

Przemysław OTOMAŃSKI, Andrzej ODON

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI I ELEKTRONIKI PRZEMYSŁOWEJ

Wpływ czynników zakłócających na dokładność pomiaru energii elektrycznej

Dr inż. Przemysław OTOMAŃSKI

Pracownik Zakładu Metrologii i Optoelektroniki Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej. Główne obszary zainteresowań dotyczą zagadnień związanych z teorią pomiarów, w szczególności z oceną niepewności wyniku pomiaru, badaniem właściwości metrologicznych czujników i przetworników pomiarowych oraz badań w zakresie oceny jakości energii elektrycznej. Jest autorem lub współautorem ok. 100 publikacji.



e-mail: otoman@et.put.poznan.pl

Dr inż. Andrzej ODON

Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej w 1974 roku. W roku 1983 uzyskał tytuł doktora n. t. Jest autorem ponad 60 prac naukowych. Główne zainteresowania naukowe dotyczą analogowych torów pomiarowych, przetworników i czujników pomiarowych a także zastosowania, zwłaszcza dla celów dydaktycznych, metod symulacji komputerowej podzespołów toru pomiarowego.



e-mail: odon@et.put.poznan.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki przykładowych badań, dotyczących wpływu wybranych czynników zakłócających na dokładność wskazań jednofazowych liczników energii elektrycznej. Badania przeprowadzono na zaprojektowanym i wykonanym stanowisku pomiarowym. Prezentowane stanowisko umożliwia zadawanie wybranych czynników zakłócających pracą licznika. Określono wpływ zmian napięcia, temperatury, oraz silnego pola magnetycznego na dokładność pomiaru wybranych liczników.

Słowa kluczowe: licznik energii elektrycznej, czynniki zakłócające, dokładność pomiaru.

Influence of disturbance factors on electric energy measurement accuracy

Abstract

The exemplary investigation results concerning the influence of selected disturbance factors on the accuracy of indications of single-phase Watt-hour meters are presented in the paper. The investigations were realized on a specially designed measuring stand. This stand makes it possible to actuate the selected disturbance factors. The influence of the voltage drop, temperature and strong magnetic field on the measurement accuracy of selected Watt-hour meters was described.

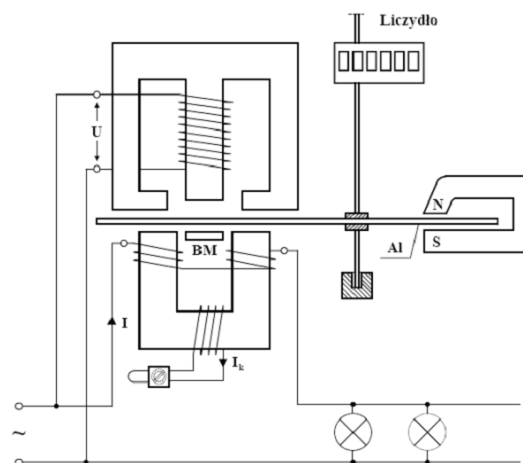
Keywords: Watt-hour meter, disturbance factors, measurement accuracy.

1. Wstęp

Ocena parametrów metrologicznych urządzeń służących do rozliczeń pomiędzy dostawcą i odbiorcą energii elektrycznej jest złożonym problemem pomiarowym. Urządzenia do pomiaru energii – liczniki energii elektrycznej stanowią współcześnie rozbudowaną grupę przyrządów pomiarowych, które muszą spełnić odpowiednie wymagania, odnośnie dokładności wskazań, zamieszczone w dokumencie [1]. Współcześnie dostępnych jest na rynku cała gama liczników energii elektrycznej. W niniejszej pracy zaprezentowano przykładowe wyniki badań wpływu wybranych czynników zakłócających na dokładność pomiaru dwóch typów liczników energii elektrycznej: A52 oraz E72L-01 przeprowadzone na zaprojektowanym i wykonanym stanowisku pomiarowym.

