

## OCENA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI METROLOGICZNYCH LICZNIKÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ PRĄDU STAŁEGO

Przemysław OTOMAŃSKI<sup>1</sup>, Przemysław ZAZULA<sup>2</sup>

1. Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej  
tel.: 0-61 665 2599 e-mail: przemyslaw.otomanski@put.poznan.pl
2. Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu, Pracownia Pomiarów Wielkości Elektrycznych  
tel.: 0-61 856 7265 e-mail: pzazula@wp.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono stanowisko pomiarowe, przeznaczone do oceny właściwości metrologicznych nowoczesnych liczników energii elektrycznej prądu stałego. Stanowisko to składa się z dwóch wielofunkcyjnych kalibratorów, oraz skonstruowanej na potrzeby tego stanowiska specjalizowanej przystawki wysokonapięciowej umożliwiającej generację napięć stałych do 4 kV o odpowiednio wysokiej dokładności. Opisano szczegółowo poszczególne elementy tego stanowiska wraz z wynikami wzorcowania.

**Słowa kluczowe:** system pomiarowy, licznik energii elektrycznej prądu stałego, niepewność pomiaru.

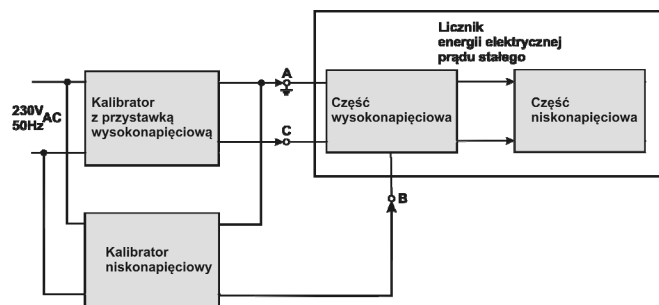
### 1. WPROWADZENIE

Ocena parametrów metrologicznych urządzeń służących do rozliczeń pomiędzy podmiotami gospodarczymi jest złożonym problemem pomiarowym. W praktyce często przyjmuje się, że odpowiednią formą takiej oceny jest wzorcowanie. Uzyskane w wyniku wzorcowania wartości, powiązane z niepewnością ich wyznaczenia, powinny być określone w konkretnych punktach pomiarowych. Punkty te powinny być zgodne z odpowiednimi normami i innymi dokumentami uzupełniającymi. W pracy przedstawiono opracowane i skonstruowane stanowisko pomiarowe, przeznaczone do oceny właściwości metrologicznych liczników energii elektrycznej prądu stałego EM3000 firmy Sesto. Liczniki tego typu znajdują zastosowanie w pomiarach mocy i energii prądu stałego w sieci trakcji kolejowej.

### 2. UKŁAD POMIAROWY

Konstrukcja badanych liczników energii elektrycznej prądu stałego, wymusiła przygotowanie stanowiska pomiarowego, które umożliwia wzorcowanie licznika przy zasilaniu napięciem stałym w zakresie od 0 V do 4 kV oraz sygnałem z bocznika prądowego odpowiadającego przepływowi prądu o wartościach od kilkudziesięciu do ponad tysiąca amperów. Wartości napięć zasilających wymusiły odpowiednią konfigurację aparatury na tym stanowisku, która gwarantuje zarówno właściwą separację galwaniczną poszczególnych podzespołów stanowiska, jak również jego bezpieczną obsługę.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat opracowanego stanowiska pomiarowego do badań liczników energii elektrycznej prądu stałego. Opracowane stanowisko pomiarowe składa się z dwóch wielofunkcyjnych kalibratorów oraz skonstruowanej na potrzeby tego stanowiska specjalizowanej przystawki wysokonapięciowej umożliwiającej generację napięć stałych w żądanym zakresie do 4 kV, z odpowiednią niepewnością pomiaru.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego do badań liczników energii elektrycznej prądu stałego

Sygnal pomiędzy zaciskami A i B odpowiada, w układzie rzeczywistym, spadkowi napięcia na zewnętrznym boczniku pomiarowym, natomiast sygnal pomiędzy zaciskami A i C jest napięciem odpowiadającym w rzeczywistości wysokiemu napięciu w trakcji elektrycznej. W opracowanym układzie pomiarowym napięcie  $U_{AB}$  osiąga niewielkie wartości, dzięki czemu zminimalizowano koszty izolacji pomiędzy wewnętrznymi blokami układu pomiarowego. Zacisk C znajduje się na wysokim potencjale ujemnym- 4 kV. Dzięki odpowiedniej konfiguracji i izolacji tego zacisku zagwarantowano bezpieczną obsługę całego stanowiska pomiarowego.

Kalibrator razem z przystawką wysokonapięciową pracuje przy niskich wartościach prądu obciążenia licznikiem rzędu 10 mA. Drugi z kalibratorów odpowiada za generację sygnału proporcjonalnego do spadku napięcia na boczniku pomiarowym. Pracuje on przy wartościach napięć wyjściowych do  $\pm 200$  mV. Odpowiada to w rzeczywistości przepływowi przez bocznik pomiarowy prądu o wartościach rzędu tysiąca i więcej amperów.

Opracowany układ gwarantuje zgodne z oczekiwaniami parametry metrologiczne, minimalny pobór

energii z sieci zasilającej, co jest istotne z punktu widzenia kosztów przeprowadzanych badań, jak również właściwą separację podzespołów.

Wyznaczona względna wartość niepewności rozszerzonej tej części stanowiska pomiarowego wynosi 0,06 % i jest określona w aktualnym świadectwie wzorcowania.

W pierwotnej wersji tego stanowiska, opisanej w pracy [1], pomiaru czasu dokonywano stoperem mechanicznym. Charakterystykę metrologiczną stopera w postaci wzoru na bezwzględny błąd pomiaru czasu  $\Delta\tau$ , wyrażonego w sekundach, przedstawia zależność (1)

$$\Delta\tau = \left[ \left( \frac{\Delta_d \pm U_d}{86400} \right) \cdot \tau + (\Delta_k \pm U_k) \right], \quad (1)$$

gdzie:  $\Delta_d$  oznacza błąd długoterminowy,  $U_d$  niepewność rozszerzoną błędów długoterminowych,  $\Delta_k$  błąd krótkoterminowy,  $U_k$  niepewność rozszerzoną błędów krótkoterminowych, natomiast  $\tau$  mierzony przedział czasu w sekundach. Błąd długoterminowy dla stopera tego typu związany jest głównie z naciągami sprężyny, natomiast błąd krótkoterminowy ma związek przede wszystkim z czasem reakcji osoby przeprowadzającej pomiary. Przy pomiarze czasu rzędu 10 minut tym stoperem uzyskano wartość niepewności rozszerzonej na poziomie 0,11 s.

Do obecnej wersji stanowiska pomiarowego wprowadzono istotne modyfikacje, które pozwoliły na znaczne zmniejszenie niedokładności pomiaru energii. Wprowadzone zmiany pozwoliły na wyeliminowanie błędów związanego z czasem reakcji osoby przeprowadzającej pomiary. Wysokie napięcie, uzyskiwane z kalibratora z przystawką wysokonapięciową, jest podłączane przez cały czas trwania pomiarów do badanego licznika. W trakcie normalnej pracy licznika w sieci trakcyjnej kolejowej prąd obciążenia mierzony jest przez licznik pośrednio, poprzez spadek napięcia na zewnętrznym boczniku. Na stanowisku pomiarowym symulacja prądu obciążenia mierzonego przez licznik realizowana jest przez kalibrator niskonapięciowy, którego sygnał wyjściowy symuluje spadek napięcia z bocznika. Kalibrator ten jest wyposażony w precyzyjny generator interwału czasu (GIC) o zakresie nastaw (1–85) min. Generuje on sygnał przez ściśle określony interwał czasu, standardowo jest to 15 minut. