka żarnowego wyłącznikiem  $W_3$  (**mocno wcisnąć** przycisk „I” z boku młynka). Wyłączniki  $W_1$  ultratermostatu i  $W_2$  rzutnika pisma pozostawić w pozycji **wyłączonej**.

Wypełniać trzecią tabelkę, ustawiając napięcie  $U$  zasilające rzutnik (**wskazywane przez miernik  $U$** , zakres pomiarowy 0...300 V) na kolejne wartości 200, 190, 180, 170 V i dalej w dół co 10 V, aż do 80 V (**nie zmniejszać napięcia poniżej 80 V !**). Odczytywać wskazania mierników natężenia prądu  $I$  płynącego w obwodzie (zakres pomiarowy 0...5 A) oraz mocy czynnej  $P$  pobieranej przez grzejnik (wskazania watomierza mnożyć przez 20).

Po zakończeniu pomiarów przy  $U = 80$  V, wyłączyć zasilanie silnika wyłącznikiem  $W_3$  (**mocno wcisnąć** przycisk „O” z boku młynka) i dopiero wtedy pokrętle autotransformatora **zmniejszyć napięcie  $U$  do zera**.

### 3.7. PRZEKŁADNIA NAPIĘCIOWA I PRĄDOWA TRANSFORMATORA

Sprawdzić, czy napięcie wskazywane przez miernik  $U$  ma wartość 0 V. **Włączyć** zasilanie transformatora obciążonego żarówką halogenową zainstalowaną w rzutniku pisma wyłącznikiem  $W_2$  (wyłącznik **wciśnięty**). Wyłączniki  $W_1$  ultratermostatu i  $W_3$  młynka żarnowego **pozostawić w pozycji wyłączonej**.

Nastawiając pokrętkiem autotransformatora napięcie  $U$  zasilające pierwotne uzwojenie transformatora żarówki rzutnika, tym razem oznaczane jako  $U_p$  (wskazywane przez miernik  $U$ , zakres pomiarowy 0...300 V) na wartości: 0, 30, 40, 50, 60 i dalej co 10 V aż do 200 V, odczytywać i wpisywać do kolejnej tabelki (3.4.) wskazania miernika natężenia prądu  $I$  płynącego w obwodzie pierwotnym transformatora rzutnika, tym razem oznaczane jako  $I_p$  oraz napięcia i natężenia w obwodzie wtórnym transformatora – wartości  $U_w$  i  $I_w$  wskazywane przez oddzielne mierniki laboratoryjne. Uważać na zakresy pomiarowe tych mierników!

Po zakończeniu pomiarów, pokrętkiem autotransformatora **zmniejszyć napięcie  $U$  do zera** i wyłączyć wyłącznikiem  $W_2$  zasilanie rzutnika pisma (**wyłącznik  $W_2$  wyciśnięty**).

### 3.8. ZAKOŃCZENIE ZADANIA

Sprawdzić, czy napięcie wskazywane przez miernik  $U$  ma wartość 0 V. Sprawdzić, czy wyłączniki  $W_1$ ,  $W_2$  i  $W_3$  znajdują się w pozycji **wyłączonej**. **Wyłączyć** zasilanie autotransformatora zasilającego  $At$  wyłącznikiem  $W_s$  (na wtyczce sieciowej przy ścianie).

### 3.9. OPRACOWANIE WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ

#### 3.9.1. POMIARY SPRAWNOŚCI OGRZEWANIA GRZEJNIKIEM ELEKTRYCZNYM

W urządzeniach zwanych odbiornikami energii elektrycznej następuje przemiana tej energii w energię cieplną (ogrzewanie), mechaniczną (napędy) lub chemiczną (np. procesy elektrolityczne). Praca wykonana tym przypadku jest zależna od mocy prądu (jego napięcia i natężenia) oraz czasu jego przepływu. W obwodach prądu przemiennego operuje się **wartością skuteczną** napięcia, równoważną pod względem energetycznym napięciu stałemu. Wartością skuteczną prądu sinusoidalnego o okresie  $T$  nazywamy taką wartość prądu stałego, który przepływając przez rezystancję  $R$  w czasie jednego okresu prądu  $T$  powoduje wydzielenie takiej ilości energii cieplnej, jak prąd sinusoidalny w tym samym czasie.