2. Liczniki energii elektrycznej

Badane typy liczników energii elektrycznej są indukcyjnymi licznikami jednofazowymi, znanymi od wielu lat, których konstrukcja oraz zasada działania są powszechnie znane. Z tego względu autorzy w niniejszej publikacji nie będą szerzej omawiali tych zagadnień. Na rys. 1 przedstawiono schemat uproszczonej konstrukcji takiego licznika.



Rys. 1. Schemat uproszczonej konstrukcji jednofazowego licznika indukcyjnego
Fig. 1. Simplified construction of a single-phase induction meter

Dokładność pomiaru energii elektrycznej za pomocą licznika indukcyjnego określa się na podstawie jego błędu względnego. Błąd wskazań licznika wynika z różnicy pomiędzy znamionową stałą licznika C_n i poprawną stałą licznika C_p . Stałą znamionową C_n podaje producent licznika, natomiast stałą poprawną C_p wyznacza się doświadczalnie. Różnica między obydwiema stałymi powoduje, że energia wskazana A_w przez licznik różni się od energii poprawnej A_p . W praktyce względny błąd pomiaru energii licznikiem wyznacza się z zależności (1)

$$\delta = \frac{t_n - t_r}{t_r} \quad (1)$$

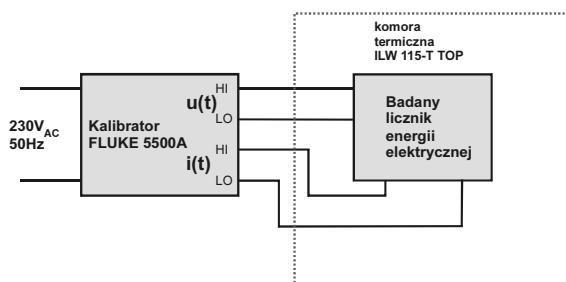
gdzie t_r oznacza czas rzeczywisty, w którym tarcza licznika wykonała N pełnych obrotów przy stałej mocy P , natomiast czas znamionowy t_n jest wyznaczany na podstawie stałej znamionowej licznika zgodnie z zależnością (2)

$$t_n = \frac{3,6 \cdot 10^6 \cdot N}{P \cdot c_n} \quad (2)$$

3. Stanowisko pomiarowe do badań liczników energii elektrycznej

Badania przeprowadzono na zaprojektowanym i skonstruowanym stanowisku pomiarowym przedstawionym na rys. 2, składającym się ze źródła napięcia $u(t)$ i prądu $i(t)$, oraz komory termicznej. W omawianym układzie zastosowano kalibrator

5500A firmy Fluke [2], oraz inkubator laboratoryjny ILW 115-T TOP [3]. W trakcie badań dokładności pomiaru energii elektrycznej licznikami indukcyjnymi skoncentrowano się na trzech czynnikach zakłócających: wahaniami napięcia zasilającego, zmianach temperatury pracy licznika, oraz wpływie silnego zewnętrznego pola magnetycznego.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego do badań liczników energii elektrycznej
Fig. 2. Measuring stand for examining Watt-hour meters

Wartość energii czynnej w obwodzie prądu przemiennego określa zależność (3)

$$A = \int_{t_1}^{t_2} P dt \quad (3)$$

gdzie: $P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt$ - wartość mocy czynnej wydzielanej

w układzie, T jest okresem podstawowej harmonicznej napięcia i prądu, natomiast t_1 i t_2 oznaczają przedział czasu, w którym dokonuje się pomiaru energii. Opracowany układ pomiarowy gwarantuje odpowiednie parametry metrologiczne. Pod pojęciem tym należy rozumieć, że wartość najlepszej możliwości pomiarowej, definiowanej zgodnie z dokumentem [4], jest odpowiednia podczas badania licznika o określonej klasie dokładności. Ponieważ na stanowisku pomiarowym są przeprowadzane badania liczników energii elektrycznej, to z zależności (2) i (3) wynika, że dokonując oceny właściwości metrologicznych należy ocenić niepewność pomiaru wartości napięcia, prądu, czasu jak również liczby zliczonych obrotów.

