

ĆWICZENIE NR 5

SPRAWDZANIE JEDNOFAZOWEGO LICZNIKA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

(opracował Eligiusz Pawłowski)

1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z budową, zasadą działania oraz sposobem regulacji i badania liczników energii elektrycznej zgodnie z obowiązującymi przepisami. Zakres ćwiczenia obejmuje: sprawdzenie tendencji do ruchu oraz biegu jałowego licznika, wyznaczenie mocy rozruchu, sprawdzenie regulacji kąta fazowego oraz wyznaczenie krzywej błędów. Badany będzie licznik energii elektrycznej z elektromechanicznym ustrojem indukcyjnym oraz licznik elektroniczny (statyczny).

2. Wprowadzenie teoretyczne**2.1. Prawne uwarunkowania pomiaru energii elektrycznej**

Energia elektryczna, podobnie jak ciepło oraz nośniki energii chemicznej (w postaci paliw płynnych, węgla i gazu), jest towarem podlegającym operacjom kupna - sprzedaży pomiędzy jej wytwórcą, dystrybutorem i odbiorcą. Cena energii elektrycznej jest stosunkowo wysoka i koszty jej zakupu na potrzeby gospodarstw domowych oraz przedsiębiorstw produkcyjnych stanowią poważną część wydatków społeczeństwa. Dla zapewnienia rzetelności rozliczeń finansowych niezbędne są więc odpowiednie przyrządy pomiarowe do wyznaczania ilości zużytej przez odbiorcę energii elektrycznej, zwane licznikami energii elektrycznej. Ze względu na wysokie koszty wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej oraz jej duże znaczenie zarówno w produkcji przemysłowej jak i dla indywidualnych odbiorców, zagadnienia pomiaru energii elektrycznej są na tyle ważne, że zostały uregulowane prawnie poprzez uchwalenie odpowiednich ustaw oraz wydanie norm przemysłowych i rozporządzeń ministerialnych [1], [2], ... , [8]. Istotnym społecznie problemem jest również zjawisko kradzieży energii elektrycznej [13], ..., [16].

Wszelkie działania, które wynikają z różnych wymagań ustawowych i dotyczą pomiarów, jednostek miar, przyrządów pomiarowych oraz metod pomiarowych i które są przeprowadzane przez kompetentne organy, stanowią szczególny dział metrologii nazywany **metrologią prawną**. Celem metrologii prawnej jest zapewnienie rzetelności wykonywanych pomiarów w handlu, usługach i innych ważnych dziedzinach działalności człowieka, takich jak: ochrona życia i zdrowia, obronność i bezpieczeństwo państwa, pobieranie podatków, kontrola celna, kontrola jakości produkcji itp. Kompetentne organy odpowiedzialne za działania metrologii prawnej, lub za część tych działań, są nazywane służbami metrologii prawnej (organami administracji miar). W Polsce naczelnym organem administracji miar jest Prezes Głównego Urzędu Miar zgodnie z Ustawą Prawo o miarach [1].

Obowiązująca w Polsce Ustawa Prawo o miarach [1] wprowadza obowiązek prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych. **Prawna kontrola metrologiczna** są to działania zmierzające do wykazania, że przyrząd pomiarowy spełnia wymagania określone we właściwych przepisach. Jednocześnie, na mocy Ustawy O systemie zgodności [2] wszystkie wyroby (nie tylko przyrządy pomiarowe) przed wprowadzaniem do obrotu lub oddaniem do użytku w każdym kraju członkowskim Unii Europejskiej podlegają **ocenie zgodności** z zasadniczymi i/lub szczegółowymi wymaganiami określonymi w odpowiednich przepisach. Zasadnicze wymagania dla przyrządów pomiarowych określa tzw. dyrektywa MID Parlamentu Europejskiego (*Measuring Instruments Directive*), wdrożona do stosowania w Polsce rozporządzeniem Ministra Gospodarki [3]. Dyrektywa ta określa również procedury

oceny zgodności dla przyrządów pomiarowych, sposoby oznakowania metrologicznego przyrządów pomiarowych (znak **M**) oraz wzór znaku **CE**. System Zgodności [2] przyjęty w Unii Europejskiej ma za zadanie znieść bariery i zapewnić swobodny przepływ towarów i usług poprzez ujednoczenie wymagań we wszystkich państwach członkowskich.

Zgodnie z Ustawą Prawo o miarach [1], prawnej kontroli metrologicznej podlegają przyrządy pomiarowe, które mogą być stosowane:

- 1) w ochronie zdrowia, życia i środowiska,
- 2) w ochronie bezpieczeństwa i porządku publicznego,
- 3) w ochronie praw konsumenta,
- 4) przy pobieraniu opłat, podatków i innych należności budżetowych oraz ustalania upustów, kar umownych, wynagrodzeń i odszkodowań, a także przy pobieraniu i ustalaniu podobnych należności i świadczeń,
- 5) przy dokonywaniu kontroli celnej,

6) w obrocie (handlu)

i są określone w rozporządzeniu Ministra ds. gospodarki [4].

Szczegółowy sposób przeprowadzania tej kontroli określają odpowiednie rozporządzenia [5, 6]. Dodatkowo, dla poszczególnych rodzajów przyrządów pomiarowych są określone szczegółowe wymagania opisane w kolejnych rozporządzeniach i normach. Wymagania, którym powinny odpowiadać liczniki energii elektrycznej, są określone w rozporządzeniu [7], oraz w Polskich Normach [9, 10, 11]. Instrukcję sprawdzania liczników elektrycznych opracował również Główny Urząd Miar [8].

Zgodnie z Prawem o miarach [1] prawna kontrola metrologiczna obejmuje zatwierdzenie typu i legalizację. **Zatwierdzenie typu** jest to potwierdzenie, w drodze decyzji kompetentnego organu administracji miar, że typ przyrządu pomiarowego spełnia wymagania. **Legalizacja** (pierwotna, jednostkowa lub ponowna) jest to zespół czynności obejmujących sprawdzenie, stwierdzenie i poświadczenie dowodem legalizacji, że przyrząd pomiarowy spełnia wymagania przepisów. Zatwierdzenie typu dotyczy wszystkich przyrządów pomiarowych danego typu, natomiast legalizacja dotyczy każdego egzemplarza przyrządu pomiarowego z osobna. Zasadniczym elementem legalizacji jest wzorcowanie. **Wzorcowanie** są to czynności ustalające relację między wartościami wielkości mierzonej wskazanymi przez przyrząd pomiarowy a odpowiednimi wartościami wielkości fizycznych, realizowanymi przez wzorzec jednostki miary. W wyniku wzorcowania wyznaczane są błędy przyrządu pomiarowego, które nie powinny przekraczać wartości dozwolonych przepisami.

Obowiązujący w Polsce wcześniejszy system wprowadzania nowego przyrządu pomiarowego do obrotu i użytkowania obejmujący: zatwierdzenie typu i legalizację pierwotną na podstawie Ustawy Prawo o miarach [1] obecnie jest **równoważny** ocenie zgodności z zasadniczymi wymaganiami na podstawie Ustawy o systemie oceny zgodności [2]. Legalizację ponowną dla przyrządów wprowadzonych już wcześniej do obrotu lub użytkowania określa w dalszym ciągu Ustawa Prawo o miarach.

2.2. Zasada pomiaru energii elektrycznej

Energia elektryczna i jej pomiar ściśle wiążą się z takimi pojęciami jak **praca** i **moc**. Praca jest to wielkość fizyczna skalarna W związana z przemieszczaniem ciała pod wpływem siły F , obliczana jako iloczyn skalarny wektora siły F i wektora przesunięcia l :

$$W = \vec{F} \cdot \vec{l} = Fl \cos \alpha . \quad (1)$$

Jednostką pracy w układzie SI jest dżul : $J = N \cdot m$.

Szczególnym przypadkiem jest praca wykonywana w polu potencjalnym. Pole potencjalne jest to pole w którym praca W nie zależy od kształtu drogi l wzdłuż której działa siła F

wykonywając pracę, ale zależy tylko od położenia początkowego i końcowego. Przykładem takich pól są pola: elektryczne i grawitacyjne. Dlatego praca w polu elektrycznym nie zależy od drogi, ale zależy tylko od różnicy potencjałów, czyli napięcia U występującego między dwoma punktami, pomiędzy którymi przemieszczany jest ładunek elektryczny q :

$$W = Uq . \quad (2)$$

Uwzględniając, że ładunek elektryczny q przenoszony przez prąd o natężeniu I jest zależny od czasu t i wynosi:

$$q = It , \quad (3)$$

możemy pracę prądu elektrycznego (stałego w czasie) wyznaczyć na podstawie napięcia U , natężenia prądu I oraz czasu t :

$$W = UI t . \quad (4)$$

Energia jest wielkością fizyczną skalarną A , opisującą w sposób ilościowy zdolność układu do wykonania pracy, jest więc miarą pracy, którą układ ten może wykonać. W zależności od rozpatrywanego układu wyróżnia się energię mechaniczną, **elektryczną**, jądrową, chemiczną i inne. Energia A oraz praca W są mierzone i wyrażane w tej samej jednostce, w układzie SI jest nią więc dżul J. Dla energii elektrycznej dopuszcza się również stosowanie jednostki nie należącej do układu SI, jest nią: kilowatogodzina, kWh :

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \cdot 3600 \text{Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{J} = 3,6 \text{MJ} .$$

Moc jest to wielkość fizyczna skalarna P określającą ilość pracy W wykonanej czasie t lub ilość energii A przekazanej przez układ w czasie t :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{A}{t} . \quad (5)$$

Jednostką mocy w układzie SI jest wat W :

$$W = \frac{J}{s} = \frac{N \cdot m}{s} .$$

Uwzględniając zależności (4) i (5), **moc elektryczna P** w obwodzie **prądu stałego** jest określona przez wartość tego prądu I oraz napięcia U :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{A}{t} = \frac{UI t}{t} = UI . \quad (6)$$

W obwodach prądu zmiennego, w których chwilowe wartości napięcia $u(t)$ i prądu $i(t)$ są zależne od czasu t , analogicznie do (6), zdefiniowana jest **moc chwilowa $p(t)$** :

$$p(t) = u(t) i(t) . \quad (7)$$

Jeśli napięcie $u(t)$ i prąd $i(t)$ są wielkościami okresowymi (a w szczególności są sinusoidalnie zmiennymi, tak jak w sieci elektroenergetycznej), to z mocy chwilowej $p(t)$ można wyznaczyć **moc średnią** za przedział czasu T (zwany okresem), którą nazywamy **mocą czynną P** :

$$P = \overline{p}(t) = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) i(t) dt. \quad (8)$$

Dla przebiegów sinusoidalnych napięcia $u(t) = U_m \sin \omega t$ i prądu $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ wzór (8) na moc czynną P po wykonaniu odpowiednich przekształceń [12] przyjmuje znaną postać:

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t + \varphi) dt = U I \cos \varphi. \quad (9)$$

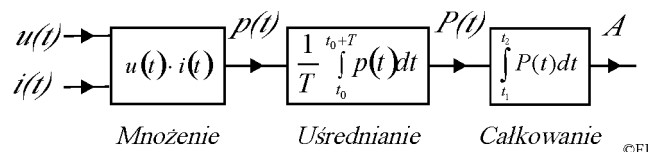
Jeśli moc czynna P jest stała w czasie, to przekształcając (5) możemy energię elektryczną czynną A wyznaczyć jako:

$$A = P t. \quad (10)$$

Jeśli moc czynna P nie jest stała w czasie (a tak jest zazwyczaj w praktyce), to możemy energię elektryczną czynną A wyznaczyć jako całkę w czasie od t_1 do t_2 ze zmiennej w czasie mocy czynnej $P(t)$:

$$A = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt. \quad (11)$$

Zależności: (11) na energię czynną oraz (8) na moc czynną stanowią podstawę działania liczników energii elektrycznej. Uproszczony schemat blokowy licznika energii elektrycznej przedstawia rys.1.



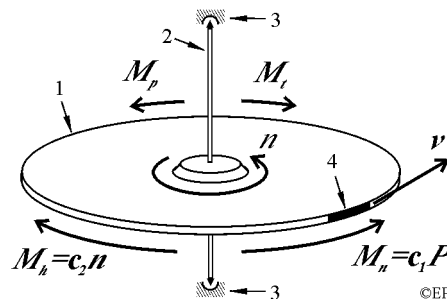
Rys.1. Schemat blokowy licznika energii elektrycznej

Wartości chwilowe napięcia $u(t)$ i prądu $i(t)$ są mnożone przez siebie, a otrzymana w ten sposób moc chwilowa $p(t)$ jest uśredniana w czasie równym okresowi (w sieci elektroenergetycznej o częstotliwości 50 Hz okres $T=20\text{ms}$). Uśredniona moc chwilowa $\overline{p}(t)$, czyli moc czynna P , jest całkowana w przedziale czasu od t_1 do t_2 , za który jest wykonywany pomiar energii A . Zależnie od technicznego sposobu realizacji tych operacji rozróżniamy dwa rodzaje liczników energii elektrycznej: elektromechaniczne i statyczne.

Elektromechaniczne liczniki energii elektrycznej są konstrukcjami zawierającymi elementy ruchome w postaci wirującej tarczy połączonej z mechanicznym licznikiem obrotów (tzw. liczydłem). Statyczne liczniki energii elektrycznej nie posiadają elementów ruchomych, a wszystkie niezbędne operacje przedstawione na rys.1 realizowane są w układach elektronicznych. Spotyka się jednak statyczne liczniki energii elektrycznej z elektromechanicznym licznikiem impulsów, co gwarantuje zachowanie wskazań po zaniku zasilania, w pozostałych konstrukcjach konieczne jest stosowanie w tym celu dodatkowych specjalnych baterii o odpowiednio długim czasie użytkowania.

Zasadę działania elektromechanicznego licznika energii elektrycznej wyjaśniono na rys.2. Aluminiowa tarcza 1 zamocowana na osi 2 obraca się swobodnie w łożyskach 3. Układ elektryczny licznika (dla uproszczenia nie pokazany na tym rysunku) wytwarza moment napędowy M_n proporcjonalny do mocy czynnej P :

$$M_n = c_1 P. \quad (12)$$



Rys.2. Zasada działania elektromechanicznego licznika energii elektrycznej

Pod wpływem momentu napędowego M_n tarcza 1 zaczyna się obracać. Jednocześnie na tarczę oddziałuje moment hamujący M_h (wytwarzany przez pole magnesu trwałego, który również dla uproszczenia nie jest pokazany na tym rysunku). Moment hamujący M_h jest proporcjonalny do prędkości obrotowej n z jaką wiruje tarcza (w obrotach/sekundę):

$$M_h = c_2 n. \quad (13)$$

Początkowo, gdy moment napędowy M_n jest większy od momentu hamującego M_h , tarcza porusza się ruchem obrotowym jednostajnie przyspieszonym. Po pewnym czasie tarcza osiąga prędkością obrotową n , przy której następuje równowaga momentów: napędowego M_n i hamującego M_h . Dla ułatwienia obserwowania obracania się tarczy, na jej obwodzie naniesiony jest czarny pasek 4, który porusza się z prędkością v . Stałe c_1 i c_2 wynikają z konstrukcji danego typu licznika.

