

Miroslaw Kazmierski

Okręgowy Urząd Miar w Łodzi, Wydział Elektryczny

Metody sprawdzania liczników energii elektrycznej prądu przemiennego i stałego

Streszczenie. W referacie przedstawiono metody sprawdzania liczników energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego (50 Hz), stosowane przy kontroli metrologicznej (legalizacji) oraz podlegających ocenie zgodności według dyrektywy 2004/22/WE z dnia 31 marca 2004 r. Referat zawiera również opis metody szacowania niepewności pomiaru i wyznaczenie budżetu niepewności przy wzorcowaniu kontrolnych liczników energii elektrycznej prądu przemiennego oraz stanowisk do sprawdzania liczników. Ponadto w referacie przedstawiono metodę wzorcowania liczników prądu stałego opracowaną w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi oraz sposób zachowania spójności pomiarowej przy wzorcowaniu liczników prądu stałego. Opisano również problemy związane z dokładnym pomiarem energii elektrycznej przy stałym napięciu zasilającym 3,3kV.

Słowa kluczowe: licznik prądu przemiennego, licznik prądu stałego, pomiar energii elektrycznej, niepewność pomiaru.

Methods of examination of the alternating and direct current energy meters

Abstract. In the paper the methods of examination during the legal metrological control (verification) of the alternating current active energy meters (50 Hz) as well as being the subject to the conformity assessment according to the directive no. 2004/22/WE of 31st March, 2004, have been presented. Report as well contains the description of method of measurement uncertainty estimation and determination of the uncertainty budget during the calibration of the control alternating current energy meters as well as of the energy meters examination stands. Additionally in the paper, the method of calibrating of the direct current energy meters, worked out in Regional Verification Office on Lodz, and the means of the assurance of measurement traceability during the calibration of direct current energy meters have been shown. Also the problems connected with the precise energy measurement at the 3,3kV DC supply voltage has been described.

Keywords: Alternating current energy meter, direct current energy meter, electric energy measurement, measurement uncertainty.

Wstęp

Dyrektywa 2001/16/WE z dnia 19 marca 2001 r. w sprawie interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej (Dz. Urz. WE nr 110, z dnia 20.04.2001 r.) zobowiązuje państwa członkowskie do dokonywania bezpośrednich pomiarów zużywanej przez tabor trakcyjny energii elektrycznej. W związku z tym Prezes Głównego Urzędu Miar wytypował do sprawdzania liczników energii elektrycznej prądu stałego między innymi Okręgowy Urząd Miar w Łodzi, który podjął w 2008 r. działania zmierzające do realizacji tego zadania. Metodyka sprawdzania liczników prądu stałego wymagała przeanalizowania istniejących i szeroko stosowanych metod weryfikacji metrologicznej liczników energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego. Dlatego też w pierwszej części referatu omówione zostały sposoby i metody kontroli metrologicznej tych liczników.

Liczniki energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki [1] liczniki energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego podlegają prawnej kontroli metrologicznej. Szczegółowy zakres sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej określa odpowiednie Rozporządzenie Ministra Gospodarki [2]. Według tych rozporządzeń liczniki podlegają obowiązkowi legalizacji. Legalizacji dokonuje administracja miar lub instytucje upoważnione przez Prezesa Głównego Urzędu Miar. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady [3] zobowiązała państwa członkowskie do wdrożenia prawodawstwa umożliwiającego producentom przyrządów pomiarowych wprowadzania do obrotu lub użytkowania przyrządów w wyniku oceny zgodności z normami europejskimi. Rozporządzenie Ministra Gospodarki [4] określa zasadnicze

wymagania dla przyrządów pomiarowych podlegających ocenie zgodności.

Wymagania metrologiczne dotyczące liczników energii czynnej w przypadku legalizacji i oceny zgodności są spójne. Przepisy dotyczące oceny zgodności dopuszczają wykorzystanie metody statystycznej podczas weryfikacji liczników. Sprawdzanie liczników podczas legalizacji lub oceny zgodności obejmuje:

- sprawdzenie rozruchu licznika,
- sprawdzenie biegu jałowego licznika,
- sprawdzenie przekładni (stałej) licznika,
- sprawdzenie dokładności wskazań licznika

Wartość prądu rozruchu licznika przy obciążeniu równomiernym, napięciu nominalnym i współczynniku mocy $\cos \varphi = 1$ nie powinna przekraczać wartości określonych w tabeli 1.