W układzie pomiarowym z rys. 2 do generacji napięć i prądów służy kalibrator 5500A, dlatego też wyznaczona wartość niepewności pomiaru napięcia i prądu wynika z niedokładności kalibratora określonej w [2].

Podczas wyznaczania wartości energii elektrycznej pomiaru czasu dokonano stoperem, którego charakterystykę metrologiczną w postaci wzoru na bezwzględny błąd pomiaru czasu przedstawia zależność (4) [5], [6]:

$$\Delta t = \left[\left(\frac{-2,5 \pm 1,7}{86400} \right) \cdot t \pm 0,11 \right] \quad (4)$$

gdzie t oznacza mierzony przedział czasu w sekundach. Przy pomiarze czasu rzędu 30 min, uzyskano wartość niepewności standardowej na poziomie 0,12 s.

Wartość niepewności standardowej związanej z pomiarem liczby zliczonych obrotów N wyznaczono w powiązaniu z założoną niedokładnością odczytu położenia tarczy licznika przy znanej średnicy tarczy.

Analizując równanie przetwarzania całego stanowiska pomiarowego określono wartość niepewności rozszerzonej, obliczonej zgodnie z dokumentem [7] dla współczynnika rozszerzenia $k=2$, na poziomie 0,2%, przy klasie badanych liczników równej 2%. Należy, zatem uznać, że zaprojektowane i skonstruowane stanowisko pomiarowe gwarantuje odpowiednie parametry metrologiczne.

4. Wyniki badań eksperymentalnych

Pomiary przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych w układzie przedstawionym na rys. 2.

Na wstępie wyznaczono wartości błędów obydwu badanych liczników w temperaturze odniesienia $t = 23 \text{ }^\circ\text{C}$, w szerokim zakresie zmian obciążenia, przy braku czynników zakłócających, celem uzyskania wartości odniesienia dla dalszych pomiarów w obecności czynników zakłócających.

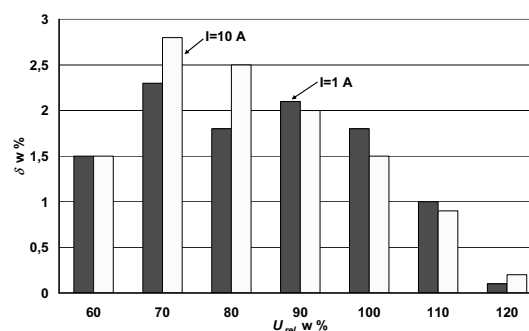
W tabeli 1 przedstawiono przykładowe wyniki badań błędu δ licznika A52 przy wartości $\cos \varphi = 1$.

Tab. 1. Wartości błędów względnych δ licznika energii elektrycznej A52
Tab. 1. Relative error values δ of A52 Watt-hour meter

obciążenie	δ
	%
230 V/0,1 A	12,9
230 V/0,25 A	4,4
230 V/0,5 A	1,5
230 V/1 A	0,3
230 V/2A	-0,4
230 V/3 A	-0,7
230 V/5 A	-0,5
230 V/8 A	-0,4
230 V/ 10 A	-0,4
230 V/11 A	-0,2

Wartości błędów dla obciążeń 0,1 A oraz 0,25 A przekraczają dopuszczalne granice, jednakże wartości tych prądów znajdują się poniżej wartości 10% prądu bazowego, tzn. poniżej zakresu określonego w [1], który w tym przypadku wynosi 10 A.

Kolejnym etapem badań było określenie wpływu zmian wartości napięcia zasilającego na wartość błędu podstawowego licznika. Na rys. 3 przedstawiono w postaci graficznej wartości błędów względnych licznika E72L-01 dla dwóch wartości prądów obciążenia przy zmianach napięcia $U_{rel} = \frac{U}{U_n}$ w zakresie od 60% do 120% wartości napięcia znamionowego U_n .



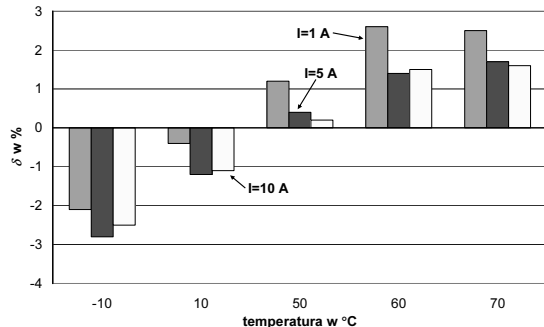
Rys. 3. Wartości błędów względnych licznika energii elektrycznej E72L-01 przy zmianach napięcia zasilania

Fig. 3. Values of relative errors of E72L-01 Watt-hour meter at supply voltage changes

Analizując wartości błędów względnych przedstawionych na rys. 3 można zauważyć, że w całym rozpatrywanym zakresie zmian napięcia zasilania wartości błędów licznika nie przekroczyły wartości błędów granicznych dopuszczalnych wskazań licznika określonych w [1].

Kolejnym czynnikiem zakłócającym, którego wpływ na dokładność pomiaru energii licznikiem przebadano były zmiany temperatury pracy. Licznik umieszczono w komorze termicznej, która zapewnia jednorodność temperatury oraz jej stabilność na poziomie $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Badania przeprowadzono w zakresie od $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ do $+70 \text{ }^\circ\text{C}$. Na rys. 4 zaprezentowano uzyskane wyniki badań licznika A52 zasilanego napięciem znamionowym dla trzech

wybranych wartości prądu obciążenia. Analizując wartości błędów względnych przedstawionych na rys. 4, można zaobserwować istotny wpływ temperatury pracy badanego licznika na wartości uzyskiwanych błędów.



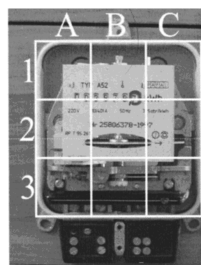
Rys. 4. Wartości błędów względnych licznika energii elektrycznej A52 w funkcji zmian temperatury

Fig. 4. Values of relative errors of A52 Watt-hour meter vs. temperature changes

Wraz ze wzrostem temperatury, wielkości błędów zmieniają się proporcjonalnie od wartości ujemnych do dodatnich. Wielkości błędów dla obciążeń prądami równymi 5 A oraz 10 A są porównywalne. W całym rozpatrywanym zakresie zmian temperatury pracy wartości błędów licznika nie przekroczyły dopuszczalnych błędów granicznych wskazań licznika określonych w [1].

Ostatnim badanym czynnikiem zakłócającym, który może mieć wpływ na dokładność pomiaru energii elektrycznej były zmiany silnego pola magnetycznego. Zagadnienie to, stosunkowo mało rozpoznane i opisane, stało się w ostatnim czasie dosyć istotne ze względu na spory występujące pomiędzy dostawcą i odbiorcami energii elektrycznej. Fakt oddziaływania silnego pola magnetycznego na pracę licznika indukcyjnego jest powiązany z oddziaływaniem tego pola na magnes stały, będący głównym źródłem momentu hamującego w liczniku – rys. 1.

Współcześnie jako źródło silnego pola magnetycznego stosuje się powszechnie magnesy neodymowe. Magnesy tego typu posiadają bardzo duże wartości gęstości energii, posiadają jednak niższy zakres temperatur pracy a ich właściwości magnetyczne są w znacznym stopniu zależne od temperatury. W badaniach wykorzystano dwa połączone magnesy walcowe MW 40x8/N42, ażeby uzyskać duże wartości indukcji magnetycznej. Dzięki połączeniu dwóch magnesów uzyskano stałe pole magnetyczne o wartości indukcji $B = 420$ mT. W przypadku badania oddziaływania zewnętrznego pola magnetycznego na pracę licznika indukcyjnego bardzo istotne jest miejsce przyłożenia magnesu neodymowego. Dlatego na każdą ze ścian badanego licznika naniesiono siatkę współrzędnych, podobnie jak w [8], co dla ściany przedniej licznika A52 przedstawiono na rys. 5.



