

POLITECHNIKA OPOLSKA

INSTYTUT AUTOMATYKI I INFORMATYKI



LABORATORIUM METROLOGII ELEKTRONICZNEJ

8. POMIAR MOCY I ENERGI W UKŁADACH JEDNOFAZOWYCH

3. POMIAR MOCY CZYNNEJ I ENERGII PRĄDU JEDNOFAZOWEGO

3.1. Wstęp

Pomiary mocy prądu jednofazowego

Pomiary mocy czynnej w obwodach jednofazowych o częstotliwości sieciowej przeprowadza się przy pomocy watomierzy jednoukładowych (jednofazowych). Do pomiarów dokładnych stosowane są watomierze elektrodynamiczne klasy 0,2 i 0,5 a do pomiarów technicznych watomierze ferrodynamiczne, rzadziej indukcyjne klasy 1 ; 1,5 i 2,5. W obwodach jednofazowych wielkiej częstotliwości moc mierzy się watomierzami termoelektrycznymi.

Jeżeli przez odbiornik którego moc należy zmierzyć, płynie prąd I_0 [A] , napięcie na zaciskach odbiornika wynosi U_0 [V] a kąt przesunięcia fazowego między napięciem U_0 i prądem I_0 jest równy φ , to moc czynną pobieraną przez odbiornik P_0 [W] oblicza się ze wzoru

$$P_0 = U_0 I_0 \cos \varphi_0 \quad (1)$$

Przy pomiarach niewielkich mocy należy się liczyć z błędami wywołanymi przez własny pobór mocy watomierzy. W układzie połączeń przedstawionym na rys.1 (układ poprawnie mierzonego napięcia) watomierz mierzy moc

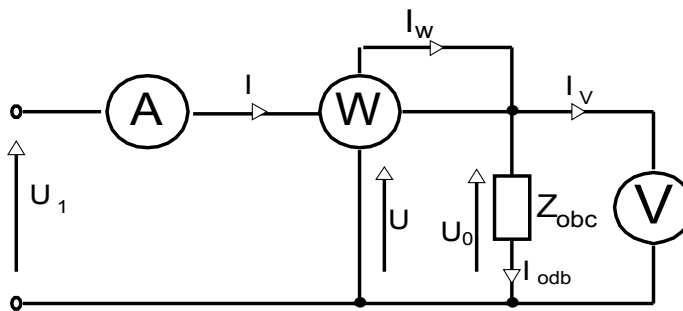
$$P = P_0 + \Delta P$$

gdzie ΔP - moc pobierana przez mierniki

$$\Delta P = P_W + P_V = \frac{U^2}{R_W} + \frac{U^2}{R_V} = \frac{U^2(R_W + R_V)}{R_W + R_V} \quad (2)$$

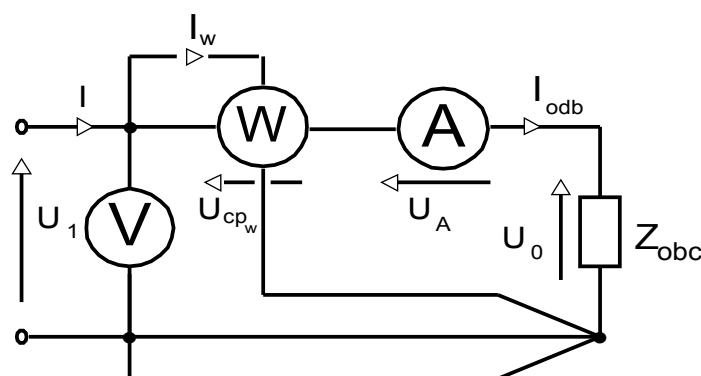
gdzie: R_W - rezystancja cewki napięciowej watomierza

R_V - rezystancja woltomierza



Rys.3.1. Układ poprawnie mierzonego napięcia do pomiaru mocy odbiornika

Na rys.3.2 przedstawiony jest układ połączeń poprawnie mierzonego prądu.



Rys.3.2. Układ poprawnie mierzonego prądu do pomiaru mocy odbiornika

Podobnie jak poprzednio watomierz mierzy moc

$$P = P_0 + \Delta P$$

$$\Delta P = P_W + P_A = I^2 (R_W + R_A) \quad (3)$$

Wybór układu pomiarowego zależy od rezystancji odbiornika. Jeżeli rezystancja odbiornika jest duża to należy stosować układ poprawnie mierzonego napięcia. Przy pomiarze mocy znacznie przekraczającej moc pobraną przez mierniki, błędy są małe i dobieranie układu nie jest potrzebne.