Tabela 1. Wartość prądu rozruchu liczników
Table 1. Value of the start-up current of the energy meters

Rodzaj licznika	Wartość prądu rozruchu w zależności od rodzaju licznika i klasy dokładności wyrażone w % wartości prądu bazowego			
	0,2	0,5	1	2
Statyczny	0,1	0,1	0,4	0,5
Indukcyjny, jednotaryfowy bez dodatkowych urządzeń obciążających mechanicznie ruch obrotowy wirnika	-	0,3	0,4	0,5
Indukcyjny z dodatkowym urządzeniem obciążających mechanicznie ruch obrotowy wirnika	-	0,4	0,4	0,5
Indukcyjny, z mechanicznym wskaźnikiem mocy maksymalnej	-	0,8	0,9	1,0

Podczas sprawdzania prądu rozruchu licznika tarcza licznika indukcyjnego powinna wykonać płynnie co najmniej jeden obrót, a licznik statyczny powinien wyemitować co najmniej dwa impulsy. Dla liczników z liczydłami bębnowymi, sprawdzenie powinno być przeprowadzone z nie więcej niż dwoma bębnami poruszającymi się.

Dla liczników statycznych przeznaczonych do pomiaru energii w obu kierunkach, spełnienie powyższego wymagania powinno być sprawdzone przy każdym kierunku przepływu energii.

Sprawdzenie biegu jałowego licznika indukcyjnego odbywa się przy doprowadzonym napięciu i braku prądu płynącego w obwodach prądowych (obwody prądowe powinny być rozwarne) wirnik licznika nie powinien wykonać pełnego obrotu przy zadanym napięciu równym 80 % i 110 % napięcia odniesienia. Jeżeli licznik ma więcej niż jedno napięcie odniesienia, sprawdzenie powinno być powtórzone dla każdej wartości napięcia odniesienia. Czas sprawdzania biegu jałowego powinien wynosić co najmniej 10 minut. W przypadku liczników statycznych wyjście kontrolne licznika nie powinno wyemitować więcej niż jeden impuls. W tym badaniu obwody prądowe powinny być rozwarne a napięcie musi być równe 115 % napięcia zasilającego obwody napięciowe.

Minimalny czas badania licznika klasy 2 powinien wynosić:

$$\Delta t \geq \frac{480 \cdot 10^6}{k \cdot m \cdot U_n \cdot I_{max}} [\text{min}] \quad (1)$$

gdzie: k – liczba impulsów emitowanych przez urządzenie wyjściowe licznika na kilowatogodzinę (imp/kWh), m – liczba elementów pomiarowych, U_n – napięcie badania w voltach, I_{max} – prąd maksymalny w amperach.

Sprawdzenia dokładności (stałej) licznika polega na sprawdzeniu czy liczba obrotów wirnika albo impulsów licznika, do wskazania liczydła (wyświetlacza) jest zgodna z oznaczeniem na tabliczce znamionowej. Powyższe powinno być sprawdzone przez pomiar wystarczającej ilości energii i obserwację wyjścia kontrolnego licznika oraz odczyt liczydła.

Sprawdzenia dokładności wskazań licznika można wykonać metodą licznika kontrolnego lub metodą mocy i czasu. W praktyce metoda mocy i czasu nie jest stosowana przy licznikach prądu przemiennego gdyż są dostępne bardzo dokładne liczniki kontrolne klasy 0,01; 0,02, 0,05 i 0,1.

Błędy graniczne dopuszczalne dla liczników statycznych przedstawia tabela 2:

Tabela 2. Graniczne błędy dopuszczalne statycznych liczników prądu przemiennego
Table 2. Acceptable limit errors of the static alternating current energy meters

Rodzaj licznika i obciążenia	Punkty obciążenia		Granice błędów dopuszczalnych wyrażone w %			
	Prąd obciążenia	współczynnik mocy $\cos\varphi$	0,2	0,5	1	2
Liczniki jednofazowe	0,1 I_b	1	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
	I_b	1	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
	I_b	0,5 ind.	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
Liczniki trójfazowe (obciążone symetrycznie)	I_{max}	1	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
	0,1 I_b	1	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
	0,5 $I_b^{(1)}$	1	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
	0,5 $I_b^{(1)}$	0,5 ind.	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
	I_b	1	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
Liczniki trójfazowe (przy obciążeniu tylko jednej fazy)	I_b	1	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$
	I_b	0,5 ind.	$\pm 0,4$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$

¹⁾ Dodatkowe punkty kontrolne dla liczników pośrednich i półpośrednich.