Ze względu na nieuchronnie występujące tarcie w łożyskach 3, na tarczę 1 oddziałuje również moment tarcia M_r , który kompensowany jest momentem pomocniczym M_p , wytwarzanym dodatkowo w układzie licznika. W prawidłowo skonstruowanym i wyregulowanym liczniku momenty te równoważą się wzajemnie.

Tak więc, przy ustalonej wartości mocy czynnej P tarcza porusza się ruchem obrotowym jednostajnym z prędkością obrotową n , dla której zachodzi równowaga momentów:

$$M_n = M_h, \quad (14)$$

czyli, uwzględniając zależności (12) i (13):

$$n = \frac{c_1}{c_2} P = C \cdot P. \quad (15)$$

Tarcza wiruje więc z prędkością obrotową n proporcjonalną do mocy czynnej P . Stała C nazywana jest stałą licznika. Producent ma obowiązek umieścić na każdym liczniku znamionową wartość tej stałej, czyli stałą znamionową licznika C_{zn} , w obr./kWh. Uwzględniając zależność (11) i podstawiając do niej przekształconą zależność (15), możemy wyznaczyć energię elektryczną czynną A zmierzoną przedziale czasu od t_1 do t_2 :

$$A = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} n(t) dt = \frac{1}{C} N, \quad (16)$$

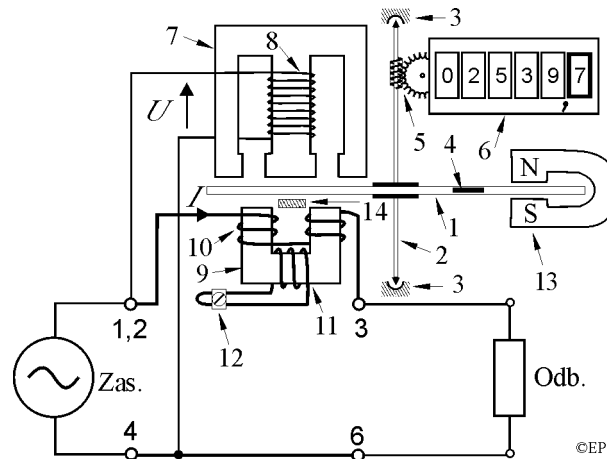
gdzie N jest liczbą obrotów, które wykonała tarcza w tym czasie.

Podsumowując: w elektromechanicznym liczniku energii elektrycznej, prędkość obrotowa n tarczy jest proporcjonalna do mocy czynnej P , a liczba obrotów N tarczy jest proporcjonalna

do energii czynnej A . Obroty tarczy zliczane są przez mechaniczne liczydło napędzane przekładnią ślimakową umieszczoną na osi obrotu tarczy.

2.3. Budowa indukcyjnego licznika energii elektrycznej

Do budowy elektromechanicznych liczników energii elektrycznej powszechnie wykorzystuje się ustrój indukcyjny. Na rys.3 przedstawiono uproszczony szkic budowy indukcyjnego licznika energii elektrycznej.



Rys.3. Uproszczony szkic budowy indukcyjnego licznika energii elektrycznej

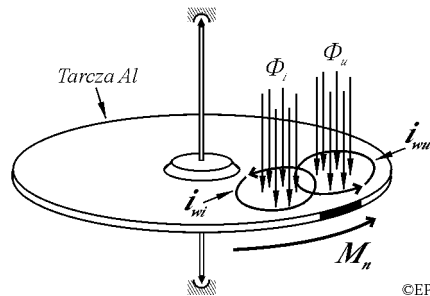
Aluminiowa tarcza 1 zamocowana na osi 2 obraca się swobodnie w łożyskach 3. Na krawędzi tarczy naniesiony jest czarny pasek 4 ułatwiający obserwację ruchu tarczy podczas regulacji i sprawdzania licznika. Na osi 2 umocowana jest przekładnia ślimakowa 5 napędzająca liczydło 6 pokazujące wartość zmierzonej energii elektrycznej. Nad tarczą 1 umieszczony jest elektromagnes napięciowy 7, którego uzwojenie 8 posiada dużą liczbę zwojów z cienkiego drutu. Pod tarczą umieszczony jest elektromagnes prądowy 9, którego uzwojenie 10 posiada małą liczbę zwojów z grubego drutu. Dodatkowe uzwojenie 11 połączone z pętlą z drutu oporowego i zworą 12 umożliwia regulację kąta fazowego licznika.

Uzwojenie 8 elektromagnesu napięciowego 7 jest włączone równolegle pod napięcie przemienne U źródła zasilania (sieci energetycznej). Uzwojenie 10 elektromagnesu prądowego 9 jest włączone szeregowo z odbiornikiem i przepływa przez nie prąd obciążenia I . Elektromagnes napięciowy 7 i prądowy 9 stanowią układ wytwarzający moment napędowy M_n (12) proporcjonalny do mocy czynnej P . Dodatkowo w szczeliny elektromagnesu prądowego 9 umieszczony jest szybko nasycający się bocznik magnetyczny 14, zmniejszający błędy licznika dla większych prądów obciążenia. Magnesy trwałe 13 wytwarzają stałe pole magnetyczne przenikające przez tarczę 1, dzięki czemu powstaje moment hamujący M_h (13) proporcjonalny do prędkości obrotowej tarczy n .

Zasadę wytwarzania momentu napędowego M_n przedstawiono na rys.4. Przez tarczę przenikają strumienie magnetyczne: Φ_u wytwarzany przez elektromagnes napięciowy oraz Φ_i wytwarzany przez elektromagnes prądowy. Ponieważ napięcie U i prąd I są przemienne, więc wytworzone przez nie przemienne strumienie magnetyczne Φ_u i Φ_i indukują w aluminiowej tarczy prądy wirowe, odpowiednio i_{wu} oraz i_{wi} . Zaindukowane w tarczy przez strumień napięciowy Φ_u prądy wirowe i_{wu} oddziałują ze strumieniem prądowym Φ_i . Podobnie, zaindukowane w tarczy przez strumień prądowy Φ_i prądy wirowe i_{wi} oddziałują ze strumieniem napięciowym Φ_u . Skutkiem tego powstaje moment napędowy M_n , którego średnia wartość wyraża się wzorem [12]:

$$M_n = c_n \omega \Phi_u \Phi_i \sin \psi , \quad (17)$$

gdzie c_n jest stałą, ψ jest kątem fazowym pomiędzy strumieniem napięciowym Φ_u i prądowym Φ_i , a ω jest pulsacją tych strumieni ($\omega=2\pi f$, w sieciach europejskich $f=50\text{Hz}$).

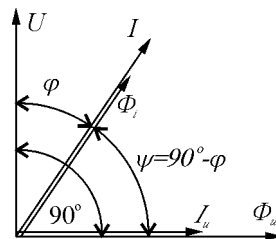


Rys.4. Zasada wytwarzania momentu napędowego M_n w liczniku indukcyjnym

Ponieważ strumienie Φ_u i Φ_i zamykają się w obwodach magnetycznych ze stosunkowo dużymi szczelinami powietrznymi, można z dobrym przybliżeniem przyjąć, że ich zależność od napięcia i prądu jest praktycznie liniowa:

$$\Phi_u = c_u U, \Phi_i = c_i I \quad . \quad (18)$$

Ponieważ indukcyjność uzwojenia elektromagnesu napięciowego jest bardzo duża, można przyjąć, że prąd I_u płynący w tym uzwojeniu, a tym samym i strumień napięciowy Φ_u są opóźnione o kąt 90° względem napięcia U . Natomiast strumień prądowy Φ_i jest w fazie z prądem I który go wytwarza. Zależności te przedstawia wykres wskazowy na rys.5.



Rys.5. Wykres wskazowy indukcyjnego licznika energii elektrycznej (wyidealizowany)

Jeśli więc prąd I odbiornika jest opóźniony o kąt φ względem napięcia zasilającego U , to z wykresu wskazowego wynika, że suma kątów φ oraz ψ jest równa 90° , tzn:

$$\psi = 90^\circ - \varphi, \text{ czyli że: } \sin \psi = \cos \varphi \quad (19)$$

Uwzględniając powyższe wnioski oraz mając na uwadze, że pulsacja ω ma stałą wartość w sieci energetycznej, możemy ostatecznie zapisać, że:

$$M_n = c_n \omega c_u U c_i I \sin \psi = c_1 U I \cos \varphi = c_1 P \quad . \quad (20)$$

Oznacza to, że rzeczywiście moment napędowy M_n jest proporcjonalny do mocy czynnej P , zgodnie z wcześniej podaną już zależnością (12).

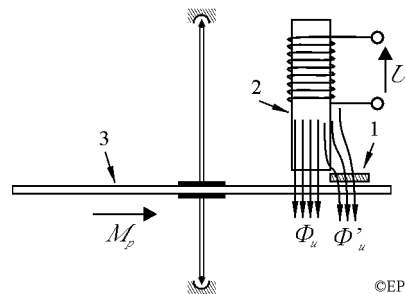
Moment hamujący M_h jest wytwarzany za pomocą magnesu trwałego 13. W tarczy poruszającej się w szczelinie magnesu trwałego indukują się prądy wirowe, które oddziaływując z polem tego magnesu są źródłem powstawania momentu hamującego M_h :

$$M_h = c_h \Phi_h^2 r n \quad , \quad (21)$$

gdzie c_n jest stałą, Φ_h jest strumieniem magnesy trwałego, a r jest średnią odległością tego strumienia od osi obrotu tarczy. Oznacza to, że moment hamujący M_h jest proporcjonalny do prędkości obrotowej n , zgodnie z wcześniej podaną już zależnością (13) i może być regulowany przez zmianę położenia magnesu względem osi obrotu tarczy. Tym samym zmienia się wartość stałej c_2 (13), co umożliwi ustalenie odpowiedniej wartości stałej znamionowej licznika C_{zn} (15).

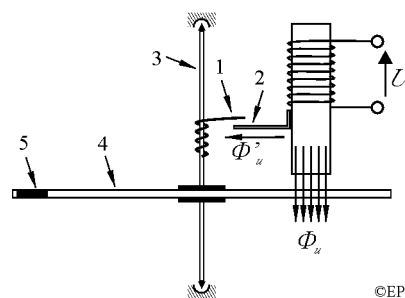
Należy zauważyć, że moment hamujący powstaje również w wyniku oddziaływania na tarczę strumienia napięciowego Φ_u i prądowego Φ_i . Ponieważ napięcie U zmienia się w niewielkich granicach, to wartość strumienia napięciowego Φ_u i powstający pod jego wpływem moment hamujący też ulegają tylko niewielkim zmianom. Nie zwiększa to więc istotnie błędów licznika. Dużym zmianom ulega natomiast strumień prądowy Φ_i , gdyż jest on zależny od prądu I pobieranego przez odbiornik, a ten może zmieniać się w szerokich granicach. Aby ograniczyć błędy z tego powodu, licznik projektuje się tak, aby pracował on przy małej wartości strumienia prądowego. Dodatkowo, w szczeliny elektromagnesu prądowego 9 (rys.3) umieszcza się bocznicę magnetyczną 14, która nasycy się dla większych wartości prądu. Dzięki temu strumień prądowy przenikający tarczę dodatkowo wzrasta i zwiększa się moment napędowy, co kompensuje nadmierny wzrost momentu hamującego.

W celu skompensowania wpływu tarcia na ruch tarczy (zaniżającego wskazania licznika) wytwarzany jest liczniku moment pomocniczy M_p . Zasadę wytwarzania momentu pomocniczego przedstawiono na rys.6. W pobliżu elektromagnesu napięciowego 2 umieszczona jest metalowa blaszka 1, przez którą przenika niewielka część strumienia napięciowego Φ_u^i . W blaszce 1 indukują się prądy wirowe, które opóźniają strumień Φ_u^i względem głównego strumienia napięciowego Φ_u . Oba te strumienie przenikają przez tarczę 3 i wytwarzają w niej prądy wirowe, skutkiem czego jest powstanie momentu pomocniczego M_p . Wartość tego momentu może być regulowana poprzez zmianę położenia blaszki 1.



Rys.6. Zasada wytwarzania momentu pomocniczego M_p

Aby zapewnić poprawną pracę licznika już od małych wartości prądu, moment pomocniczy M_p nieznacznie przewyższa tarcie, co może być przyczyną występowania biegu jałowego (zawyżającego wskazania licznika). Aby temu zapobiec licznik wyposażony jest w hamulec biegu jałowego, którego budowę przedstawiono na rys.7.



Rys.7. Budowa hamulca biegu jałowego

Na osi 3 tarczy 4 owinięty jest odcinek stalowego drutu 1. Koniec tego drutu (tzw. chorągiewka) jest odchylony pod kątem prostym od osi tarczy. Na rdzeniu napięciowym umieszczona jest stalowa blaszka 2, która jest magnesowana niewielką częścią strumienia napięciowego Φ_u^i . Podczas obracania się tarczy licznika w stanie jałowym, w chwili gdy drucik 1 zbliży się do blaszki 2, wystąpi ich wzajemne przyciąganie się, co spowoduje zatrzymanie się tarczy. W tym położeniu czarny pasek 5 umieszczony na krawędzi tarczy jest widoczny w okienku licznika. Dlatego zawsze przy braku poboru mocy tarcza licznika powinna zatrzymać się w tym właśnie położeniu. Podczas normalnej pracy licznika hamulec biegu jałowego nie wpływa na wskazania, gdyż przyciąganie drucika 1 przez blaszkę 2 w ciągu jednej połowy obrotu jest kompensowane podczas drugiej połowy (tarcza okresowo przyspiesza i zwalnia). Średnia wartość prędkości obrotowej tarczy nie ulega więc zmianie.