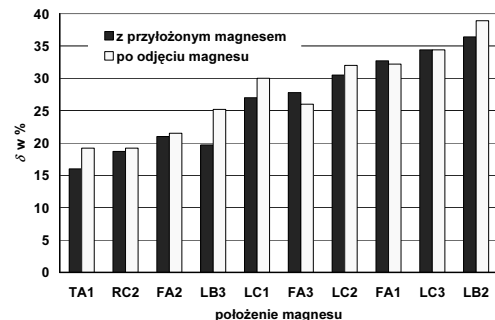
Rys. 5. Widok ściany przedniej licznika A52 z siatką współrzędnych

Fig. 5. View of A52 meter front panel with coordinates

Na rys. 6 przedstawiono wyniki badań wpływu pola magnesu neodymowego dla wybranych ścian licznika i punktów, w których

zaobserwowano najbardziej znaczące zmiany wartości błędów licznika.

Dla każdego punktu zostały przedstawione dwie wartości, pierwsza z przyłożonym magnesem, natomiast druga po jego odjęciu. Pomiary wykonano dla prądu obciążenia $I = 10$ A.



Rys. 6. Wartości błędów względnych licznika energii elektrycznej A52 w funkcji miejsca przyłożenia magnesu neodymowego

Fig. 6. Values of relative errors of A52 Watt-hour meter as a function of neodymium magnet position

Na powyższym rysunku poszczególne ściany licznika oznaczono jako: L – strona lewa, R – strona prawa, F – strona przednia, T – strona górna,

W przypadku oddziaływania zewnętrznego pola magnetycznego, w określonym miejscu i o odpowiedniej polaryzacji, na magnes stały następuje jego rozmagnesowanie, co skutkuje zmniejszeniem wartości momentu hamującego a w konsekwencji prowadzi do bardzo znaczącego wzrostu błędu podstawowego licznika.

5. Wnioski

W pracy zaprezentowano wyniki badań przykładowych liczników energii elektrycznej. Określono wpływ wybranych czynników zakłócających na wartość błędu podstawowego licznika. Przeprowadzono analizę metrologiczną uzyskanych wyników pomiarów, która pozwoliła na sformułowanie wniosków końcowych. Autorzy składają podziękowanie Panu Piotrowi Klimiukowi za pomoc w realizacji części eksperymentalnej.

6. Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 7 stycznia 2008 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać liczniki energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego, oraz szczegółowego zakresu sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych, Dziennik Ustaw Nr 11, pozycja 63, 2008.
- [2] Fluke 5500A, Multi-Product Calibrator, Operator Manual, 1994.
- [3] Instrukcja obsługi Inkubator Laboratoryjny ILW TOP, ver. 1.0, Pol Eko-Aparatura sp.j., Wodzisław Śl., 2005.
- [4] Dokument EA-4/02 Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu, wydanie polskie, Główny Urząd Miar, Warszawa, 2001.
- [5] Instrukcja wzorcowania sekundomierzy (stoperów) mechanicznych IW/WL4/S4/02, Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu, 2005.
- [6] Instrukcja szacowania niepewności przy wzorcowaniu sekundomierzy (stoperów) mechanicznych IN/WL4/S4/02, Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu, 2005.
- [7] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, Geneva, International Organization for Standardization, BIPM, IEC, ISO, OIML, 1993.
- [8] Sołński M., Pluta W.: Ocena wpływu pola magnetycznego magnesu NDFEB na wskazania wybranych liczników energii elektrycznej, sprawozdanie z badań, Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej, Poznań, 2006.