Wartość napięcia w instalacji domowej (230 V) jest właśnie wartością skuteczną. Mierniki stosowane w zadaniu, również są wyskalowane w wartościach skutecznych mierzonych wielkości.

Grzejnik elektryczny badanego termostatu stanowi z dobrym przybliżeniem czynne (rezystancyjne) obciążenie sieci elektrycznej (pomijając niewielką moc bierną, zużywaną przez silnik pompki cyrkulacyjnej). Przyjmując więc, że współczynnik mocy (równanie 7)  $\cos \varphi = 1$ , możemy z równania (1) obliczyć moc prądu zużywanego na ogrzewanie:

$$P = U \cdot I \quad [\text{W}] \quad (1)$$

Moc prądu elektrycznego  $dP$  jest to praca prądu  $dW$ , wykonana w czasie  $d\tau$ :

$$dP = \frac{dW}{d\tau} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

Stąd praca prądu elektrycznego, po scałkowaniu równania (2), wyraża się równaniem Joule'a-Lenza:

$$W = I \cdot U \cdot \tau = P \cdot \tau \quad [\text{W} \cdot \text{s} = \text{J}] \quad (3)$$

Podczas przepływu prądu elektrycznego przez grzejnik, jego spirala oporowa rozgrzewa się, a ilość wydzielonego ciepła  $Q$  jest równa pracy prądu elektrycznego  $W$ . Badany termostat z grzejnikiem elektrycznym stanowi układ izolowany cieplnie od otoczenia. Pomijając niewielkie straty ciepła na promieniowanie można przyjąć, że grzałka rezystancyjna termostatu, zgodnie z regułą Joule'a-Lenza całą pracę prądu elektrycznego przekształca w energię cieplną, stąd ilość ciepła wydzieloną w grzejniku elektrycznym określa równanie:

$$Q_E = P_G \cdot \tau \quad [\text{J}] \quad (4)$$

w którym:

$P_G$  - moc grzałki w watach,

$\tau$  - czas ogrzewania termostatu w sekundach.

Ilość ciepła  $Q$  pobierana lub oddawana przez ciało jednorodne przy niewielkim wzroście temperatur (w przypadku gdy nie zachodzi przemiana fazowa) jest zgodnie z zasadami kalorymetrii proporcjonalna do masy tego ciała  $m$  oraz zmiany temperatury  $\Delta t$ :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad [\text{J}] \quad (5)$$

Współczynnik proporcjonalności  $c$  zwany jest ciepłem właściwym i jest stałą charakterystyczną dla każdego materiału, np. dla wody jego wartość wynosi 4189,9 J/kg·K.

W naszym zadaniu ciepło  $Q_G$  dostarczane przez grzejnik ogrzewa w termostacie wodę, jego wewnętrzny zbiornik i pompkę cyrkulacyjną, stąd równanie (5) będzie miało bardziej złożoną postać:

$$Q_G = m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta t + m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta t \quad [\text{J}] \quad (6)$$

gdzie:

- $m_1$  - masa wody w termostacie w kg,
- $c_1$  - ciepło właściwe wody w J/kg·K,
- $\Delta t$  - przyrost temperatury w termostacie w °C,
- $m_2$  - masa zbiornika i pompki termostatu w kg,
- $c_2$  - ciepło właściwe materiału zbiornika i pompki w J/kg·K

Ilość ciepła  $Q_E$  oddana przez ciało o wyższej temperaturze (grzejnik termostatu) powinna być zgodnie z zasadą zachowania energii równa ilości ciepła  $Q_G$  pobranej przez jego otoczenie o temperaturze niższej (zbiornik i pompkę termostatu).

Korzystając z wyników pomiarów z p. 3.3 obliczyć wartości  $Q_E$  z wzoru (4) i  $Q_G$  z wzoru (6) zakładając wartości:

- $m_1 = 1,5$  kg (masa wody w termostacie),
- $m_2 = 1,2$  kg (masa zbiornika i pompki termostatu),
- $c_1 = 4190$  J/kg·K (ciepło właściwe wody),
- $c_2 = 377$  J/kg·K (ciepło właściwe mosiądzu).

Obliczyć współczynnik sprawności  $\eta$  ogrzewania elektrycznego wody w termostacie z wzoru:

$$\eta = \frac{Q_G}{Q_E} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

### 3.9.2. RODZAJE MOCY ELEKTRYCZNEJ W OBWODACH PRĄDU PRZEMIENNEGO

Rodzaje mocy pobieranej z sieci prądu przemiennego przez źródła o charakterze czynnym (rezystancyjnym) i biernym (indukcyjnym) przedstawiają wzory:

**moc czynna** (zużywana):  $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$       wat      [W]      (8)

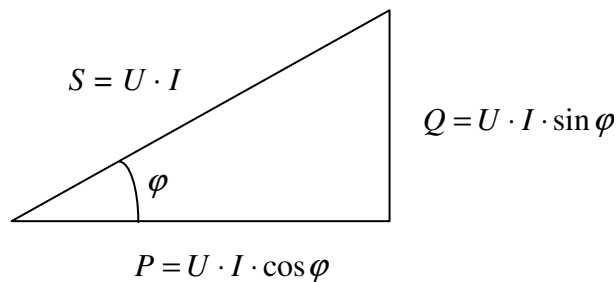
gdzie  $\varphi$  jest kątem przesunięcia fazy między napięciem i natężeniem prądu  
(w obwodach prądu stałego  $\cos \varphi = 1$ )

**moc pozorna** (pobierana):  $S = U \cdot I$  woltoamper [VA] (9)

**moc bierna** (tracona):  $Q = S \cdot \sin \varphi = \sqrt{S^2 - P^2}$  war [War] (10)

(moc bierna jest zużywana na wytworzenie pola magnetycznego w maszynach elektrycznych)

Równania (1-3) wyjaśnia tzw. trójkąt mocy:



Z powyższych równań można obliczyć tzw. współczynnik mocy:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (11)$$

W tabelach 3.1 - 3.3 **wpisać obliczone** z wzorów (9) i (11) wartości mocy pozornej i współczynnika mocy  $\cos \varphi$ . W tabelę 3.3 dodatkowo wpisać obliczone z wzoru (10) wartości mocy biernej. Nie obliczać mocy pozornej, biernej i  $\cos \varphi$  dla zerowych wartości  $U$  i  $I$ .

### 3.9.3. MOC CZYNNA I POZORNA GRZEJNIKA ELEKTRYCZNEGO

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 3.4 (tabela 3.1), sporządzić **we wspólnym układzie współrzędnych** wykresy zależności  $P = f(U)$  oraz  $\cos \varphi = f(U)$ . Ze względu na znacznie różniące się przedziały zmienności obu zmiennych zależnych ( $P$  i  $\varphi$ ), **nie stosować automatycznego skalowania osi rzędnych**, a dobrać je do obu funkcji! Ponieważ grzejnik jest odbiornikiem energii o charakterze czynnym (rezystancyjnym) i nie stwarza biernego (indukcyjnego) obciążenia sieci, więc w tym przypadku moc pozorna  $S$  powinna mieć wartość zbliżoną do mocy czynnej  $P$ , współczynnik mocy  $\cos \varphi$  będzie miał wartość zbliżoną do 1 i zgodnie z prawem Ohma oba wykresy powinny być zbliżone do liniowych.



### 3.9.4. MOC CZYNNA I POZORNA POBIERANE PRZEZ TRANSFORMATOR OBCIĄŻONY ŻARÓWKĄ

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 3.5 (tabela 3.2), sporządzić **we wspólnym układzie współrzędnych** wykresy zależności  $P = f(U)$  oraz  $\cos \varphi = f(U)$ . Ze względu na znacznie różniące się przedziały zmienności obu zmiennych zależnych ( $P$  i  $\varphi$ ), **nie stosować automatycznego skalowania osi rzędnych**, a dobrać je do obu funkcji! Ponieważ dobrej jakości (nie wytwarzający rozproszonego pola magnetycznego) transformator obciążony żarówką, stanowi bardzo niewielkie indukcyjne (bierne) obciążenie sieci, więc w tym przypadku moc pozorna  $S$  może nieco różnić się od mocy czynnej  $P$  i wartość współczynnika mocy  $\cos \varphi$  może być nieco mniejsza od 1.

### 3.9.5. MOC CZYNNA, POZORNA I BIERNĄ POBIERANE PRZEZ SILNIK ELEKTRYCZNY

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 3.6 (tabela 3.3), sporządzić **we wspólnym układzie współrzędnych** wykresy zależności  $P = f(U)$ ,  $Q = f(U)$  oraz  $\cos \varphi = f(U)$ . Ze względu na znacznie różniące się przedziały zmienności zmiennych zależnych ( $P$ ,  $Q$  i  $\varphi$ ), **nie stosować automatycznego skalowania osi rzędnych**, a dobrać je do obu funkcji! Ponieważ silnik elektryczny stanowi indukcyjne obciążenie sieci, więc w tym przypadku moc bierna, zużywana na wytworzenie pola magnetycznego, powinna być większa od zera, a moc pozorna  $S$  powinna różnić się od mocy czynnej  $P$ . Ze względu na fakt, że silnik pracuje bez obciążenia, różnica ta może być znaczna, czego skutkiem będzie niewielka sprawność energetyczna tego silnika (wartość współczynnika mocy  $\cos \varphi$  może być sporo mniejsza od 1).

### 3.9.6. PRZEKŁADNIA NAPIĘCIOWA I PRĄDOWA TRANSFORMATORA

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 3.7 (tabelka 3.4) obliczyć napięciową ( $n_u$ ) i prądową ( $n_i$ ) przekładnię badanego transformatora z wzorów:

$$n_u = \frac{U_p}{U_w} \quad (12)$$

$$n_i = \frac{I_p}{I_w} \quad (13)$$

Do obliczeń użyć tylko maksymalnych zmierzonych wartości napięcia i prądu!

### 3.10. SPRAWOZDANIE

Sprawozdanie z wykonania zadania powinno zawierać:

- prosty, nie przerysowany z instrukcji schemat układu pomiarowego,
- tabelka z wynikami pomiarów temperatury w termostacie,
- trzy tabelki z wynikami doświadczeń pomiarów mocy,
- wyniki obliczenia sprawności ogrzewania termostatu,
- wyniki obliczeń wszystkich badanych rodzajów mocy (dopisane do tabelek),
- wykres  $P = f(U)$  oraz  $\cos \varphi = f(U)$  dla pomiarów mocy grzejnika i transformatora obciążonego żarówką (**dla  $\cos \varphi = f(U)$  oddzielna oś rzędnych!**),
- wykresy zależności  $P = f(U)$ ,  $Q = f(U)$  oraz  $\cos \varphi = f(U)$  dla pomiarów mocy pobieranych przez silnik bez obciążenia (**dla  $\cos \varphi = f(U)$  oddzielna oś rzędnych!**),
- obliczenia przekładni napięciowej i prądowej transformatora,
- wnioski dotyczące **wszystkich** wykonanych doświadczeń i wyników obliczeń.

### 3.11. LITERATURA

Podstawowymi źródłami umożliwiającymi poszerzenie materiału zawartego w instrukcji są notatki z wykładów „Pomiary, automatyka i elektrotechnika” na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności, dodatkowe cztery instrukcje teoretyczne do laboratorium oraz książki:

- [1] Ludwicki M.: **Sterowanie procesami w przemyśle spożywczym**, PTTŻ, Łódź 2002.
- [2] Romer E.: **Miernictwo przemysłowe**, PWN, W-wa 1978.
- [3] Żelazny M.: **Podstawy automatyki**, PWN, W-wa 1976.

Opracował: dr inż. Marek Ludwicki, Politechnika Łódzka, I-30

<http://snack.p.lodz.pl/ludwicki>  
[marek.ludwicki@p.lodz.pl](mailto:marek.ludwicki@p.lodz.pl)

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana, czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie w jakikolwiek sposób, bądź elektroniczny, bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych nośników informacji, bez zgody autora.

Copyright © 2015-05-18  
 All rights reserved