2.4. Błędy indukcyjnego licznika energii elektrycznej

Indukcyjny licznik energii elektrycznej popełnia błąd pomiaru wynikający z różnicy pomiędzy stałą znamionową licznika C_{zn} i stałą rzeczywistą C . Błąd licznika ΔA jest to różnica pomiędzy wartością energii A_x wskazanej przez licznik i energią poprawną A_p , która rzeczywiście została pobrana przez odbiornik:

$$\Delta A = A_x - A_p . \quad (22)$$

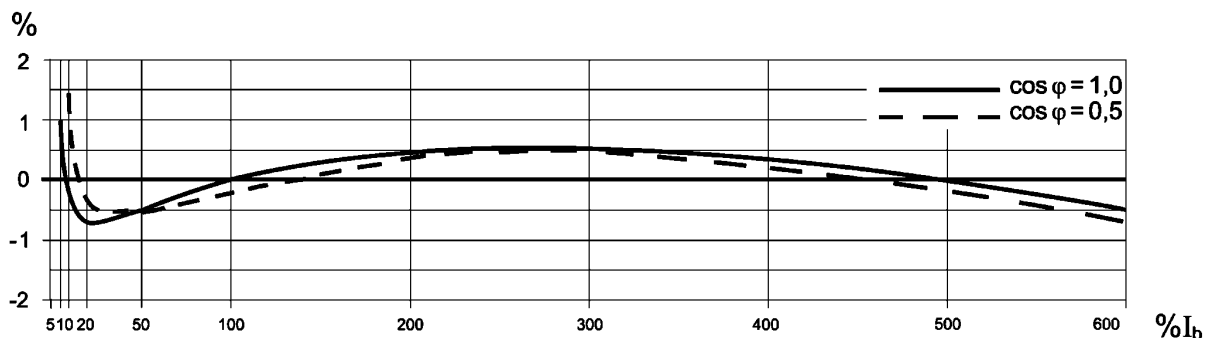
W praktyce, dla oceny dokładności licznika wykorzystuje się błąd względny δA :

$$\delta A = \frac{A_x - A_p}{A_p} . \quad (23)$$

Jeśli podczas sprawdzania licznika o stałej znamionowej C_{zn} , obciążonego mocą P , jego tarcza wykonała N pełnych obrotów w czasie t_p , to energia A_x wskazana przez licznik i energia poprawna A_p , mogą być wyznaczone z zależności :

$$A_x = \frac{N}{C_{zn}} = P \cdot t_n , \quad A_p = P \cdot t_p . \quad (24)$$

W praktyce, zgodnie z przepisami [7], do wyznaczania błędów licznika wykorzystuje się metodę mocy i czasu lub metodę licznika kontrolnego. Błędy te zależą od wartości prądu obciążenia, typową postać krzywej błędów licznika indukcyjnego przedstawiono na rys.8.



Rys.8. Typowa postać krzywej błędów licznika indukcyjnego

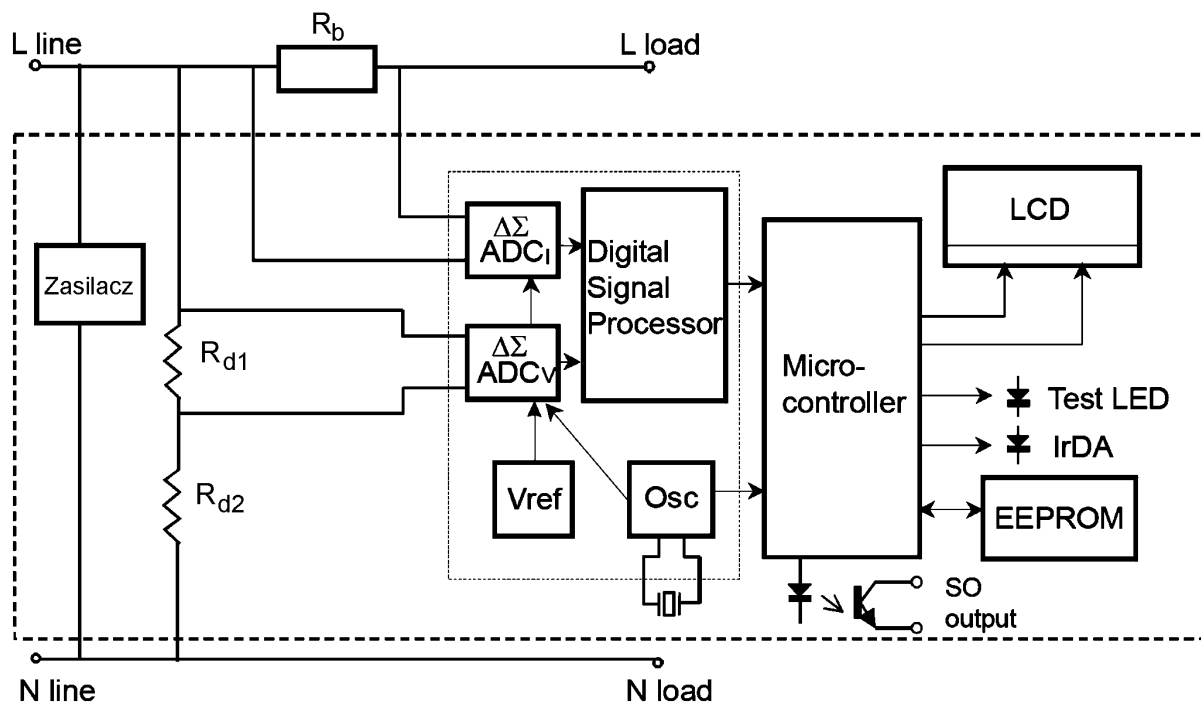
Dla małych wartości prądów błąd licznika jest dodatni ze względu na istotny wpływ momentu pomocniczego przewyższającego moment tarcowy. Przy większych wartościach prądów wpływ momentu pomocniczego przestaje być istotny i błędy licznika maleją. Przy dalszym wzroście prądu obciążenia błędy ponownie wzrastają ze względu na nieliniową

charakterystykę magnesowania rdzenia elektromagnesu prądowego (strumień prądowy narasta szybciej niż prąd). Przy dalszym wzroście prądu ujawnia się wpływ momentu hamującego od strumienia prądowego i krzywa błędów ponownie opada. Licznik jest tak regulowany przez producenta aby dla pewnej znanej wartości prądu błędy były zbliżone do zera. Wartość prądu, przy której błędy są najmniejsze oraz dla której ustalane są istotne cechy licznika (np. stała znamionowa), nazywa się prądem bazowym I_b . Należy zauważyć, że wykres błędów na rys.8. przedstawiono w procentach prądu bazowego I_b .

2.4. Statyczne liczniki energii elektrycznej

Indukcyjne liczniki energii elektrycznej są bardzo często stosowane ze względu na ich stosunkowo niską cenę. Posiadają jednak one wiele wad wynikających ze stosunkowo skomplikowanej konstrukcji mechanicznej. Od pewnego czasu wprowadza się do stosowania w ich miejsce liczniki statyczne, które nie posiadają elementów ruchomych. Dzięki temu charakteryzują się znacznie większą trwałością i lepszą dokładnością.

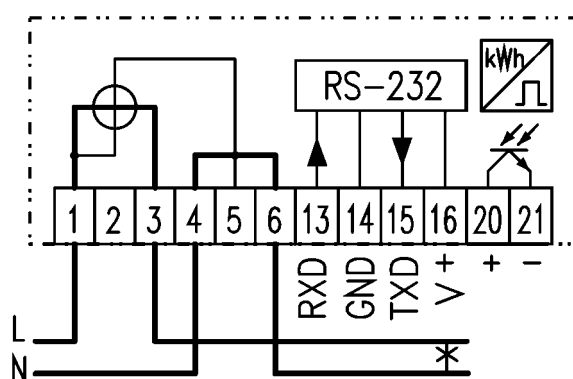
Podstawowa zasada działania licznika statycznego i indukcyjnego jest taka sama, przedstawiono ją na rys.1. Różnią się one tylko sposobem technicznej realizacji podstawowych operacji: mnożenia wartości chwilowych prądu i napięcia, uśredniania mocy chwilowej i całkowania mocy czynnej. Liczniki statyczne realizowane są według wielu różnych koncepcji, nie jest więc możliwe podanie jednego wspólnego schematu blokowego. Można wyróżnić liczniki statyczne zbudowane wyłącznie z wykorzystaniem elektronicznych układów analogowych oraz wykorzystujące przetworniki analogowo-cyfrowe i układy mikroprocesorowe. Na rys.9 przedstawiono przykładowy schemat mikroprocesorowego licznika energii elektrycznej.



Rys.9. Przykładowy schemat blokowy statycznego licznika energii elektrycznej

Pomiar prądu obciążenia odbywa się w przewodzie fazowym L za pomocą rezystora R_b (tzw. bocznika). Spadek napięcia na rezystorze R_b jest miarą prądu obciążenia i jest przetwarzane w przetworniku ADC1 do postaci cyfrowej. Napięcie pomiędzy przewodem fazowym L i neutralnym N jest mierzone za pośrednictwem dzielnika napięcia złożonego z rezystorów R_{d1} i R_{d2} . Napięcie z rezystora R_{d1} jest przetwarzane do postaci cyfrowej w przetworniku ADC2. Sygnały napięcia i prądu są przetwarzane na cyfrowe próbki z

szybkością kilkuset próbek/sekundę (lub szybciej), czyli w jednym okresie napięcia sieciowego ($T=20\text{ms}$) pobieranych jest kilkadziesiąt do kilkuset próbek napięcia i prądu. Procesor sygnałowy na bieżąco mnoży przez siebie chwilowe wartości napięcia i prądu (oblicza moc chwilową) i uśrednia je wyznaczając moc czynną. Wyniki obliczeń przekazywane są do mikroprocesora, który całkuje wartości mocy czynnej i oblicza pobraną przez odbiornik energię. Wynik pomiaru pokazywany jest na wyświetlaczu LCD oraz zawsze na bieżąco zapamiętywany w nieulotnej pamięci EEPROM, co zapewnia zachowanie wskazań po chwilowym zaniku napięcia zasilającego. Często liczniki takie posiadają również dodatkowe zasilanie w postaci baterii o bardzo długiej żywotności. Do celów sprawdzania wszystkie liczniki statyczne wyposażone są w specjalne wyjście testowe, spełniające podobną rolę jak czarny pasek umieszczony na krawędzi tarczy liczników indukcyjnych. Jest to wyjście typu OC (Otwarty Kolektor), wymagające zewnętrznego zasilania, typowo dopuszczalny prąd wynosi 20mA przy napięciu maksymalnym 15V (lub więcej). Jeden impuls na wyjściu testowym licznika statycznego jest odpowiednikiem jednego obrotu tarczy licznika indukcyjnego. Stała znamionowa C_{zn} liczników statycznych jest podawana w liczbie impulsów/ 1kWh . Typowo stała znamionowa C_{zn} liczników statycznych wynosi od kilkuset do kilku tysięcy impulsów/ 1kWh . Często również liczniki statyczne posiadają dodatkowy interfejs bezprzewodowy (np.: IRDA) lub przewodowy (np.: RS232) poprzez który możliwy jest zdalny odczyt wskazania licznika. Zazwyczaj więc licznik statyczny posiada dodatkowe styki na listwie zaciskowej. Przykładowy schemat połączeń licznika statycznego przedstawiono na rys.10. Wyjście testowe dostępne jest typowo na zaciskach 20-21.



Rys.10. Schemat przyłączenia statycznego licznika energii elektrycznej

3. Wymagania stawiane licznikom energii elektrycznej

Zgodnie z przepisami [7] licznik powinien spełniać wymagania w zakresie: charakterystyk metrologicznych, konstrukcji, wykonania i materiałów, instrukcji obsługi, a także miejsc umieszczania cech legalizacji i zabezpieczających. Wymagania w zakresie charakterystyk metrologicznych obejmują następujące zagadnienia:

- dopuszczalne wartości błędów granicznych,
- warunki sprawdzania biegu jałowego,
- dopuszczalne wartości prądu rozruchu,
- warunki odniesienia do sprawdzania liczników.

Przy określaniu parametrów liczników stosuje się między innymi następujące definicje [9]:

- prąd bazowy I_b** - wartość prądu, dla którego ustalane są istotne cechy licznika,
- prąd minimalny I_{min}** - wartość prądu, powyżej której błąd licznika w warunkach odniesienia nie przekracza błędów granicznych dopuszczalnych;
- prąd maksymalny I_{max}** - najwyższa wartość prądu, przy której błąd licznika w warunkach odniesienia nie przekracza błędów granicznych dopuszczalnych;

-prąd rozruchu I_{st} - najmniejsza wartość prądu, przy której licznik rozpoczyna i kontynuuje zliczanie energii,

-warunki odniesienia - warunki przewidziane do sprawdzania licznika oraz wzajemnego porównywania wyników pomiarów,

-napięcie odniesienia U_n - wartość napięcia, dla którego ustalane są istotne cechy licznika (niektóre przepisy stosują nazwę **napięcie nominalne U_n** [7]),

-warunki użytkowania - warunki użytkowania licznika, w których jego charakterystyki metrologiczne są zawarte w określonych granicach, a błędy wskazań nie przekraczają błędów granicznych dopuszczalnych.

3.1. Dopuszczalne wartości błędów liczników energii elektrycznej

Obecnie obowiązujące przepisy [7] definiują dla liczników energii elektrycznej trzy klasy dokładności oznaczane literami: A, B, C. Wcześniejsze przepisy stosowały oznaczenia liczbowe klas, odpowiednio: 0,5, 1, 2. Rozporządzenie [7], w § 2 ust.1 określa, że przepisy tego rozporządzenia stosuje się do liczników wprowadzonych do obrotu lub użytkowania:

- 1) na podstawie decyzji zatwierdzenia typu wydanych do dnia 7 stycznia 2007 r.;
- 2) w wyniku oceny zgodności (czyli na podstawie ustawy [2]).

Dalej, w ust.2 rozporządzenie określa, że podczas legalizacji liczników, o których mowa w § 2 ust. 1 pkt 1, dla klas dokładność 0,5; 1 i 2 stosuje się wymagania odpowiadające klasom C, B i A.

Jak pokazano na rys.8, błędy licznika silnie zależą od prądu obciążenia i współczynnika mocy. Dlatego dopuszczalne wartości błędów licznika określa się dla kilku różnych wartości prądu i współczynnika mocy. Błędy graniczne dopuszczalne wskazań oraz punkty obciążenia licznika indukcyjnego dla poszczególnych klas dokładności przedstawiono w tab.1. Rozróżniono również wymagania dla liczników jednofazowych i trójfazowych. Analogiczne wymagania dla liczników statycznych zestawiono w tab.2.

3.2. Bieg jałowy i prąd rozruchu

Ze względu na występowanie w liczniku momentu pomocniczego kompensującego tarcie istnieje ryzyko biegu jałowego. Podobne zjawisko może wystąpić w licznika statycznych (elektronicznych), głównie ze względu na występowanie dryftów napięcia niezrównoważenia wzmacniaczy operacyjnych. Przepisy [7] określają, że licznik, przy otwartych torach prądowych i dowolnym napięciu w przedziale:

- 1) od 80 % do 110 % napięcia odniesienia - dla licznika indukcyjnego albo
 - 2) od 80 % do 115 % napięcia odniesienia - dla licznika statycznego
- nie powinien wykazywać biegu jałowego przez naliczanie energii.

Dla uniknięcia ryzyka wystąpienia biegu jałowego w liczniku indukcyjnym stosuje się hamulec biegu jałowego, który uniemożliwia pomiar energii przy bardzo małych wartościach prądu. Podobnie licznik statyczny posiada zabezpieczenia przed naliczaniem energii w stanie jałowym. Przepisy określają więc wartość prądu, powyżej której licznik powinien rozpocząć poprawny pomiar energii. Wartość prądu rozruchu licznika, określająca jego czułość, przy obciążeniu symetrycznym, napięciu odniesienia i współczynnika mocy równym jedności, nie powinna przekraczać wartości określonych w tab.3.