Metoda licznika kontrolnego polega na zliczaniu liczby impulsów licznika kontrolnego, odpowiadającej N impulsom (obrotom tarczy) licznika badanego, i porównaniu jej ze zmierzona liczbą impulsów licznika kontrolnego. Błąd wskazania należy obliczyć według wzoru:

$$\delta = \frac{N_{kn} - N_k}{N_k} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie: N_k - zmierzona liczba impulsów licznika kontrolnego, N_{kn} - liczba impulsów licznika kontrolnego, obliczona według wzoru:

$$N_{kn} = \frac{C_k \cdot U_{wk} \cdot I_{wk}}{C_b \cdot U_b \cdot I_b} \cdot N \quad (3)$$

gdzie:

N - wybrana liczba impulsów (obrotów tarczy) licznika badanego, C_k - wartość stałej licznika kontrolnego obrotach na kilowatogodzinę lub w impulsach na kilowatogodzinę, U_{wk} - wartość napięcia na wejściu licznika kontrolnego w voltach, I_{wk} - wartość natężenia prądu na wejściu licznika kontrolnego w amperach, C_b - wartość stałej licznika badanego wyrażona w obrotach na kilowatogodzinę lub w impulsach na kilowatogodzinę, I_b - wartość natężenia prądu na wejściu licznika badanego w amperach.

Wyznaczenia błędów dokonuje się za pomocą urządzeń spełniających wymagania normy PN-IEC 736:1998 [5]. Urządzenia do sprawdzania liczników podlegają okresowej kontroli metrologicznej – wzorcowaniu. Okręgowy Urząd Miar w Łodzi wykonuje wzorcowania tych urządzeń wykorzystując komparator energii typ K2006 klasy 0,01 lub licznik kontrolny typ RD33 klasy 0,01. Wzorcowanie polega na podłączeniu do sprawdzanego urządzenia licznika kontrolnego i wykonaniu pomiarów błędów tego licznika. Niepewność pomiaru wyznaczana jest zgodnie z EA-4/02 [6] [7]. Błąd urządzenia przyjmuje się jako e_x . Błąd urządzenia przyjmuje wartość:

$$e_x = e + e_r + e_w + e_t + e_d \quad (4)$$

gdzie: e – błąd odczytany z przelicznika błędów, e_r – poprawka na rozdzielczość USL, e_w – błąd licznika wzorcowego, e_t – zmiana błędów licznika wzorcowego spowodowana temperaturą, e_d – poprawka na odchyłkę, Kwadrat złożonej niepewności standardowej błędów licznika – $u_c(e_x)$:

$$u_c^2(e_x) = c_1^2 u^2(e) + c_2^2 u^2(e_r) + c_3^2 u^2(e_w) + c_4^2 u^2(e_t) + c_5^2 u^2(e_d) \quad (5)$$

gdzie: $|c_1| = |c_2| = |c_3| = |c_4| = |c_5| = 1$ – współczynniki wrażliwości

Budżet niepewności przedstawia tabela 3:

Tabela 3. Budżet niepewności
Table 3. Uncertainty budget

Symbol wielkości	Estymata wielkości	Niepewność standardowa	Rozkład prawdopodobieństwa	Współczynnik wrażliwości	Udział niepewności
e	e	$u(e)$	normalny	1	$u_1(e_x)$
e_r	e_r	$u(e_r)$	prostokątny	1	$u_2(e_x)$
e_w	0	$u(e_w)$	prostokątny	1	$u_3(e_x)$
e_t	0	$u(e_t)$	prostokątny	1	$u_4(e_x)$
e_d	0	$u(e_d)$	prostokątny	1	$u_5(e_x)$
e_x	e_x				$u_c(e_x)$

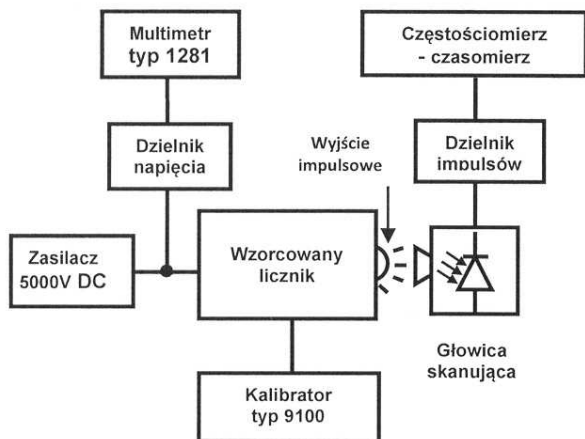
Liczniki prądu stałego

Obecnie w Polsce jest użytkowanych około 4,5 tysiąca pojazdów trakcyjnych, które mogłyby być wyposażone w liczniki prądu stałego. Aktualnie w Polsce nie ma przepisów normatywnych dotyczących kontroli metrologicznej liczników prądu stałego, dlatego jedyną formą sprawdzenia dokładności tych liczników jest wzorcowanie według procedur opracowanych przez laboratorium pomiarowe.

Liczniki produkowane w Polsce przez „Elester PKP” typu LE3000 plus pierwotnie nie posiadały wyjścia impulsowego z określoną „stałą licznika”. Jedynym możliwym sposobem sprawdzenia błędów wskazań takiego licznika była metoda „obserwacji” zmiany w czasie wskazań zużytej energii. Wzorcowanie tą metodą było by jednak bardzo czasochłonne i niedokładne. Konsultacje jakie przeprowadzono we wrześniu 2009 z konstruktorami tych liczników doprowadziły do wyposażenia ich w wyjście impulsowe dla energii pobieranej jak i energii oddawanej w wyniku rekuperacji. Została również dobrana stała licznika która wynosi $c=10\text{imp/kWh}$.

Okręgowy Urząd Miar w Łodzi na bazie posiadanego stanowiska do wzorcowania liczników prądu przemiennego skonstruował stanowisko do wzorcowania liczników prądu stałego. W związku z brakiem kontrolnych liczników prądu stałego jedyną możliwą metodą jest metoda mocy i czasu.

W skład stanowiska wchodzi: stabilizowany zasilacz DC 5kV, dzielnik napięcia, precyzyjny woltomierz cyfrowy, kalibrator napięcia stałego, dzielnik impulsów, głowica skanująca oraz częstotłomierz-czasomierz cyfrowy. Schemat blokowy układu przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat blokowy układu do wzorcowania liczników prądu stałego

Fig. 1. Block scheme of the unit to calibrate the direct current energy meters

Przy wzorcowaniu liczników kiedy jest dokonywany pomiar czasu określonej ilości impulsów do obliczenia wartości poprawnej tego czasu należy posłużyć się zależnością:

$$t_p = \frac{3600000}{c_b} \cdot \frac{N}{U_p \cdot I_p} \quad (6)$$

gdzie: t_p – poprawny czas N impulsów, c_b – stała badanego licznika, N – ilość impulsów, U_p – poprawna wartość napięcia, I_p – poprawna wartość natężenia prądu.

Następnie błąd licznika prądu stałego w danym punkcie pomiarowym δ_x obliczamy stosując zależność:

$$\delta_x = \frac{t_p - t_x}{t_x} \cdot 100\% \quad (7)$$

gdzie: t_x – zmierzony czas N impulsów

Spójność pomiarowa zachowana jest przez przeniesienie wskazań przyrządów pomiarowych zastosowanych w stanowisku do państwowych wzorców rezystancji, napięcia stałego oraz czasu i częstotliwości poprzez nieprzerwany łańcuch porównań.

Niepewność pomiarów wykonanych na tym stanowisku uzależniona jest w głównej mierze od dokładności użytej aparatury pomiarowej. Dokładność pomiaru napięcia stałego sieci przy wykorzystywaniu multimetru i dzielnika napięcia wynosi około 0,01%. Zastosowanie kalibratora jako symulatora spadku napięcia na zewnętrznym boczniku prądowym z uwagi na pracę jego na wysokim potencjale 3,3kV wymaga zasilania tego kalibratora z separowanej sieci wykorzystując np. UPS. Uzyskana dokładność symulacji toru prądowego wynosi ok. 0,01%. Pomiar czasu impulsowania w układzie częstotłomierz-czasomierz, głowica skanująca i dzielnik impulsów realizowany jest z dokładnością ok. 1ms. Ze względu na to minimalny czas pomiaru impulsów powinien wynosić nie mniej niż 20 sekund. Przy powtarzalności pomiarów całkowita niepewność pomiaru na przedstawionym stanowisku wynosi ok. 0,02%.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 grudnia 2007 r. w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli (Dz. U. Nr 3, poz 13)
- [2] 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 (Dz. U. Nr 11, poz 63)
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/22/WE z dnia 31 marca 2004r. w sprawie przyrządów pomiarowych (Dz. Urz. UE L 2004 nr 135 str. 1, Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, Roz. 13, t. 34, str. 149)
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla przyrządów pomiarowych (Dz. U. Nr 3 z dnia 10 stycznia 2007 r., poz. 27)
- [5] Norma PN-IEC 736:1998 Urządzenia do sprawdzania liczników energii elektrycznej.
- [6] EA-4/02, Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu. Główny Urząd Miar, Warszawa 2001
- [7] Wyrażenie Niepewności pomiaru. Przewodnik. Główny Urząd Miar, Warszawa 1999.

Autor: inż. Mirosław Kaźmierski, Okręgowy Urząd Miar w Łodzi, Wydział Elektryczny ul. Narutowicza 75, 90-132 Łódź, e-mail: oum.lodz.w3@gum.gov.pl