Należy zwrócić uwagę na pomiar mocy przy obciążeniu odbiornikiem o charakterze indukcyjnym lub pojemnościowym. Ze względu na małe wychylenie watomierza pomiar jest obarczony dużym błędem. W takich przypadkach należy używać specjalnych watomierzy których znamionowy współczynnik mocy jest mały np. 0,5 lub 0,1. Jeżeli zakresy prądowe watomierzy poszerza się przy pomocy przekładników napięciowych lub prądowych, to dokładność pomiaru zmniejsza się ze względu na błędy przekładników [1]. Przy zastosowaniu przekładników należy uwzględnić błędy wynikające ze zmiany przekładni i błędy kątowe. Błędy spowodowane niedokładnością miernika obliczamy ze wzoru

$$\delta_{\%} = \frac{K\alpha_{\max}}{\alpha} \quad (4)$$

Pomiary mocy przetwornikiem halotronowym

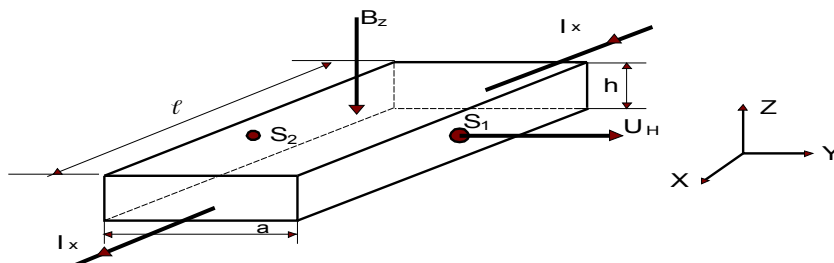
Przetwornik halotronowy działa wykorzystując tzw. zjawisko Halla. Jeżeli płytkę z metalu lub półprzewodnika o wymiarach a , h , l (rys.3.3) umieścimy w polu magnetycznym,

którego wektor B_z jest prostopadły do płytki i do kierunku prądu I_x płynącego wzdłuż płytki to między elektrodami S_1 i S_2 powstanie różnica potencjałów U_H zwana napięciem Halla.

Wartość napięcia Halla wynosi

$$U_H = \partial I_x B_z \quad (5)$$

gdzie: ∂ - czułość halotronu.



Rys.3.3. Wyjaśnienie zjawiska Halla

Przy budowie przetwornika halotronowego istotne jest m.in. ustawienie elektrod S_1 i S_2 w płaszczyźnie ekwipotencjalnej badanej płytki oraz kompensacja wpływu temperatury (zagadnienia te omówiono w [2]). Halotrony stosowane są najczęściej do pomiarów:

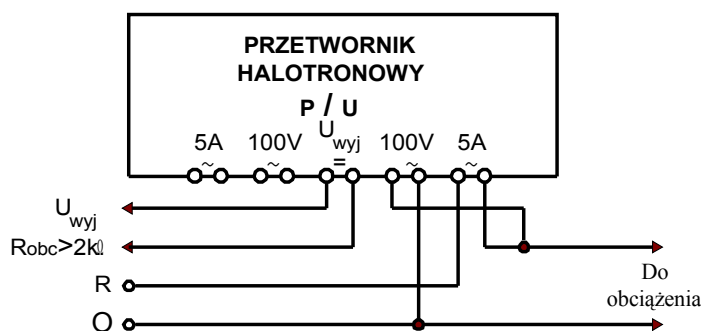
- parametrów maszyn elektrycznych,
- prądów stałych o dużym natężeniu,
- pól magnetycznych.

W ćwiczeniu zastosowano halotronowy przetwornik mocy czynnej typu P 72. Dane techniczne przetwornika podano w tabeli 3.1.

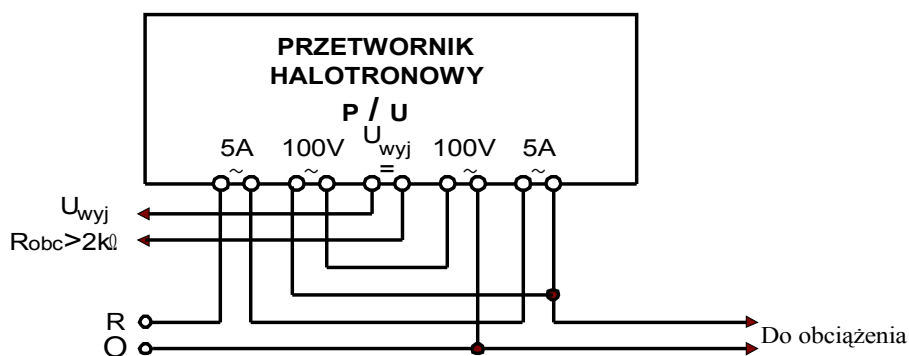
Tabela 4.1. Dane techniczne przetwornika halotronowego, typ P72

- napięcie znamionowe	$U_n = 100 / 200 \text{ V}$
- prąd znamionowy	$I_n = 5 \text{ A}$
- współczynnik mocy znamionowy	$\cos \varphi_n = 1$
- częstotliwość znamionowa	$f_n = 50 \text{ Hz}$
- dokładność	klasa 1
- sygnał wyjściowy	5V / 500W przy obciążeniu wyjścia $R_{obc} > 2 \text{ k}\Omega$
- moc wyjściowa	12,5 mW / 500W mocy mierzonej

Powyższy przetwornik jest przetwornikiem podwójnym. Może służyć do pomiaru mocy czynnej w sieciach 1-fazowych oraz do pomiaru mocy czynnej lub bierniej w sieciach 3-fazowych trójprzewodowych. Na rys.3.4 i 3.5 pokazano sposoby połączenia halotronowego przetwornika mocy.



Rys.3.4. Sposób podłączenia halotronowego przetwornika mocy przy pomiarze mocy czynnej w sieci jednofazowej o napięciu znamionowym 100 V i prądzie znamionowym 5A. Czulość przetwornika 5V / 500W.



Rys.3.5. Sposób podłączenia halotronowego przetwornika mocy przy pomiarze mocy czynnej w sieci jednofazowej 200/220 V, 5A. Czulość przetwornika 5V / 500W.

Pomiary energii licznikiem jednofazowym indukcyjnym.

Energię elektryczną czynną oblicza się ze wzoru

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt$$

gdzie: P - moc czynna będąca funkcją czasu t,

(t₂ - t₁) - czas trwania pomiaru energii

Pomiar energii wykonuje się przez pomiar mocy z jednoczesnym całkowaniem jej w czasie. Do pomiaru energii czynnej i biernej w obwodach prądu przemiennego lub energii w obwodach prądu stałego służą liczniki. Liczniki dzielą się na dwie podstawowe grupy: liczniki

elektromechaniczne i liczniki elektroniczne. Elektromechanicznym licznikiem energii prądu przemiennego jest tarczowy watomierz indukcyjny wyposażony w mechanizm liczący liczbę obrotów tarczy. Moment napędowy działający na tarczę aluminiową licznika jest proporcjonalny do mocy mierzonej

$$M = c_1 P$$

gdzie: c_1 - stała konstrukcyjna.

Na organ ruchomy licznika tzw. wirnik, nie działa moment zwracający (nie ma sprężyny), a kąt obrotu wirnika jest nieograniczony. Na obracającą się pod wpływem momentu napędowego M tarczę działa moment hamujący M_h , proporcjonalny do prędkości obrotowej

$$M_h = c_2 \vartheta$$

Moment hamujący pochodzi głównie od pola magnetycznego magnesu trwałego obejmującego tarczę. Wartość tego momentu zależy od prądów wirowych indukowanych w tarczy. Prądy indukowane są proporcjonalne do prędkości ϑ przecinania pola magnetycznego przez tarczę. Prędkość tarczy określa zależność

$$\vartheta = \frac{dl}{dt} = \frac{d(2\pi rN)}{dt} = 2\pi r \frac{dN}{dt}$$

gdzie: r - odległość od osi obrotu tarczy do środka strumienia między nabiegownikami magnesu

$l = 2\pi r N$ - droga przebyta po N obrotach przez punkt tarczy oddalony o r od osi

Jeśli moment napędowy i hamujący działające na tarczę są równe ($M=M_h$), to tarcza obraca się ruchem jednostajnym. Z porównania obu momentów i po przekształceniach wzorów otrzymujemy [4] zależność

$$W = c N \quad (6)$$

Wynika stąd, że miarą energii może być liczba obrotów tarczy z uwzględnieniem stałej konstrukcyjnej c . W praktyce na tabliczce znamionowej licznika jest podawana inna stała K , będąca odwrotnością stałej c

$$K = \frac{1}{c} = \frac{N}{W}$$

która wyraża liczbę obrotów wirnika odpowiadającą jednostce energii elektrycznej, np. 400 obr/1 kWh. Na tabliczce znamionowej licznika jest podana znamionowa stała licznika K_N .

Zależnie od warunków pomiaru, rzeczywista stała K_p różni się od stałej znamionowej. Wynika stąd błąd pomiaru energii

$$\delta = \frac{W_w - W_p}{W_p} = \frac{\frac{N}{K_N} - \frac{N}{K_P}}{\frac{N}{K_P}} = \frac{K_P - K_N}{K_N} \quad (7)$$

przy czym: W_w , W_p - wartość energii wskazanej i rzeczywistej lub poprawnej (wartość rzeczywista na ogół nie jest znana - wtedy korzysta się z wartości poprawnej mierzonej przyrządem dostatecznie dokładnym). Wyznaczenie błędu licznika wymaga określenia poprawnej stałej K_P licznika. W tym celu mierzy się watomierzem przepływającą przez licznik moc P stałą w czasie pomiaru, oraz mierzy się sekundomierzem czas t_p , w którym wirnik wykonał N obrotów. Wtedy

$$K_P = \frac{N}{W_p} = \frac{3600 \cdot 1000 N}{P t_p} \quad (8)$$

gdzie: P - moc w watach

t_p - czas mierzony w sekundach

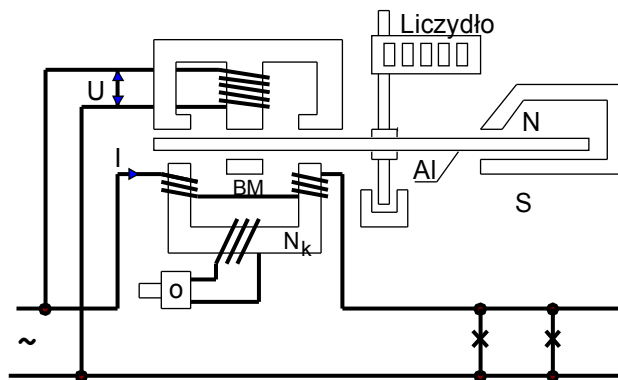
Współczynnik liczbowy $3,6 \cdot 10^6$ pozwala na zamianę watosekund (Ws) na kilowatogodziny (kWh). Na podstawie stałej znamionowej licznika K_N dla obranej liczby N obrotów wirnika i przy pomocy P można obliczyć tzw. czas znamionowy w sekundach

$$t_N = \frac{3600 \cdot 1000 N}{P K_N}$$

Błąd względny licznika oblicza się na podstawie stałych K_P i K_N lub na podstawie czasów t_N i t_p

$$\delta = \frac{K_P - K_N}{K_N} 100\% = \frac{t_N - t_p}{t_p} 100\% \quad (9)$$

Zasadę budowy licznika indukcyjnego ilustruje rys.3.6.



Rys.3.6. Uproszczony szkic konstrukcji licznika indukcyjnego

Głównymi zespołami licznika są: elektromagnes napięciowy, elektromagnes prądowy, wirnik, magnes trwały i liczydło. Elektromagnesy mają rdzenie ferromagnetyczne wykonane z blach transformatorowych. Cewka elektromagnesu napięciowego ma dużą liczbę zwojów cienkiego drutu miedzianego. Cewka prądowa jest uzwojona grubym drutem o małej liczbie zwojów w dwóch sekcjach połączonych szeregowo. Wirnikiem jest tarcza aluminiowa osadzona na ułożyskowanej osi połączonej przekładnią zębatą z liczydłem bębnowym o sześciu lub siedmiu bębnach cyfrowych. Pod wpływem sinusoidalnego napięcia i prądu doprowadzonych do odpowiednich cewek licznika powstają przemienne strumienie magnetyczne przenikające tarczę aluminiową w kilku miejscach. Strumienie magnetyczne: napięciowy Φ_u i Φ_i indukują w tarczy prądy wirowe. Współdziałanie indukowanych prądów wirowych ze strumieniami magnetycznymi przesuniętymi względem siebie w przestrzeni i w fazie powoduje powstanie momentu napędowego M wprawiającego wirnik w ruch obrotowy. Można wykazać, że moment ten jest określony wzorem

$$M = k_m \omega \Phi_u \Phi_i \sin\psi$$

gdzie: k_m - stała konstrukcyjna,

ω - pulsacja strumieni,

ψ - kąt fazowy między strumieniami Φ_u i Φ_i .

Strumienie magnetyczne Φ_u i Φ_i zamykają w rdzeniach ze szczeliną powietrzną. W związku z tym zależność strumieni od napięcia i prądu jest praktycznie liniowa, czyli

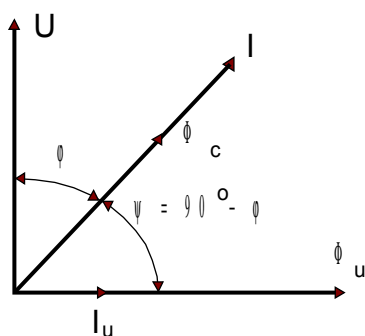
$$M = k U I \sin\psi$$

Aby moment napędowy był proporcjonalny do mocy czynnej przepływającej przez licznik musi być spełnione wymaganie

$$\sin\psi = \cos\varphi$$

w którym φ jest kątem fazowym między napięciem i prądem obciążenia. Z ostatniej zależności wynika

$$\psi = 90^\circ - \varphi$$



Rys.3.7. Wyidealizowany wykres wektorowy licznika indukcyjnego.

Z wyidealizowanego wykresu wektorowego przedstawionego na rys.3.7 widać, że wymagania fazowe są spełnione bez dodatkowych zabiegów konstrukcyjnych. Strumień prądowy Φ_i wywołany wymuszonym prądem I odbiornika, jest w fazie z tym prądem. Strumień napięciowy Φ_U wytwarzany przez cewkę napięciową (o dużej indukcyjności L_U), opóźnia się względem napięcia o 90° . Otrzymuje się więc związek

$$\sin\psi = \sin(90^\circ - \varphi) = \cos \varphi$$

decydujący o proporcjonalności momentu napędowego ustroju indukcyjnego do mocy czynnej P

$$M = k U I \cos \varphi = k P \quad (10)$$

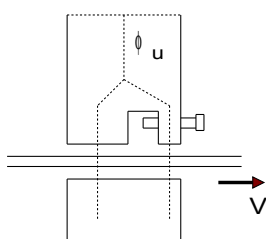
Wykres z rysunku 3.7 nie uwzględnia rezystancji uzwojenia napięciowego, strumieni rozproszenia, strat mocy występujących w rdzeniach (na histerezę i prądy wirowe), strat w tarczy licznika itp. W rzeczywistym liczniku przesunięcie fazowe między strumieniem Φ_U a napięciem U jest nieco mniejsze niż 90° , a strumień prądowy jest opóźniony o pewien kąt względem prądu I . Żeby zachować zależność $\psi = (90^\circ - \varphi)$ są stosowane różne metody korelacji przesunięć fazowych w liczniku. Często stosowany sposób korelacji polega na umieszczeniu na rdzeniu prądowym kilku dodatkowych zwojów N_K (rys.3.6) obciążonych pętlą z drutu oporowego o rezystancji regulowanej przesuwaną zworą. Rezystancja uzwojenia N_K umożliwia wyregulowanie fazowe licznika.

Moment napędowy jest równoważony momentem hamującym M_h który powstaje w tarczy aluminiowej wirnika na skutek ruchu obrotowego tarczy w polu magnetycznym. W tarczy indukują się prądy proporcjonalne do strumieni magnetycznych przecinających tarczę i do prędkości wirowania. Powstaje moment hamujący proporcjonalny do prędkości wirowania i do kwadratu strumienia magnetycznego

$$M_h = c\Phi^2 \frac{dN}{dt}$$

Główna składowa momentu hamującego pochodzi od strumienia magnesu trwałego, druga składowa pochodzi od strumienia napięciowego a trzecia od strumienia prądowego. Wzrost prądu powoduje szybszy wzrost momentu hamującego niż momentu napędowego (M_h zależy od Φ^2), powstaje więc ujemny błąd pomiaru energii. Powstawaniu tego błędu zapobiega

bocznik magnetyczny (BM na rys.3.6) który szybko się nasyca, dzięki czemu strumień magnetyczny prądowy wzrasta szybciej niż prąd. W efekcie następuje korekcja błędu licznika. W licznikach oprócz dwóch głównych momentów: napędowego i hamującego występuje dodatkowo moment tarcia M_t powstający w łożyskach i liczydło. Błąd licznika wynikający z tarcia ogranicza się przy pomocy momentu kompensującego M_k który jest wytwarzany poprzez rozdzielenie strumienia roboczego Φ_u na dwie składowe. Realizuje się to przez wkręcenie śrubki mosiężnej w rdzeń (rys.3.8).



Rys.3.8. Zasada wytwarzania momentu kompensującego

Liczniki indukcyjne przeznaczone do bezpośredniego włączenia do obwodu prądowego są budowane na prądy znamionowe I_N : 5 ; 10 ; 15 ; 20 ; 25 ; 30 ; 40 ; 50 A. Natomiast przeznaczone do włączania przez przekładniki prądowe mają prądy znamionowe I_N : 1 ; 2,5 ; 3 lub najczęściej 5 A. Oprócz prądu znamionowego licznika wytwórca podaje prąd maksymalny I_m , który powinien być równy 125% I_N lub całkowitej wielokrotności tego prądu. Na przykład napis 10 (50) A oznacza prąd znamionowy 10 A i prąd maksymalny 50 A, który trwale może przepływać przez licznik.

Napięcia znamionowe liczników obejmują szereg napięć znormalizowanych od 100 do 600 V, a liczniki przeznaczone do połączenia za pośrednictwem przekładników napięciowych mają napięcia znamionowe od $57,7 \left(100/\sqrt{3}\right)$ do 200 V.

Polska norma PN-87/E-06504 dotycząca liczników indukcyjnych jednofazowych i trójfazowych energii czynnej przewiduje trzy klasy dokładności : 0,5 ; 1 i 2. Dopuszczalne błędy liczników wyrażone w procentach, wyznaczone w warunkach odniesienia (określonych normą) podano w tabeli 3.2.

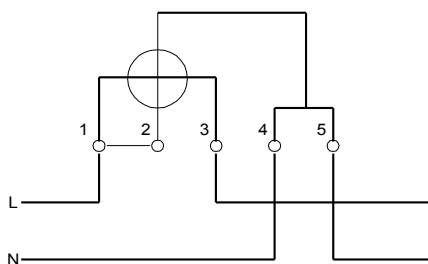
Tabela 3.2. Dopuszczalne błędy liczników indukcyjnych jednofazowych i trójfazowych

Wartość prądu obciążenia licznika	Współczynnik mocy $\cos \varphi$	Dopuszczalne błędy (%) dla klas		
		0,5	1	2
5 % I_N	1	± 1	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$

od 10 % I_N do I_m	1	$\pm 0,5$	± 1	± 2
10 % I_N	0,5 ind	$\pm 1,3$	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$
od 20 % I_N do I_m	0,5 ind	$\pm 0,8$	± 1	± 2
10 % I_N	0,8 poj	$\pm 1,3$	$\pm 1,5$	-
od 20 % I_N do I_m	0,8 poj	$\pm 0,8$	± 1	-

Zgodnie z normą moc rozruchu nie powinna przekraczać 0,3 ; 0,4 ; 0,5 % P_N odpowiednio dla klas 0,5 ; 1 i 2. Przy braku prądu w obwodzie prądowym , w tzw. stanie jałowym, przy napięciu w zakresie 80 - 110 % U_N wirnik może wykonać nie więcej niż jeden obrót. Obwód napięciowy licznika w warunkach odniesienia nie powinien pobierać mocy większej niż 3 W i pozornej 12 VA dla klas 0,5 i 1 oraz 2W i 10 VA dla klasy 2. Dla obwodów prądowych przewiduje się mniejszy pobór mocy.

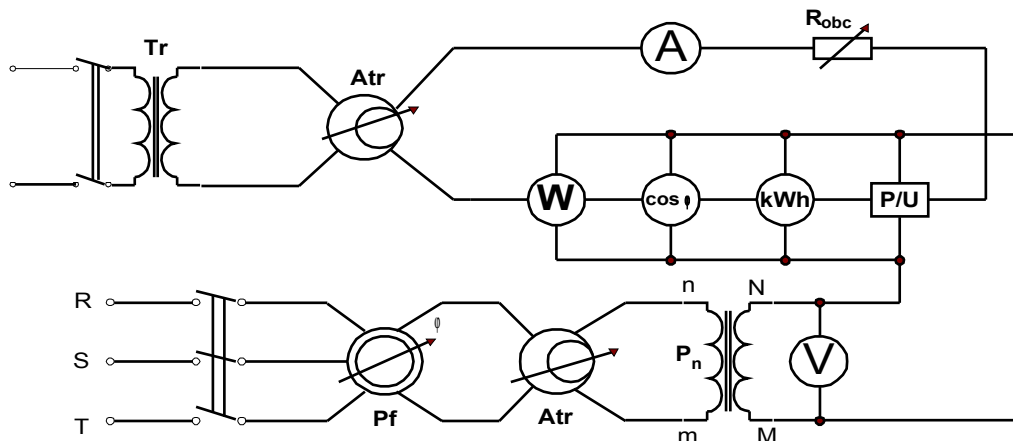
Liczniki jednofazowe stosuje się najczęściej do pomiaru energii elektrycznej w lokalach mieszkaniowych zasilanych jednofazowo. Sposób włączenia licznika do obwodu jest podobny jak watomierza. Na rys.3.9 pokazano podłączenie licznika z wykorzystaniem zacisków oznaczonych zgodnie z normą.



Rys.3.9. Sposób podłączenia licznika jednofazowego

3.2. Przebieg ćwiczenia

Połączyć układ jak na rys.3.10.



Rys.3.10. Schemat układu pomiarowego

- Tr - transformator bezpieczeństwa
- Atr - autotransformator
- Pf - przesuwnik fazowy
- P_n - przekładnik napięciowy

Układ pomiarowy ma rozdzielone obwody napięciowy i prądowy. Obwód prądowy zasilany jest z sieci jednofazowej przez autotransformator i transformator bezpieczeństwa 220/24V. Obwód napięciowy zasilany jest z sieci trójfazowej poprzez przesuwnik fazowy, autotransformator i przekładnik napięciowy 100\220V. Takie zasilanie umożliwia uzyskanie przesunięcia fazowego między prądem i napięciem w zakresie od 0⁰ do 360⁰ bez wydzielania mierzonej mocy na odbiorniku

3.2.1. Pomiar mocy

Pomiar mocy wykonać dla następujących procentowych wartości prądu znamionowego licznika I_n:

- 10% ; 25% ; 50% ; 75% ; 100% ; 125% ; 150% - dla cosφ = 1
- 25% ; 50% ; 75% ; 100% ; 125% ; 150% - dla cosφ = 0,5_{ind}
- 25% ; 50% ; 75% ; 100% ; 125% ; 150% - dla cosφ = 0,5_{poj}
- 25% ; 50% ; 75% ; 100% ; 125% ; 150% - dla odwróconego kierunku przepływu mocy

Dodatkowo dla przetwornika halotronowego wykonać pomiary mocy przy cosφ=1, tak aby prądy płynące w obwodzie zmieniały się od 0 do 150% I_n licznika energii. Czułość przetwornika halotronowego użytego w ćwiczeniu wynosi 5V/500W.

Uwaga! W trakcie ćwiczenia należy zwracać uwagę na zmianę zakresów prądowych watomierza, miernika cosφ i amperomierza.

Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 3.3 i 3.4

Tabela 3.3. Pomiary mocy

	Pomiary			Obliczenia				
	I	P _{wat}	U _{hall}	P _{hall}	P _{obl}	δ _{wat}	δ _{hall}	δ _{obl}
	A	W	V	W	W	%	%	%
cosφ = 1	0,1 I _n : 1,5 I _n							
cosφ = 0,5 _{ind}	: : :							
cosφ = 0,5 _{poj}	: : :							
Dla odwróconego kierunku	: :							

przepływu mocy	:							
----------------	---	--	--	--	--	--	--	--

gdzie P_{obl} - moc obliczona na podstawie wskazań woltomierza, amperomierza i miernika $\cos\varphi$
 δ_{obl} - błąd mocy obliczonej

Tabela 3.4. Wyznaczanie charakterystyki

przetwarzania halotronu			
Pomiary		Obliczenia	
I	U_{hall}	P_{hall}	δ_{hall}
A	V	W	%
0,1 I_n			
0,2 I_n			
:			
:			
1,5 I_n			

$$\cos\varphi = 1$$

3.2.2. Pomiar energii

Pomiar energii licznikiem należy wykonać dla następujących procentowych wartości prądu znamionowego licznika I_n :

10% ; 50% ; 100% ; 150%

- dla $\cos\varphi = 1$

50% ; 100% ; 150%

- dla $\cos\varphi = 0,5_{ind}$

50% ; 100% ; 150%

- dla $\cos\varphi = 0,5_{poj}$

10% ; 50% ; 100% ; 150%

- dla $\cos\varphi = 1$ i odwróconego kierunku przepływu mocy

Pomiar energii licznikiem wykonać licząc całkowitą liczbę obrotów tarczy licznika w czasie nie krótszym niż 100 sekund.

Przy pomiarze energii ustawić napięcie dokładnie 220V, ponieważ licznik nie reaguje na zmiany napięcia rzędu kilku (kilkunastu) woltów a woltomierz i watomierz tak.

Wyniki zamieścić w tabeli 3.5.

Tabela 3.5. Pomiar energii

	Pomiary				Obliczenia		
	I	P_{wat}	t_p	N	W_{obl}	K	δ
	A	W	sek	obr	Ws	-	%
$\cos\varphi = 1$	0,1 I_n						
	:						
	1,5 I_n						
$\cos\varphi = 0,5_{ind}$:						
	:						
	:						
$\cos\varphi = 0,5_{poj}$:						
	:						
dla odwróconego	:						

kierunku przepływu mocy, $\cos \varphi = 1$;						
---	---	--	--	--	--	--	--

$$U_{zas} = 220V, \quad K_n = \dots\dots$$

gdzie: W_{obl} - energia obliczona na podstawie wskazań watomierza,

K - stała licznika wyznaczona ze wzoru (8)

δ - błąd licznika wyznaczony ze wzoru (7).

W celu sprawdzenia licznika na zgodność z Polską Normą wykonujemy dodatkowe próby:

- zwiększamy wartość napięcia o 10% przy przerwany obwodzie prądowym. Zwiększanie napięcia nie powinno

spowodować obrotu tarczy licznika.

- sprawdzamy prąd rozruchu licznika. W tym celu ustawiamy napięcie $U = U_N$, $\cos \varphi = 1$, $I = 0$.

Następnie zwiększamy

prąd w obwodzie obserwując amperomierz i w momencie kiedy tarcza licznika zaczyna się obracać notujemy

wartość prądu rozruchu.

3.3. Zakres sprawozdania

3.3.1. W sprawozdaniu zamieścić wykresy błędów w funkcji prądu dla różnych $\cos \varphi$: watomierza, przetwornika halotronowego (tabela 3.) i licznika (tabela 3.4).

3.3.2. Określić klasę przetwornika halotronowego przyjmując, że zastosowany wyświetlacz (woltomierz cyfrowy) miał klasę 0,02. Sprawdzić czy badany układ przetwornika jest liniowy i symetryczny. Określić metodą najmniejszych kwadratów nachylenie charakterystyki przetwarzania (stałej przetwarzania) i przesunięcia zera.

3.3.3. Sprawdzić czy licznik spełnia wymagania PN (tabela 3.1), wartość prądu rozruchu oraz reakcję licznika przy podskoku napięcia.

LITERATURA

[1] Lebson S. Miernictwo elektryczne. Skrypt Politechniki Śl.

[2] Marcyniuk A., Pluciński M. Ćwiczenia laboratoryjne miernictwa elektrycznego. Skrypt Politech. Śl.

[3] Komorowski W. Laboratorium miernictwa elektrycznego. Skrypt WSI w Opolu.

[4] Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A. Metrologia elektryczna.