3.3. Warunki odniesienia dla liczników energii elektrycznej

Wszystkie wymagania metrologiczne stawiane licznikom energii elektrycznej należy sprawdzać w warunkach odniesienia podanych w tab.4. Poza tym przepisy [7] określają również wymagania na symetrię napięć zasilających, dopuszczalną wartość zewnętrznego pola magnetycznego oraz dopuszczalną zawartość harmonicznych w napięciu i prądzie.

Tab.1. Błędy graniczne dopuszczalne wskazań oraz punkty obciążenia licznika indukcyjnego [7]

| Rodzaj licznika i obciążenia | Punkt obciążenia | | Błędy graniczne dopuszczalne wskazań licznika wyrażone w % dla klas dokładności | | | |
|---|-------------------------|----------------------------------|---|-------|------------------------------|-----------------|
| | prąd obciążenia | współczynnik mocy $\cos \varphi$ | C | B | A ₂ ¹⁾ | 2 ²⁾ |
| Liczniki jednofazowe | 0,1 I_b | 1 | ± 0,5 | ± 1,0 | ± 2,0 | ± 3,0 |
| | I_b | 1 | ± 0,5 | ± 1,0 | ± 2,0 | ± 2,5 |
| | I_b | 0,5 (indukcyjny) | ± 0,8 | ± 1,0 | ± 2,0 | ± 2,5 |
| | I_{max} | 1 | ± 0,5 | ± 1,0 | ± 2,0 | ± 2,5 |
| Liczniki trójfazowe obciążone symetrycznie | 0,1 I_b | 1 | ± 0,5 | ± 1,0 | ± 2,0 | ± 2,5 |
| | 0,5 I_b ³⁾ | 1 | ± 0,5 | ± 1,0 | ± 2,0 | — |
| | 0,5 I_b ³⁾ | 0,5 (indukcyjny) | ± 0,8 | ± 1,0 | ± 2,0 | — |
| | I_b | 1 | ± 0,5 | ± 1,0 | ± 2,0 | ± 2,5 |
| | I_b | 0,5 (indukcyjny) | ± 0,8 | ± 1,0 | ± 2,0 | ± 2,5 |
| | I_{max} | 1 | ± 0,5 | ± 1,0 | ± 2,0 | ± 2,5 |
| Liczniki trójfazowe przy obciążeniu tylko jednej fazy | I_b | 1 | ± 1,5 | ± 2,0 | ± 3,0 | ± 3,5 |
| | I_b | 0,5 (indukcyjny) | ± 1,5 | ± 2,0 | ± 3,0 | ± 3,5 |

¹⁾ Dotyczy liczników do pomiarów pośrednich i półpośrednich, o których mowa w § 2 ust. 1 pkt 1 rozporządzenia.

²⁾ Dotyczy liczników do pomiarów bezpośrednich, o których mowa w § 2 ust. 1 pkt 1 rozporządzenia.

³⁾ Dodatkowy punkt kontrolny do pomiarów dla liczników do pomiarów pośrednich i półpośrednich.

3.4. Wymagania dotyczące konstrukcji liczników

Ponieważ wskazania odczytywane z liczników energii elektrycznej stanowią podstawę do naliczania opłat i wystawiania faktur, to ich konstrukcja i wykonanie, a także materiały stosowane do ich wytworzenia muszą również spełniać odpowiednie wymagania. Najważniejszym wymaganiem w tym zakresie w stosunku do licznika oraz współpracujących z nim urządzeń dodatkowych (np. przekładników, zegarów sterujących itp.) jest zapewnienie zabezpieczenia licznika w sposób uniemożliwiający ingerencję do jego wnętrza oraz przypadkowe lub celowe zafałszowanie wskazań, czyli kradzież energii. Obudowa licznika powinna być przystosowana do plombowania w taki sposób, aby nie było możliwe uzyskanie dostępu do jej wnętrza i ingerencja w parametry metrologiczne bez zerwania plomby lub rozbicia obudowy. Powinna być również zagwarantowana wytrzymałość i trwałość w przewidywanym przez producenta okresie czasu w znamionowych warunkach użytkowania. Znormalizowany symbol graficzny licznika energii elektrycznej (jednofazowego), numerację jego zacisków oraz sposób przyłączania do instalacji odbiorcy przedstawia rys.11.

Tab.2. Błędy graniczne dopuszczalne wskazań oraz punkty obciążenia licznika statycznego [7]

| Rodzaj licznika i obciążenia | Punkt obciążenia | | Błędy graniczne dopuszczalne wskazań licznika wyrażone w % dla klas dokładności | | |
|---|------------------|----------------------------------|---|-----------|-----------|
| | prąd obciążenia | współczynnik mocy $\cos \varphi$ | C | B | A |
| Liczniki jednofazowe | 0,1 I_b | 1 | $\pm 0,5$ | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ |
| | I_b | 1 | $\pm 0,5$ | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ |
| | I_b | 0,5 (indukcyjny) | $\pm 0,5$ | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ |
| | I_{max} | 1 | $\pm 0,5$ | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ |
| Liczniki trójfazowe obciążone symetrycznie | 0,1 I_b | 1 | $\pm 0,5$ | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ |
| | 0,5 $I_b^{1)}$ | 1 | $\pm 0,5$ | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ |
| | 0,5 $I_b^{1)}$ | 0,5 (indukcyjny) | $\pm 0,5$ | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ |
| | I_b | 1 | $\pm 0,5$ | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ |
| | I_b | 0,5 (indukcyjny) | $\pm 0,5$ | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ |
| | I_{max} | 1 | $\pm 0,5$ | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ |
| Liczniki trójfazowe przy obciążeniu tylko jednej fazy | I_b | 1 | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ | $\pm 3,0$ |
| | I_b | 0,5 (indukcyjny) | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ | $\pm 3,0$ |

¹⁾ Dodatkowy punkt kontrolny dla liczników do pomiarów pośrednich i półpośrednich.

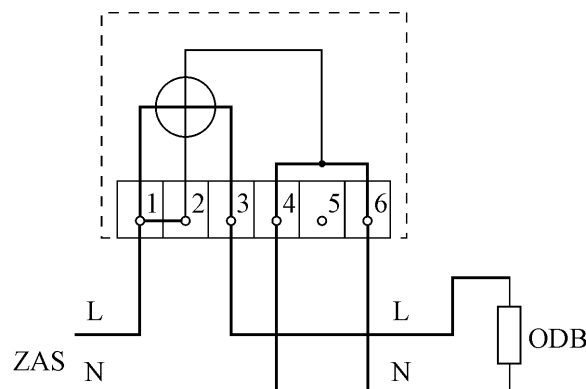
Tab.3. Maksymalna dopuszczalna wartość prądu rozruchu licznika [7]

| Rodzaj licznika | Wartość prądu rozruchu w zależności od rodzaju licznika i klasy dokładności wyrażona w % wartości prądu bazowego | | |
|--|--|-----|-----|
| | C | B | A |
| Statyczny | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| Indukcyjny, jednotaryfowy bez dodatkowych urządzeń obciążających mechanicznie ruch obrotowy wirnika | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| Indukcyjny z dodatkowymi urządzeniami obciążającymi mechanicznie ruch obrotowy wirnika (np. liczydło wielotaryfowe, urządzenie do blokady ruchu wstecznego itp.) | 0,4 | 0,4 | 0,5 |

W niektórych typach liczników początek cewki napięciowej (zacisk 2) jest połączony wewnątrz obudowy z początkiem cewki prądowej (zacisk 1). W takim przypadku zacisk 2 na listwie zaciskowej licznika nie występuje. W liczniku jednofazowym nie występuje również zacisk 5. Należy również zauważyć, że przy dołączaniu licznika energii elektrycznej wymagane jest przecięcie również przewodu neutralnego i dołączenie go do licznika zarówno od strony zasilania jak i odbiornika (zaciski 4, 6). Ponieważ listwa zaciskowa licznika jest plombowana, takie połączenie **zabezpiecza przed próbą kradzieży energii** elektrycznej poprzez odłączenie zasilania cewki napięciowej od przewodu neutralnego.

Tab.4. Warunki odniesienia do sprawdzania liczników energii elektrycznej [7]

| Wielkość wpływająca | Wartość odniesienia | Dopuszczalne odchylenie od wartości odniesienia | | | | | |
|-----------------------|---------------------|---|---------|---------|---|---------|---------|
| | | liczniki statyczne klas dokładności | | | liczniki indukcyjne klas dokładności | | |
| | | C | B | A | C | B | A |
| Temperatura otoczenia | 23 °C | ± 2 °C | ± 2 °C | ± 2 °C | ± 1 °C | ± 2 °C | ± 2 °C |
| Pozycja pracy | pionowa | nie ma istotnego wpływu | | | ± 0,5° | ± 0,5° | ± 0,5° |
| Napięcie | nominalne | ± 1,0 % | ± 1,0 % | ± 1,0 % | ± 0,5 % | ± 1,0 % | ± 1,0 % |
| Częstotliwość | nominalna | ± 0,3 % | ± 0,3 % | ± 0,5 % | ± 0,2 % | ± 0,3 % | ± 0,5 % |



Rys.11. Symbol graficzny, oznaczanie zacisków i schemat przyłączenia licznika energii elektrycznej

Kradzież energii elektrycznej jest istotnym problemem. Nieuczciwi odbiorcy próbują pobierać nielegalnie energię poprzez mechaniczną ingerencję w urządzenie pomiarowe licznika, modyfikację układu połączeń elektrycznych licznika oraz oddziałując na urządzenie licznika silnym polem magnetycznym za pomocą magnesów neodymowych. W każdym przypadku działanie takie jest przestępstwem podlegającym stosownym karom. Dodatkowo, dostawca energii elektrycznej, zgodnie z taryfą ma prawo obciążyć nieuczciwego odbiorcę zryczałtowaną opłatą, która z reguły wielokrotnie może przewyższyć wartość nielegalnie pobranej energii. Obecnie instalowane liczniki posiadają liczne układy pozwalające na stwierdzenie i udowodnienie przed sądem faktu nielegalnego poboru energii.

Szczególną uwagę warto zwrócić na próby kradzieży energii elektrycznej z użyciem silnego magnesu neodymowego [13], [14], [15], [16]. Należy stwierdzić, że postępowanie takie jest zupełnie pozbawione sensu. Każde zbliżenie magnesu neodymowego do indukcyjnego licznika energii elektrycznej powoduje jego natychmiastowe uszkodzenie poprzez trwałe rozmagnesowanie wewnętrznego magnesu wytwarzającego moment hamujący. Licznik taki wykazuje bardzo duże błędy dodatnie i zawyża wskazania pobranej energii. Nieuczciwy (również naiwny) odbiorca energii zamiast spodziewanych „oszczędności” płaci znacznie zawyżone rachunki, a w dalszej kolejności ponosi koszty wymiany uszkodzonego licznika i często również naraża się na proces sądowy.

UWAGA. Ze względu na możliwość trwałego uszkodzenia licznika, zabrania się wnoszenia na teren laboratorium jakichkolwiek magnesów !!!

3.5. Oznaczenia na tabliczce znamionowej licznika

Na liczniku powinny być umieszczone w sposób trwały i czytelny:

- 1) nazwa lub znak producenta;

- 2) oznakowanie zgodności, w rozumieniu ustawy o systemie oceny zgodności [2], dodatkowe oznakowanie metrologiczne oraz numer jednostki notyfikowanej;
- 3) numer certyfikatu badania typu WE albo certyfikatu badania projektu WE [2];
- 4) numer fabryczny;
- 5) rok produkcji licznika;
- 6) oznaczenie typu licznika;
- 7) klasa dokładności licznika;
- 8) liczba faz i liczba przewodów sieci, do jakiej licznik jest przeznaczony, w postaci napisu lub odpowiedniego symbolu graficznego określonego w normie;
- 9) wartości odniesienia napięcia i częstotliwości;
- 10) wartości prądu minimalnego, bazowego i maksymalnego;
- 11) zakres temperatur użytkowania oraz temperatura odniesienia, jeżeli jest różna od 23 °C;
- 12) stała licznika;
- 13) schemat sposobu przyłączenia licznika do sieci lub jego numer;
- 14) odpowiedni znak jeżeli licznik został wykonany w II klasie ochronności.



Rys.12. Przykładowa tabliczka znamionowa licznika energii elektrycznej

Przykładowe oznaczenia naniesione na tabliczce indukcyjnego licznika energii elektrycznej przedstawiono na rys.12. Na tabliczce tego licznika podano: jednostkę wielkości mierzonej (kWh), typ A52, znak zatwierdzenia typu PRL T3195, numer fabryczny 12009468, napięcie odniesienia 220V, prąd bazowy 10A, prąd maksymalny 40A (w nawiasach), częstotliwość odniesienia 50Hz, klasę dokładności 2, stałą znamionową 375obr/1kWh, nazwę producenta (PAFAL), rok produkcji 1973.

4. Regulacja i sprawdzanie licznika energii elektrycznej

Aby wyprodukowany lub naprawiany indukcyjny licznik energii elektrycznej spełniał wymagania przepisów musi być odpowiednio wyregulowany. Regulacja licznika obejmuje:

- regulację momentu pomocniczego dla skompensowania tarcia,
- regulację hamulca biegu jałowego do skompensowania momentu pomocniczego (zatrzymanie tarczy bez poboru mocy),
- regulację kąta fazowego dla uzyskania zgodności $\cos\varphi = \sin\psi$,
- regulację momentu hamującego dla uzyskania minimalnych błędów.

Regulacja licznika statycznego jest uzależniona od jego specyficznej budowy i dla każdego typu licznika przebiega inaczej. Procedurę regulacji takiego licznika ustala jego producent.

Po przeprowadzeniu regulacji każdy licznik należy sprawdzić. Prawidłowo wyregulowany licznik (statyczny i indukcyjny) powinien:

- wykazywać tendencję do ruchu (dotyczy tylko liczników indukcyjnych),
- nie wykazywać biegu jałowego,
- posiadać prąd rozruchu nie przekraczający wartości określonych w przepisach,
- posiadać błędy nie przekraczające wartości granicznych określonych w przepisach.

4.1. Regulacja momentu pomocniczego i sprawdzanie tendencji do ruchu

Regulacja momentu pomocniczego i sprawdzanie tendencji do ruchu dotyczy wyłącznie liczników indukcyjnych, zagadnienie to nie dotyczy liczników statycznych. Moment pomocniczy reguluje się poprzez zmianę położenia blaszki 1 (rys.6) umieszczonej w pobliżu elektromagnesu napięciowego 2. Zazwyczaj w licznikach są montowane dwie takie blaszki, po obu stronach elektromagnesu napięciowego. Blaszki należy ustawić w taki sposób, aby w zakresie napięć od 80% do 110% U_n i rozwartym obwodzie prądowym tarcza obracała się w sposób płynny, ale nie może wykonać pełnego obrotu - powinna zatrzymać się pod wpływem działania hamulca biegu jałowego. Takie zachowanie tarczy nazywamy **tendencją do ruchu**.

Aby sprawdzić, czy tarcza licznika wykazuje tendencję do ruchu, należy tarczę ustawić w położeniu początkowym (załączając na chwilę obciążenie licznika), w którym nie działa hamulec biegu jałowego. Do tego celu służy dodatkowy, wąski pasek naniesiony na krawędzi tarczy, który powinien być w tym ustawieniu widoczny w okienku tabliczki znamionowej licznika. Tor napięciowy należy zasilic napięciem równym 80% U_n , tor prądowy powinien być otwarty. Tarcza powinna powoli, ale płynnie obracać się aż do zadziałania hamulca biegu jałowego, tzn. gdy w okienku tabliczki znamionowej pokaże się szeroki pasek. Nie ma potrzeby dokonywać tego sprawdzenia przy wyższych napięciach (110% U_n), gdyż dla wyższych napięć moment pomocniczy jest większy i tendencja do ruchu na pewno będzie również występowała.

4.2. Regulacja hamulca biegu jałowego, sprawdzanie biegu jałowego i prądu rozruchu

W liczniku indukcyjnym występowanie tendencji do ruchu niesie ze sobą ryzyko wystąpienia biegu jałowego licznika. **Bieg jałowy licznika** oznacza, że przy zasilanym torze napięciowym i otwartym torze prądowym tarcza licznika indukcyjnego obraca się w sposób ciągły, tzn. wykonuje więcej niż jeden pełny obrót (czyli że nie działała skutecznie hamulec biegu jałowego). Analogiczne zjawisko może wystąpić również w liczniku statycznym, tzn. że licznik statyczny w stanie jałowym generuje impulsy i zlicza energię elektryczną. **Żaden licznik nie może wykazywać biegu jałowego.** W liczniku indukcyjnym w tym celu należy wyregulować hamulec biegu jałowego: należy tak ustalić położenie drucika 1 względem blaszki 2 (rys.7) aby hamulec skutecznie blokował bieg jałowy tarczy. W liczniku statycznym analogiczny efekt otrzymuje się na drodze elektronicznej.

Aby sprawdzić, czy licznik nie wykazuje biegu jałowego należy do obwodów napięciowych licznika, przy otwartych obwodach prądowych, przyłożyć kolejno napięcie równe:

- 1) 80 % wartości napięcia odniesienia U_n oraz
- 2) 110 % wartości napięcia odniesienia U_n - dla licznika indukcyjnego albo
- 3) 115 % napięcia odniesienia U_n - dla licznika statycznego.

Podczas sprawdzania, wirnik licznika indukcyjnego nie powinien wykonać pełnego obrotu; a szeroki pasek na tarczy licznika powinien ostatecznie ustawić się w wycięciu tabliczki znamionowej. Praktycznie sprawdzanie to należy przeprowadzić analogicznie jak sprawdzanie tendencji do ruchu: należy wstępnie ustawić tarczę z wąskim paskiem w wycięciu tabliczki znamionowej i przy otwartym torze prądowym sprawdzić, czy tarcza zatrzyma się z widocznym szerokim paskiem w wycięciu tabliczki. Sprawdzanie należy wykonać dla dwóch wymaganych wartości napięcia.

Dodatkowo przepisy formułują następujące zalecenia:

- w przypadku licznika indukcyjnego niskoobrotowego o stałej licznika poniżej 500 obrotów na kilowatogodzinę czas sprawdzania biegu jałowego powinien wynosić co najmniej 10 minut,

- sprawdzania biegu jałowego licznika indukcyjnego powinno się dokonywać przy stanie wskazań liczydła, przy którym obraca się tylko jeden bębnek,

- w przypadku indukcyjnego licznika wielotaryfowego sprawdzenia biegu jałowego należy dokonać przy pracy liczydła podstawowego, o ile licznik spełnia we wszystkich taryfach wymagania, o których mowa w przepisach,

- podczas sprawdzania licznika statycznego jego wyjście kontrolne nie powinno wytworzyć więcej impulsów niż jeden.

- sprawdzanie biegu jałowego licznika statycznego klasy C należy przeprowadzać przez czas dwudziestokrotnie dłuższy niż czas upływający między dwoma impulsami, gdy w torach prądowych płynie prąd o wartości równej prądowi rozruchu licznika, dla klasy A i B przepisy [7] podają odpowiednie wzory na czas trwania sprawdzania.

Skuteczne działanie układu blokującego ruch jałowy w liczniku indukcyjnym i statycznym może niestety w niedopuszczalny sposób spowodować brak prawidłowego naliczania energii przy małych wartościach prądu obciążenia. Dlatego przepisy definiują **prąd rozruchu** jako najmniejsza wartość prądu, przy której licznik rozpoczyna i kontynuuje zliczanie energii.

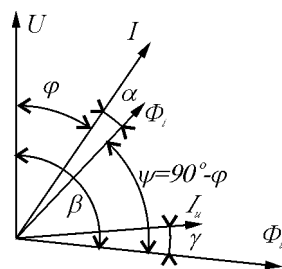
Maksymalną dopuszczalną wartość prądu rozruchu licznika podano w tab.3, zależnie od rodzaju licznika wynosi ona 0,4% lub 0,5% wartości prądu bazowego I_b .

Podczas sprawdzania prądu rozruchu licznika tarcza licznika indukcyjnego powinna wykonać płynnie co najmniej jeden obrót, a licznik statyczny powinien wyemitować co najmniej dwa impulsy. W przypadku licznika indukcyjnego sprawdzenia prądu rozruchu należy dokonać podczas obrotu jednego bębena liczydła. Sprawdzenie prądu rozruchu licznika wykonuje się przy napięciu odniesienia U_n i $\cos\varphi=1$.

Sprawdzając prąd rozruchu licznika indukcyjnego należy wstępnie nastawić w układzie $\cos\varphi=1$ i ustawić tarczę w pozycji nieznacznie poprzedzającej zadziałaniem hamulca biegu jałowego. Następnie przy napięciu odniesienia U_n i otwartym torze prądowym należy poczekać na zatrzymanie się tarczy. Wtedy, zwiększając powoli prąd od zera, znajdujemy jego wartość, przy której tarcza rozpocznie ruch i wykona co najmniej jeden pełny obrót.

4.3. Regulacja kąta fazowego i jego sprawdzanie

Prawidłowe działanie licznika indukcyjnego wymaga, aby suma kątów $\varphi + \psi$ była równa 90° . Wtedy licznik poprawnie reaguje na moc czynną, która zależy od $\cos\varphi$. Niestety, wykres wskazowy przedstawiony na rys.5 jest wyidealizowany. W rzeczywistości strumień prądowy Φ_i nie jest w fazie z prądem I , który go wytwarza, lecz jest względem niego opóźniony o pewien kąt α . Podobnie strumień napięciowy Φ_u nie jest opóźniony o kąt 90° względem napięcia U , w rzeczywistości opóźnienie to jest równe pewnemu kątowi β większemu od kąta prostego. Rzeczywisty wykres wskazowy licznika indukcyjnego przedstawiono na rys.13. Regulacja kąta fazowego polega na takim dobraniu opóźnienia α strumienia prądowego Φ_i względem prądu I , aby uzyskać wymaganą zależność na sumę kątów $\varphi + \psi = 90^\circ$. Regulację taką umożliwiała dodatkowe uzwojenie 11 nawinięte na rdzeniu prądowym 9 i połączone z pętlą z drutu oporowego i zworą 12 (rys.3). Wstępną, zgrubną regulację przeprowadza się przecinając dodatkowe, pojedyncze zwoje zwarte umieszczone na rdzeniu napięciowym i prądowym podczas produkcji licznika.



Rys.13. Rzeczywisty wykres wskazowy indukcyjnego licznika energii elektrycznej

Aby prawidłowo wyregulować kąt fazowy należy zasilić licznik napięciem odniesienia U_n i prądem bazowym I_b , przy ustawionym kącie fazowym $\varphi = 90^\circ$ (co odpowiada zerowej wartości mocy czynnej $P=0$) i tak dobrać położenie zwory 12, aby tarcza licznika wykazywała tendencję do ruchu pod wpływem tylko momentu pomocniczego M_p , co świadczy o zerowej wartości momentu napędowego $M_n=0$. Regulację tę należy oczywiście przeprowadzać w takim ustawieniu tarczy, w którym nie działa hamulec biegu jałowego, tzn. należy ustawić wąski pasek na krawędzi tarczy w wycięciu tabliczki znamionowej.

Sprawdzanie kąta fazowego licznika przeprowadza się tak samo, jak jego regulację.

4.4. Regulacja momentu hamującego i sprawdzanie błędów

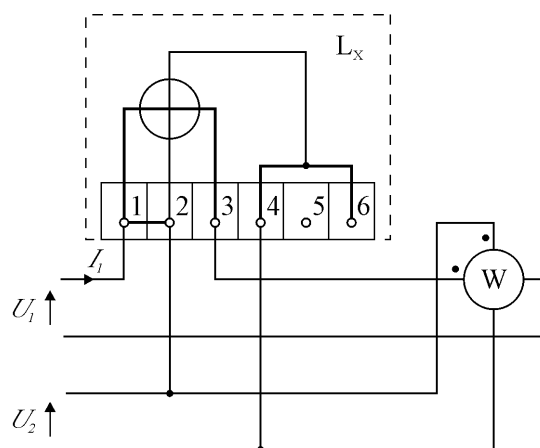
Aby licznik indukcyjny spełniał wymagania w zakresie dopuszczalnych wartości błędów należy odpowiednio przeprowadzić regulację momentu hamującego M_h dobierając odpowiednie ustawienie magnesu trwałego 13 (rys.3). Za pomocą odpowiedniego mechanizmu śrubowego magnes 13 można przesuwać bliżej lub dalej od osi obrotu 2 tarczy 3. Odpowiednio, zmniejsza to lub zwiększa moment hamujący M_h . Jeśli licznik popełnia błędy dodatnie (tarcza obraca się za szybko) należy zwiększyć moment hamujący, czyli trzeba odsunąć magnes 13 dalej od osi obrotu tarczy. I odwrotnie, jeśli licznik popełnia błędy ujemne (tarcza obraca się za wolno) należy zmniejszyć moment hamujący, czyli trzeba dosunąć magnes 13 bliżej do osi obrotu tarczy.

Aby prawidłowo wyregulować moment hamujący należy zasilić licznik napięciem odniesienia U_d i prądem bazowym I_b , przy $\cos\varphi = 1$ i tak dobrać położenie magnesu trwałego 13, aby błąd licznika był równy zero. Jak widać na rys.8, krzywa błędów licznika dla prądu o wartości 100% I_b będzie wtedy przecinać się z osią w punkcie równym zerowym błędom. Dla pozostałych wartości prądu nie powinna przekraczać wartości granicznych błędów wynikających z klasy licznika.

Analogiczną regulację dla liczników statycznych przeprowadza się za pomocą odpowiedniego układu elektronicznego obserwując impulsy pojawiające się na wyjściu testowym licznika.

Sprawdzenie poprawności regulacji momentu hamującego licznika indukcyjnego i analogicznej regulacji w liczniku statycznym polega na wyznaczeniu błędów licznika w punktach obciążenia podanych w tab.1 i tab.2. Wyznacza się w ten sposób rzeczywistą krzywą błędów licznika, podobną do przedstawionej na rys.8.

Wyznaczanie błędów licznika energii elektrycznej przeprowadza się w układzie, którego uproszczony schemat przedstawiono na rys.14.



Rys.14. Uproszczony schemat układu do sprawdzania licznika energii elektrycznej

Jako miernik kontrolny stosuje się watomierz. Obwody prądowe sprawdzanego licznika i watomierza kontrolnego połączone są szeregowo i zasilane regulowanym napięciem U_1 , a

tory napięciowe są połączone równolegle i zasilane regulowanym napięciem U_2 . Dodatkowo, nie pokazane na schemacie układy umożliwiają niezależną regulację wartości prądu i napięcia zasilającego mierniki oraz kąta przesunięcia fazowego pomiędzy nimi. Sprawdzanie błędów licznika energii elektrycznej polega na porównaniu energii zmierzonej przez licznik z energią obliczoną na podstawie wskazań watomierza i czasu trwania pomiaru.

Sposób wyznaczania błędów liczników energii elektrycznej szczegółowo opisuje Rozporządzenie Ministra Gospodarki [7]. Aby zachęcić studentów do samodzielnego zapoznania się z tymi przepisami, poniższy opis prawidłowego przeprowadzenia pomiarów uzupełniono numerami odpowiednich paragrafów rozporządzenia [7].

§ 17. 1. Błędy wskazań licznika, w zależności od rodzaju licznika, należy wyznaczyć w punktach obciążenia określonych w załączniku nr 1 do rozporządzenia (tab.1 i tab.2).

2. Jeżeli nie jest możliwe wyznaczenie błędów wskazań licznika w punktach obciążenia określonych w załączniku nr 1 do rozporządzenia, dopuszcza się przyjęcie punktów obciążenia różniących się o $\pm 5\%$ od tych punktów obciążenia.

3. W liczniku indukcyjnym z liczydłami bębnowymi pomiaru błędów wskazań licznika powinno się dokonywać przy takim stanie liczydła, aby w czasie pomiaru obracały się najwyżej dwa bębny.

4. W celu osiągnięcia równowagi termicznej przed pomiarem błędów wskazań licznika należy dokonać półgodzinnego obciążenia obwodów napięciowych licznika napięciem nominalnym.

5. Dokładność wskazań licznika należy sprawdzać w warunkach odniesienia i przy symetrii napięć określonych w załączniku nr 4 do rozporządzenia (tab.4).

§ 18. 1. Podczas sprawdzania na licznik powinna być założona osłona.

2. Jeżeli wynika to z konstrukcji licznika i nie wpłynie niekorzystnie na pomiar, dopuszcza się przeprowadzenie sprawdzenia błędu wskazań bez osłony.

3. W przypadku sprawdzania błędu wskazań licznika z wykorzystaniem przyrządów wskazówkowych pomiaru powinny być wykonywane powyżej $1/3$ długości ich podziałki. W przypadku watomierzy zasada ta obowiązuje, gdy napięcie oraz prąd są w fazie.

§ 19. 1. Błędy wskazań licznika wyznacza się metodą:

1) mocy i czasu, polegającą na obliczeniu czasu trwania N obrotów (impulsów) i porównaniu go z czasem zmierzonym przy znanej, stałej podczas pomiaru, mocy obciążenia licznika, albo

2) licznika kontrolnego, polegającą na obliczeniu liczby impulsów (obrotów tarczy) licznika kontrolnego N_{kn} odpowiadających impulsom (obrotom tarczy) licznika badanego i porównaniu jej ze zmierzoną liczbą takich impulsów (obrotów tarczy) licznika kontrolnego N_k .

§ 20. Błędy wskazań licznika indukcyjnego, wyznaczane metodą mocy i czasu, określa się przez pomiar czasu t_p , w którym tarcza przy danym obciążeniu mocą P wykonuje N obrotów, następnie wyliczenie wartości nominalnej czasu t_n , w którym tarcza licznika powinna wykonać N obrotów przy obciążeniu P , gdyby licznik wskazywał bezbłędnie, i obliczeniu błędu wskazania według wzoru:

$$\delta A = \frac{t_n - t_p}{t_p} \cdot 100\% . \quad (25)$$

§ 21. Błąd wskazania licznika statycznego, wyznaczany metodą mocy i czasu, określa się przez pomiar czasu t_p , w którym licznik przy danym obciążeniu mocą P wyemituje N impulsów, następnie wyliczenie wartości nominalnej czasu t_n , w którym licznik powinien wyemitować N impulsów przy obciążeniu P , gdyby licznik wskazywał bezbłędnie, i obliczeniu błędu wskazania według wzoru, o którym mowa w § 20.

§ 22.1. Stosując podczas sprawdzania metodę mocy i czasu, wartość nominalną czasu t_n , oznaczającą wartość liczbową czasu trwania N obrotów lub impulsów wyrażoną w sekundach, należy wyznaczyć zgodnie z wzorem:

$$t_n = \frac{3600 \cdot 10^3}{C_{zn} \cdot P} \cdot N, \quad (26)$$

gdzie:

N — liczba obrotów lub liczba impulsów,

C_{zn} — wartość liczbowa stałej licznika wyrażonej w obrotach na kilowatogodzinę lub w impulsach na kilowatogodzinę

P — wartość liczbowa mocy licznika wyrażonej w watach.

§ 23.1. Podczas sprawdzania błędu wskazań licznika metodą mocy i czasu powinno się stosować urządzenie do pomiaru czasu, sterowane przez urządzenie z głowicą fotoelektryczną lub przez elektryczne wyjście impulsowe licznika.

2. Przy sprawdzaniu błędu wskazań licznika klasy dokładności A i B dopuszcza się wykonanie pomiarów czasu urządzeniem do pomiaru czasu sterowanym ręcznie. W takim wypadku **czas pomiaru nie może być krótszy niż 50 sekund**.

§ 24.1. W przypadku licznika statycznego, sprawdzanego metodą mocy i czasu, przy wyborze liczby impulsów N powinno się uwzględniać zalecenia producenta, a w razie ich braku należy przyjąć $N \geq 10$ impulsów.

2. Podczas sprawdzania błędu wskazań licznika metoda mocy i czasu należy zapewnić stałość obciążenia licznika w czasie trwania pomiaru.

W ćwiczeniu będzie zastosowana metoda mocy i czasu. Metoda licznika kontrolnego nie będzie wykorzystywana i dlatego nie będzie tu omawiana. Można się z nią zapoznać bezpośrednio czytając rozporządzenia [7].

Dla przykładu przedstawione zostanie wyznaczenie błędów metodą mocy i czasu dla licznika, którego tabliczkę znamionową przedstawiono na rys.8.

UWAGA! W laboratorium zastosowano licznik o innych parametrach, przedstawione obliczenia należy więc traktować tylko jako przykładowe!

Sprawdzamy licznik o parametrach: $C_{zn}=375$ obr/kWh, $U_n=220$ V, $I_b=10$ A. Ustalamy liczbę obrotów N dla której czas pomiaru będzie dłuższy od 50 sekund, dla napięcia odniesienia 220V i prądu bazowego 10A:

$$N = t_n \frac{C_{zn} \cdot P}{3600 \cdot 10^3} = 50 \frac{375 \cdot 220 \cdot 10}{3600 \cdot 10^3} \approx 11,458 \approx 12 \text{ obr.} \quad (27)$$

Przyjmujemy liczbę obrotów $N=12$. Obliczamy wartość nominalną czasu t_n :

$$t_n = \frac{3600 \cdot 10^3}{C_{zn} \cdot P} \cdot N = \frac{3600 \cdot 10^3}{375 \cdot 220 \cdot 10} \cdot 12 = 52,37 \text{ s.} \quad (28)$$

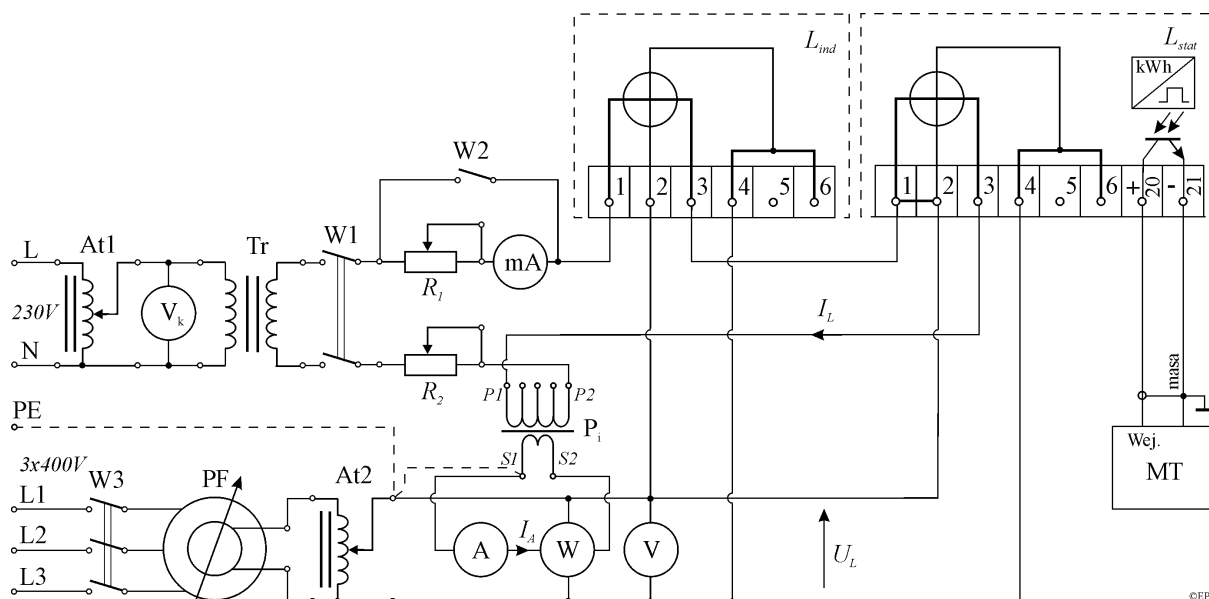
Mierzmy czas t_p trwania $N=12$ obrotów tarczy i zapisujemy do tabeli. Obliczany błąd licznika (przykładowo, jeśli otrzymaliśmy wynik pomiaru czasu $t_p=52,1$ s):

$$\delta A = \frac{52,37 - 52,1}{52,1} \cdot 100 \% \approx 0,5 \% \quad (29)$$

Otrzymaliśmy czas t_p za krótki, czyli tarcza obracała się za szybko, dlatego błąd jest dodatni (licznik zawyża wynik pomiaru energii).

5. Stanowisko pomiarowe do sprawdzania liczników energii elektrycznej

5.1. Układ połączeń



Oznaczenia zastosowane na schemacie:

L_{ind} – licznik energii elektrycznej indukcyjny

L_{stat} – licznik energii elektrycznej statyczny

A - amperomierz

mA - miliamperomierz

V - woltomierz

V_k - woltomierz kontrolny

W - watomierz

P_i - przekładnik prądowy wielozakresowy

At1 - autotransformator regulacyjny

At2 - autotransformator regulacyjny

Tr - transformator

PF - przesuwnik fazowy

MT - miernik czasu

R_1 - opornik suwakowy

R_2 - opornik suwakowy

W1 - łącznik dwubiegunowy

W2 - łącznik jednobiegunowy

W3 - łącznik trójbiegunowy

Uwagi.

- W czasie ćwiczenia **przed rozpoczęciem pomiarów** należy wpisać obok oznaczeń użytych przyrządów ich charakterystykę techniczną. Należy bezwzględnie **na każdym** stosowanym w ćwiczeniu przyrządzie odszukać jego tabliczkę znamionową (lub dołączoną dokumentację techniczną) i przepisać **wszystkie** dostępne informacje, również w postaci symboli graficznych. Ze szczególną uwagą należy zapoznać się z danymi technicznymi badanych liczników energii elektrycznej.

- Na czas wykonywania jakichkolwiek zmian w układzie pomiarowym (zmiana przekładni przekładnika prądowego, zmiana położenia łącznika W2) należy bezwzględnie **wyłączyć**

zasilanie otwierając łączniki W1 i W3 oraz ustawiać transformatory regulacyjne At1, At2 na minimum.

- Nie wolno przekraczać wartości 220V na woltomierzu kontrolnym V_k .
- **Przed zajęciami należy wykonać obliczenia** wartości niezbędnych do sprawnego wyznaczenia błędów badanych liczników na podstawie następujących danych:
 licznik indukcyjny typu A5, $I_b = 5$ A, $U_n = 220$ V, $C_{zn} = 750$ obr/kWh,
 licznik statyczny typu 12EA5g2, $I_b = 5$ A, $U_n = 230$ V, $C_{zn} = 6400$ imp/kWh.
 Pozostałe dane liczników należy zanotować do protokołu podczas zajęć.

5.2. Opis układu pomiarowego

Układ pomiarowy zasilany jest z trójfazowej sieci napięcia przemiennego 230/400V. Zapewnia on niezależne zasilanie (porównaj z rys.14) torów prądowych i napięciowych badanych liczników energii elektrycznej: L_{ind} (indukcyjnego) i L_{stat} (statycznego). Transformator AT1 oraz rezystory R_1 i R_2 umożliwiają regulację prądu płynącego przez tory prądowe liczników. Miliamperomierz i rezystor R_1 przy otwartym łączniku W2 zapewniają regulację i pomiar małych prądów podczas wyznaczania prądu rozruchu licznika. Podczas pozostałych pomiarów łącznik W2 należy zamknąć, co zabezpiecza miliamperomierz przed zniszczeniem zbyt dużym prądem. Transformator Tr obniża napięcie zasilające tor prądowy liczników oraz zapewnia płynniejszą i w szerszym zakresie regulację prądu. Dodatkowy woltomierz V_k umożliwia kontrolę napięcia na uzwojeniu pierwotnym transformatora Tr w celu jego zabezpieczenia przed przeciążeniem (maksymalnie 220V).

Transformator AT2 zapewnia regulację napięcia w torach napięciowych liczników. Przesuwnik fazowy PF umożliwia regulację kąta fazowego φ pomiędzy prądem i napięciem zasilającym liczniki. Wielozakresowy przekładnik prądowy P_1 zapewnia możliwość pomiaru prądów w szerokich granicach podczas wyznaczania krzywej błędów liczników. Miernik czasu MT służy do pomiaru czasów podczas wyznaczania błędów liczników metodą mocy i czasu. Watomierz W pełni rolę watomierza kontrolnego podczas tych pomiarów.

6. Wykonanie ćwiczenia

6.1. Uruchomienie i sprawdzenia działania stanowiska pomiarowego

Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów należy sprawdzić działanie stanowiska pomiarowego wykonując jeden kontrolny pomiar przy napięciu równym 100% napięcia odniesienia U_n , prądzie równym 100% I_b i $\cos\varphi=1$ oraz $\cos\varphi=0$.

W tym celu należy:

- zanotować w tabeli 1 napięcie odniesienia U_n i prąd bazowy I_b licznika indukcyjnego,
- ustawić wszystkie elementy regulacyjne w bezpiecznych ustawieniach. Ustawić przekładnię przekładnika prądowego $K_i=5A/5A$. Załączyć zasilanie stanowiska,
- zamknąć łącznik W3 i ustawić napięcie U_L na liczniku równe 100% U_n ,
- zamknąć łączniki W1 i W2, ustawić prąd licznika I_L równy prądowi bazowemu I_b ,
- regulując przesuwnikiem fazowym sprawdzić, czy jest możliwe uzyskanie $\cos\varphi=0$ (zerowe wskazanie watomierza) oraz $\cos\varphi=1$ (maksymalne wskazanie watomierza). Sprawdzić, czy dla $\cos\varphi=1$ tarcza licznika indukcyjnego obraca się w prawo,
- wyregulować przesuwnik fazowy na $\cos\varphi=1$,
- zmierzyć czas t_p w którym tarcza wykona $N=1$ pełny obrót, za początek i koniec obrotu tarczy należy uznać chwile, gdy w wycięciu tabliczki znamionowej, dokładnie w jej środku jest widoczny wąski pasek na krawędzi tarczy. Zanotować moc P_W wskazywaną przez watomierz i przeliczyć ją na moc P_L mierzoną przez licznik (30). Obliczyć czas nominalny t_n (26), różnicę czasów Δt (33) i błąd pomiaru energii δA (25). Sprawdzić, czy uzyskany błąd mieści się w granicach klasy licznika indukcyjnego,

- obliczyć moc czynną P (9) wynikającą z ustawionych wartości napięcia U_n , prądu I_b i $\cos\varphi=1$ oraz porównać ją ze wskazaniami watomierza P_W .

Zanotować w tabeli 1 ustawione parametry zasilania licznika, wyniki obserwacji oraz wnioski końcowy. Jeśli sprawdzenie wypadło pozytywnie, można przystąpić do realizacji kolejnych punktów.

Jeśli podczas sprawdzania układu:

- nie udało się uzyskać odpowiednich wartości napięcia lub prądu, lub
 - nie udało ustawić się wymaganych wartości kąta fazowego, lub
 - wskazania watomierza nie były zgodne ze wskazaniami woltomierza i amperomierza, lub
 - uzyskano za duży błąd pomiaru energii
- to należy ten fakt zgłosić prowadzącemu zajęcia.

Tabela 1. Wyniki wstępnego sprawdzenia stanowiska pomiarowego

| lp | Dane licznika | | | Nastawy, wartości zaplanowane | | | | | Odczyty | | Obliczenia | | | | | Wnioski | |
|----|---------------|-------|----------|-------------------------------|-------|-------|-------|---------------|---------|-------|------------|-----|------|-------|------------|---------|------------|
| | I_b | U_n | C_{zn} | I_L | K_i | I_A | U_L | $\cos\varphi$ | P_W | t_p | P_L | P | N | t_n | Δt | | δA |
| | A | V | imp/kWh | A | A/A | A | V | - | W | s | W | W | obr. | s | s | | % |
| 1 | | | | | | | | 0 | | | | | 1 | | | | |
| 2 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |

6.2. Sprawdzanie tendencji do ruchu licznika indukcyjnego

Sprawdzić występowanie tendencji do ruchu dla licznika indukcyjnego przy napięciu równym 80% napięcia odniesienia U_n i rozwartym torze prądowym (p.4.1.).

W tym celu należy:

- ustawić wszystkie elementy regulacyjne w bezpiecznych ustawieniach. Ustawić przekładnię przekładnika prądowego $K_i=5A/5A$. Załączyć zasilanie stanowiska,
- zamknąć łącznik W3 i ustawić napięcie U_L na liczniku równe 80% U_n ,
- zamknąć łączniki W1 i W2, ustawić prąd licznika I_L równy prądowi bazowemu I_b oraz wyregulować przesuwnik fazowy na $\cos\varphi=1$,
- obserwując ruch obrotowy tarczy **otworzyć łącznik W1** ($I_L=0$) w chwili, gdy obraca się tylko jeden, ostatni bębenek liczydła i w wycięciu tabliczki znamionowej licznika będzie widoczny **wąski** pasek na krawędzi tarczy,
- sprawdzić, czy tarcza powoli, ale płynnie obraca się, aż do zadziałania hamulca biegu jałowego, tzn. zatrzymuje się gdy w wycięciu tabliczki znamionowej pokaże się **szero**ki pasek na krawędzi tarczy.

Zanotować w tabeli 1 ustawione parametry zasilania licznika, wyniki obserwacji oraz wnioski końcowy.

Tabela 2. Sprawdzanie tendencji do ruchu licznika indukcyjnego

| lp | Dane licznika | | | Stan łącznika W1 | Nastawy, wartości zaplanowane | | | | | | Opis zachowania się tarczy |
|----|---------------|-------|----------|------------------|-------------------------------|-------|-------|-----------|-------|---------------|----------------------------|
| | I_b | U_n | C_{zn} | | I_L | K_i | I_A | U_L/U_n | U_L | $\cos\varphi$ | |
| | A | V | imp/kWh | | A | A/A | A | % | V | - | |
| 1 | | | | ZAŁ | | | | | | | |
| 2a | | | | WYŁ | | | | | | | |
| 2b | | | | | | | | | | | |

6.3. Sprawdzanie biegu jałowego licznika indukcyjnego

Sprawdzić występowanie biegu jałowego dla licznika indukcyjnego przy napięciach równych 80% i 110% napięcia odniesienia U_n i rozwartym torze prądowym (p.4.2.).

W tym celu należy:

- ustawić wszystkie elementy regulacyjne w bezpiecznych ustawieniach. Ustawić przekładnię przekładnika prądowego $K_i=5A/5A$. Załączyć zasilanie stanowiska,
- zamknąć łącznik W3 i ustawić napięcie U_L na liczniku równe 80% U_n ,

- zamknąć łączniki W1 i W2, ustawić prąd licznika I_L równy prądowi bazowemu I_b oraz wyregulować przesuwnik fazowy na $\cos\varphi=1$,
- obserwując ruch obrotowy tarczy **otworzyć łącznik W1** ($I_L=0$) w chwili, gdy obraca się tylko jeden, ostatni bębenek liczydła, a do wycięcia w tabliczce znamionowej licznika zbliża się **szeroki** pasek na krawędzi tarczy (będzie on widoczny z lewej strony wycięcia),
- sprawdzić, czy poprawnie zadziała hamulec biegu jałowego, tzn. czy tarcza zatrzyma się gdy w wycięciu tabliczki znamionowej pokaże się w całości **szeroki** pasek,
- powtórzyć obserwacje dla napięcia U_L na liczniku równego 110% U_n .

Zanotować w tabeli 3 ustawione parametry zasilania licznika, wyniki obserwacji oraz wnioszek końcowy.

Tabela 3. Sprawdzanie biegu jałowego licznika indukcyjnego

| lp | Dane licznika | | | Stan łącznika W1 | Nastawy, wartości zaplanowane | | | | | | Opis zachowania się tarczy |
|----|---------------|-------|----------|------------------|-------------------------------|-------|-------|-----------|-------|---------------|----------------------------|
| | I_b | U_n | C_{zn} | | I_L | K_i | I_A | U_L/U_n | U_L | $\cos\varphi$ | |
| | A | V | imp/kWh | | A | A/A | A | % | V | - | |
| 1 | | | | ZAŁ | | | | | | | |
| 2a | | | | WYŁ | | | | | | | |
| 2b | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | ZAŁ | | | | | | | |
| 4a | | | | WYŁ | | | | | | | |
| 4b | | | | | | | | | | | |

6.4. Wyznaczanie prądu rozruchu licznika indukcyjnego

Wyznaczyć prąd rozruchu dla licznika indukcyjnego przy napięciu równym 100% napięcia odniesienia U_n i $\cos\varphi=1$ (p.4.2.).

W tym celu należy:

- zanotować w tabeli 4 prąd bazowy I_b licznika indukcyjnego oraz wynikającą z niego dopuszczalną wartość prądu rozruchu I_{st} . Obliczyć i wpisać do tabeli 4 kolejne wartości równe 10% I_{st} , 20% I_{st} , 30% I_{st} itd. ,
- ustawić wszystkie elementy regulacyjne w bezpiecznych ustawieniach. Ustawić przekładnię przekładnika prądowego $K_i=5A/5A$. Załączyć zasilanie stanowiska,
- zamknąć łącznik W3 i ustawić napięcie U_L na liczniku równe 100% U_n ,
- zamknąć łączniki W1 i W2, ustawić prąd licznika I_L równy prądowi bazowemu I_b oraz wyregulować przesuwnik fazowy na $\cos\varphi=1$,
- obserwując ruch obrotowy tarczy **otworzyć łącznik W1** ($I_L=0$) w chwili, gdy obraca się tylko jeden, ostatni bębenek liczydła, a w wycięciu tabliczki znamionowej pokaże się **szeroki** pasek na krawędzi tarczy,
- **odczekać** do czasu, aż skutecznie zadziała hamulec biegu jałowego, tzn. gdy tarcza zatrzyma się, a w wycięciu tabliczki znamionowej pokaże się w całości **szeroki** pasek,
- ustawić transformatorem At1 minimalne napięcie zasilające w torze prądowym licznika, sprawdzić ustawienie rezystora R_I (na maksymalną rezystancję) i **otworzyć łącznik W2**,
- sprawdzić wartość napięcia U_L na liczniku (równe 100% U_n),
- zamknąć łączniki W1 i korzystając ze wskazań miliamperomierza, powoli zwiększać prąd licznika I_L od zera kolejno co 10% wartości dopuszczalnej prądu rozruchu I_{st} . Dla każdej nowo ustawionej wartości prądu sprawdzić, czy tarcza rozpoczęła trwały ruch obrotowy, tzn. czy wykonała jeden pełny obrót,
- pomiary należy kontynuować, aż do wyznaczenia wartości prądu I_L , przy której tarcza rozpoczęła trwały ruch obrotowy i wykonała jeden pełny obrót.
- obliczyć moc P_{st} (34) przy której licznik rozpoczął pomiar energii,

Zanotować w Tabeli 4 ustawione parametry zasilania licznika, wyniki obserwacji oraz wnioszek końcowy.

Tabela 4. Wyznaczanie prądu rozruchu licznika indukcyjnego

| lp | Dane licznika | | | Wymagania | | Nastawy | | | | Obserwacje i wnioski | |
|----|---------------|-------|-------|--------------|----------|----------------|-------|--------------|-------|-----------------------|----------|
| | U_n | I_b | klasa | I_{st}/I_b | I_{st} | $\cos \varphi$ | U_L | I_L/I_{st} | I_L | Zachowanie się tarczy | P_{st} |
| | V | A | % | % | mA | - | V | % | mA | | W |
| 1 | | | | | | | | 10 | | | |
| 2 | | | | | | | | 20 | | | |
| 3 | | | | | | | | 30 | | | |

dobrać odpowiednią liczbę wierszy

| | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

6.5. Sprawdzanie regulacji kąta fazowego licznika indukcyjnego

Sprawdzić regulację kąta fazowego licznika indukcyjnego przy napięciu równym 100% napięcia odniesienia U_n , prądzie równym 100% I_b i $\cos \varphi = 0$ (p.4.3.).

W tym celu należy:

- ustawić wszystkie elementy regulacyjne w bezpiecznych ustawieniach. Ustawić przekładnię przekładnika prądowego $K_i = 5A/5A$. Załączyć zasilanie stanowiska,
- zamknąć łącznik W3 i ustawić napięcie U_L na liczniku równe 100% U_n ,
- zamknąć łączniki W1 i W2, ustawić prąd licznika I_L równy prądowi bazowemu I_b oraz **wstępnie** wyregulować przesuwnik fazowy na $\cos \varphi = 1$ (kątem $\varphi = 0^\circ$),
- obserwując ruch obrotowy tarczy tak regulować przesuwnikiem fazowym, aby uzyskać **ostatecznie** $\cos \varphi = 0$ (kątem $\varphi = 90^\circ$) w chwili, gdy obraca się tylko jeden, ostatni bębnek liczydła i w wycięciu tabliczki znamionowej licznika będzie widoczny **wąski** pasek na krawędzi tarczy,
- sprawdzić, czy dla ustawionych powyżej wartości: $U_L = U_n$, $I_L = I_b$, $\cos \varphi = 0$ tarcza wykazuje tendencję do ruchu, czyli czy obraca się powoli **w prawo** aż do zadziałania hamulca biegu jałowego (w wycięciu tabliczki znamionowej pokaże się **szereki** pasek na krawędzi tarczy).

Zanotować w tabeli 5 ustawione parametry zasilania licznika, wyniki obserwacji oraz wnioski końcowe.

Tabela 5. Sprawdzanie regulacji kąta fazowego licznika indukcyjnego

| lp | Dane licznika | | | Nastawy, wartości zaplanowane | | | | | | Opis zachowania się tarczy |
|----|---------------|-------|----------|-------------------------------|-------|-------|-----------|-------|----------------|----------------------------|
| | I_b | U_n | C_{zn} | I_L | K_i | I_A | U_L/U_n | U_L | $\cos \varphi$ | |
| | A | V | imp/kWh | A | A/A | A | % | V | - | |
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2a | | | | | | | | | | |
| 2b | | | | | | | | | | |

6.6. Wyznaczanie krzywej błędów licznika indukcyjnego metodą mocy i czasu

Wyznaczyć krzywą błędów metodą mocy i czasu dla licznika indukcyjnego przy napięciu równym 100% napięcia odniesienia U_n , $\cos \varphi = 1$ i prądach: 2%, 5%, 10%, 20%, 40%, 60%, 100%, 150%, 200%, 300% wartości prądu bazowego I_b (p.4.4.).

Przed wykonaniem pomiarów należy:

- zanotować w tabeli 6 prąd bazowy I_b , napięcie odniesienia U_n i stałą znamionową C_{zn} licznika indukcyjnego oraz wynikające z niego kolejne wartości prądu licznika I_L , przy których mają być wykonane pomiary,
- dla każdej zaplanowanej wartości prądu I_L obliczyć (wg. przykładu w p. 4.4) i zanotować w tabeli 6 moc P_L (30) oraz liczbę obrotów tarczy N , dla której czas pomiaru zgodnie z przepisami nie będzie krótszy od 50s (27),
- zaplanować i zanotować w tabeli 6 wartości przekładni prądowej K_i , przy których będą wykonywane pomiary tak, aby optymalnie wykorzystać zakres prądowy amperomierza i watomierza ($I_{zn} = 5A$). Na podstawie przyjętych wartości prądu I_L , napięcia U_L , mocy P_L

i przekładni K_i obliczyć i zanotować wartości prądu I_A (32), które wstępnie będą ustawiane na amperomierzu oraz wartości mocy P_W (31), które będzie trzeba ostatecznie ustawiać na watomierzu. Wielozakresowy przekładnik prądowy stosowany w ćwiczeniu posiada następujące wartości przekładni prądowej $K_i = (1-2-5-10-20-50-100)A/5A$.

W celu wykonania pomiarów należy:

- ustawić wszystkie elementy regulacyjne w bezpiecznych ustawieniach. Ustawić początkowo przekładnię przekładnika prądowego $K_i=5A/5A$. Załączyć zasilanie stanowiska,
- zamknąć łącznik W3 i ustawić napięcie U_L na liczniku równe $100\% U_n$,
- zamknąć łączniki W1 i W2, ustawić prąd licznika I_L równy prądowi bazowemu I_b oraz wyregulować przesuwnik fazowy na $\cos\varphi=1$ (maksimum wskazań na watomierzu),
- otworzyć łącznik W1, ustawić transformator At1 na minimum i przełączyć przekładnik prądowy na przekładnię K_i zaplanowaną dla pierwszego punktu pomiarowego. Zamknąć łącznik W1 i wstępnie ustawić zaplanowaną wartość prądu I_L licznika według wskazań amperomierza I_A . Sprawdzić i ewentualnie poprawić ustawienie kąta fazowego ($\cos\varphi=1$), a następnie skorygować regulację prądu tak, aby precyzyjnie ustawić na watomierzu zaplanowaną wartość mocy P_W .
- zmierzyć czas t_p zaplanowanej całkowitej liczby obrotów N , za początek i koniec każdego obrotu tarczy należy uznać chwile, gdy w wycięciu tabliczki znamionowej, dokładnie w jej środku jest widoczny wąski pasek na krawędzi tarczy. Zanotować prąd I'_A przy którym ostatecznie sprawdzono licznik. Obliczyć czas nominalny t_n (26), różnicę czasów Δt (33) i błąd pomiaru energii δA (25).
- otworzyć łącznik W1 i kolejno powtórzyć pomiary dla wszystkich zaplanowanych wartości prądów I_L licznika.

Wyniki pomiarów i obliczeń zanotować w tabeli 6. Wykreślić krzywą błędów.

Uwagi do sposobu wyznaczania krzywej błędów licznika indukcyjnego.

- Podczas realizowania ćwiczenia wykonywać tylko te obliczenia, które są niezbędne do zrobienia pomiarów, pozostałe obliczenia należy wykonać przygotowując sprawozdanie. Zaleca się wykonanie odpowiednich obliczeń i częściowe wypełnienie tabelki przed zajęciami, na podstawie podanych w p.5.1. parametrów sprawdzanych liczników.
- Podczas regulacji prądu dążyć do tego, aby autotransformator At1 pracował przy możliwie dużych wartościach napięcia (ale nie większych od 220V ze względu na transformator Tr), gdyż wtedy regulacja prądu jest najbardziej płynna. Dlatego też rezystory w torze prądowym licznika powinny być ustawiane na możliwie duże wartości.
- Podczas liczenia obrotów tarczy, moc wskazywana przez watomierz powinna być stała i równa zaplanowanej przed pomiarami wartości P_W . Ponieważ napięcie zasilające układ pomiarowy może ulegać wahaniom, należy uważnie śledzić wskazania watomierza i na bieżąco korygować ewentualne zmiany jego wskazań.
- Przed rozpoczęciem każdego nowego pomiaru należy otworzyć łącznik W1, ustawić transformator At1 na minimum i przełączyć przekładnik prądowy na przekładnię K_i zaplanowaną dla kolejnego punktu pomiarowego.

Tabela 6. Wyznaczanie krzywej błędów licznika indukcyjnego

| Ip | Dane licznika | | | Nastawy, wartości zaplanowane | | | | | | | | | Odczyty | | Obliczenia | | | |
|----|---------------|-------|----------|-------------------------------|-------|-------|---------------|-------|------|-------|-------|-------|---------|-------|------------|------------|------------|--|
| | I_b | U_n | C_{zn} | I_L/I_b | I_L | U_L | $\cos\varphi$ | P_L | N | K_i | I_A | P_W | I'_A | t_p | t_n | Δt | δA | |
| | A | V | obr/kWh | % | A | V | - | W | obr. | A/A | A | W | A | s | s | s | % | |
| 1 | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | 10 | | | | | | | | | | | | | | |

dobrać odpowiednią liczbę wierszy

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

6.7. Wyznaczanie krzywej błędów licznika statycznego metodą mocy i czasu

Wyznaczyć krzywą błędów metodą mocy i czasu dla licznika statycznego dla tych samych wartości prądów I_L , które zostały przyjęte dla licznika indukcyjnego. Pomiar dla licznika statycznego należy przeprowadzić jednocześnie ze sprawdzaniem licznika indukcyjnego, zapisując odpowiednio wyniki do tabeli 7.

Przed wykonaniem pomiarów należy:

- zanotować w tabeli 7 prąd bazowy I_b , napięcie odniesienia U_n i stałą znamionową C_{zn} licznika statycznego i przepisać z tabeli 6 do tabeli 7 kolejne zaplanowane wartości prądu licznika I_L , napięcia U_L , przekładni prądowej K_i oraz obliczone wartości mocy P_L , prądu I_A i mocy P_W ,
- obliczyć i zanotować w tabeli 7 dla licznika statycznego stosunek prądów I_L/I_b ,
- dla każdej zaplanowanej wartości prądu I_L i mocy P_L obliczyć (wg. przykładu w p. 4.4) i zanotować w tabeli 7 liczbę impulsów N na wyjściu testowym licznika statycznego, dla której czas pomiaru zgodnie z przepisami nie będzie krótszy od 50s (27),

W celu wykonania pomiarów należy:

- dla każdej wartości prądu I_A i mocy P_W ustawionej podczas sprawdzania licznika indukcyjnego, zmierzyć czas t_p zaplanowanej całkowitej liczby impulsów N na wyjściu testowym licznika statycznego,
- zanotować prąd I'_A przy którym ostatecznie sprawdzono licznik i wykonać analogiczne obliczenia jak dla licznika indukcyjnego.

Wyniki pomiarów i obliczeń zanotować w tabeli 7. Wykreślić krzywą błędów.

Uwagi do sposobu wyznaczania krzywej błędów licznika statycznego.

- Pomiar czasu t_p można wykonać obserwując miganie lampki kontrolnej umieszczonej na obudowie licznika statycznego. Dla większych wartości prądów, gdy częstotliwość impulsów jest duża, pomiar wygodniej jest realizować miernikiem czasu dołączonym do wyjścia testowego licznika: zaciski 20(+) oraz 21(masa).
- Pozostałe uwagi jak w punkcie 6.6.

Tabela 7. Wyznaczanie krzywej błędów licznika statycznego

| lp | Dane licznika | | | Nastawy, wartości zaplanowane | | | | | | | | | Odczyty | | Obliczenia | | | |
|----|---------------|-------|----------|-------------------------------|-----------|-------|----------------|-------|------|-------|-------|-------|---------|-------|------------|------------|------------|--|
| | I_b | U_n | C_{zn} | I_L | I_L/I_b | U_L | $\cos \varphi$ | P_L | N | K_i | I_A | P_W | I'_A | t_p | t_n | Δt | δA | |
| | A | V | imp/kWh | A | % | V | - | W | imp. | A/A | A | W | A | s | s | s | % | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

dobrać odpowiednią liczbę wierszy

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

6.8. Sprawdzanie licznika w miejscu zamieszkania (dodatkové zadanie dla chętnych)

Wyznaczyć krzywą błędów dla licznika zainstalowanego w miejscu zamieszkania. Ponieważ licznik w miejscu zamieszkania ma zaplombowaną listwę zaciskową, nie można dokonywać żadnych zmian w jego układzie połączeń. Przed pomiarami należy zgromadzić kilka odbiorników energii elektrycznej o znanych mocach znamionowych. Należy wybrać odbiorniki o $\cos \varphi = 1$, np.: żarówki różnych mocy (tylko żarówki tradycyjne z włóknem wolframowym, nie można do tego celu wykorzystać tzw. żarówek energooszczędnych), grzejniki elektryczne, czajniki elektryczne, termowentylatory, suszarki do włosów itp. Należy unikać odbiorników z silnikami elektrycznymi większej mocy (np.: mikser, wiertarka itp.), transformatorami (sprzęt RTV, komputery, ładowarki telefonów), układami regulacji mocy, świetlówek tradycyjnych i kompaktowych. W miarę możliwości jeden z odbiorników powinien mieć moc przy której pobierany jest prąd zbliżony do wartości prądu rozruchu

licznika. Podać w sprawozdaniu rodzaj i parametry sprawdzanego licznika oraz wykaz zastosowanych odbiorników i ich parametry.

Przed wykonaniem pomiarów należy:

- zanotować w tabeli 8 krótkie opisy i moce znamionowe P_{zn} przygotowanych do pomiarów odbiorników oraz parametry sprawdzanego licznika energii elektrycznej (podać odpowiednią jednostkę C_{zn} i N),
- obliczyć prądy znamionowe I_{zn} odbiorników i ich stosunek do prądu bazowego licznika I_b , napięcie U_L przyjąć równe napięciu znamionowemu sieci,
- dla każdego odbiornika obliczyć na podstawie jego mocy znamionowej P_{zn} (wg. przykładu w p. 4.4) liczbę obrotów tarczy N (lub impulsów dla licznika statycznego), dla której czas pomiaru zgodnie z przepisami nie będzie krótszy od 50s, zanotować w tabeli 8,

W celu wykonania pomiarów należy:

- Wyłączyć wszystkie odbiorniki w lokalu i sprawdzić, czy licznik wykazuje tendencję do ruchu i bieg jałowy, według punktów 6.2 i 6.3. Podać wyniki obserwacji w sprawozdaniu,
- włączyć odpowiednio dobrany odbiornik małej mocy i sprawdzić, czy licznik spełnia wymagania na prąd rozruchu, według punktu 6.4. Podać wyniki obserwacji w sprawozdaniu,
- zmierzyć czas t_p zaplanowanej całkowitej liczby obrotów (lub impulsów) N dla przygotowanych odbiorników, odpowiednio według punktu 6.6 lub 6.7.

Wyniki pomiarów i obliczeń zanotować w tabeli 8. Wykreślić krzywą błędów.

Uwagi do sposobu wyznaczania krzywej błędów licznika w miejscu zamieszkania.

- Należy pamiętać, że wyznaczona w powyższy sposób krzywa błędów będzie tylko pewnym przybliżeniem stanu faktycznego, gdyż wartościami odniesienia przy wyznaczaniu błędów licznika są moce znamionowe zastosowanych odbiorników, a te są znane niezbyt dokładnie. Nie mniej jednak, można w ten sposób dokonać wstępnej oceny sprawności licznika, jeśli jego wskazania budzą wątpliwości mieszkańców.
- Podczas wykonywania pomiarów dopuszczalne jest wyłącznie odczytywanie wskazań licznika i obserwowanie zachowania się jego tarczy (lub lampki kontrolnej wyjścia testowego). Niedozwolone jest uszkodzenie plomb lub jakakolwiek inna ingerencja w układ pomiarowy licznika.
- Zgodnie z obowiązującymi przepisami, odbiorca ma obowiązek dbać o należyty stan licznika, a w razie podejrzenia nielegalnego poboru energii zawiadomić zakład energetyczny. Odbiorca energii powinien również zgłosić fakt niezaplombowania, czy też zerwania plomb licznika.
- Należy pamiętać, że liczniki energii elektrycznej są czułe na zewnętrzne pole magnetyczne. W szczególności nawet krótkotrwałe zbliżenie magnesu neodymowego do obudowy licznika powoduje jego nieodwracalne uszkodzenie.

Tabela 8. Wyznaczanie krzywej błędów licznika w miejscu zamieszkania

| lp | Dane licznika | | | Nastawy, wartości zaplanowane | | | | | Odczyty | Obliczenia | | | |
|-----------------------------------|---------------|-------|----------|-------------------------------|-------------|-------------|----------|-------|---------|------------|-------|------------|------------|
| | I_b | U_n | C_{zn} | Opis odbiornika | $PL=P_{zn}$ | $IL=I_{zn}$ | IL/I_b | U_L | N | t_p | t_n | Δt | δA |
| | A | V | | | W | A | % | V | | s | s | s | % |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | |
| dobrać odpowiednią liczbę wierszy | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

6.9. Opracowanie wyników pomiarów i przygotowanie sprawozdania

W sprawozdaniu należy zamieścić opis stanowiska pomiarowego ze schematem układu i wykazem przyrządów oraz w punktach kolejno zrealizowane zadania pomiarowe podając: temat zadania pomiarowego, tabelkę z wynikami pomiarów i obliczeń, niezbędne wzory obliczeniowe, przykładowe obliczenia, wykresy przewidziane programem ćwiczenia, wnioski z pomiarów i obserwacji.

We wnioskach końcowych należy przedstawić własne uwagi na temat zrealizowanych pomiarów, napotkane trudności, ocenę uzyskanych wyników, a w szczególności ustosunkować się do następujących zagadnień:

- jakie oznaczenia znajdują się na badanych licznikach ?
- czy liczniki posiadają naniesione oznaczenia zgodnie z przepisami ?
- czy liczniki spełniają wymagania w zakresie: tendencji do ruchu, biegu jałowego, prądu rozruchu, kąta fazowego i błędów pomiaru energii ?
- czy wyznaczone wartości błędów odpowiadają klasie oznaczonej na licznikach ?
- jak duże było obciążenie liczników w stosunku do prądu maksymalnego ?
- czy otrzymano krzywe błędów liczników zgodne z oczekiwaniami ?
- czy zbadano licznik energii elektrycznej w miejscu zamieszkania ?

Dodatkowe wzory przydatne do wykonania ćwiczenia:

$$P_L = U_L I_L \cos \varphi, \quad (30)$$

$$P_W = \frac{P_L}{K_i}, \quad (31)$$

$$I_A = \frac{I_L}{K_i}, \quad (32)$$

$$\Delta t = t_n - t_p, \quad (33)$$

$$P_{st} = U_L I_{st} \cos \varphi. \quad (34)$$

7. Pytania kontrolne

1. Wyjaśnić zasadę pomiaru energii czynnej.
2. Jak zbudowany jest indukcyjny licznik energii elektrycznej ?
3. Jaka jest zasada działania indukcyjnego licznika energii czynnej ?
4. Jak powstaje moment hamujący w liczniku indukcyjnym ?
5. Co to jest hamulec biegu jałowego ?
6. W jaki sposób kompensuje się w liczniku indukcyjnym tarcie ?
7. Omów wykres wskazowy licznika indukcyjnego.
8. Omów krzywą błędów licznika indukcyjnego.
9. Omów zasadę działania i ogólną budowę licznika statycznego.
10. Na czym polega sprawdzanie licznika metodą mocy i czasu ?
11. Wyjaśnij zasadę dołączania licznika do instalacji elektrycznej odbiorcy energii.
12. Narysuj i omów uproszczony układ do sprawdzania licznika energii elektrycznej.
13. Co to jest tendencja do ruchu i jak się ją sprawdza ?
14. Co to jest bieg jałowy licznika i jak się go sprawdza ?
15. Co to jest prąd rozruchu licznika i jak się go wyznacza ?
16. Jakie wymagania powinien spełniać licznik energii elektrycznej ?
17. Jak można sprawdzić licznik w miejscu zamieszkania ?

18. W jakim celu stosuje się przesuwnik fazowy w układzie do sprawdzania licznika ?
19. Jaka jest zasada sprawdzania licznika statycznego ?
20. Co to jest stała znamionowa licznika indukcyjnego i statycznego?

8. Literatura

1. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. Prawo o miarach, tekst jednolity Dz.U. 2004 nr 243 poz. 2441.
2. Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. O systemie zgodności, tekst jednolity Dz.U. 2010 nr 138, poz. 395.
3. Dyrektywa 2004/22/WE parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 31 marca 2004r. w sprawie przyrządów pomiarowych, Załącznik MI-003 Liczniki energii elektrycznej.
4. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla przyrządów pomiarowych, Dz.U. 2007 nr 3, poz. 27 (tzw. dyrektywa MID).
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 grudnia 2007 r. w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli, Dz.U. 2008 nr 3, poz. 13.
6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 7 stycznia 2008 r. w sprawie prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych, Dz.U. 2008 nr 5, poz. 29.
7. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 7 stycznia 2008r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać liczniki energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego oraz szczegółowego zakresu sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych, Dz. U. Nr 11, poz.63.
8. Instrukcja sprawdzania użytkowych liczników energii elektrycznej prądu przemiennego, Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa nr5/2000.
9. PN-EN 62052-11: 2006 Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego)-Wymagania ogólne, badania i warunki badań. Część 11: Urządzenia do pomiarów.
10. PN-EN 62053-11: 2006 Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego)-Wymagania szczegółowe. Część 11: Liczniki elektromechaniczne energii czynnej (klas 0,5, 1, 2).
11. PN-EN 50470-1: 2008 Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego) Część 1: Wymagania ogólne, badania i warunki badań-Urządzenia do pomiarów (klas A, B, C).
12. Chwaleba A. i inni, Metrologia elektryczna, WNT, Warszawa 2009.
13. Billewicz K.: Kradzież energii za pomocą magnesu neodymowego i jej wykrywanie, Przegląd Elektrotechniczny, nr 6/2006.
14. Billewicz K.: Nielegalny pobór energii elektrycznej, Wiadomości Elektrotechniczne, nr 5/2007.
15. Kasperczyk B.: Ustalanie przyczyn pewnych uszkodzeń indukcyjnych liczników energii elektrycznej, Wiadomości Elektrotechniczne, nr 1/2010.
16. Pawłowski E.: Wpływ pola silnego magnesu neodymowego na pracę indukcyjnego licznika energii elektrycznej, Pomiary, Automatyka, Kontrola, nr 11/2010

Uwaga!

- Aktualność obowiązujących w Polsce aktów prawnych należy przed stosowaniem sprawdzić w Internetowym Systemie Aktów Prawnych Sejmu RP: <http://isip.sejm.gov.pl/>
- Aktualność Polskich Norm należy przed stosowaniem sprawdzić na stronach Polskiego Komitetu Normalizacyjnego: <http://www.pkn.pl/>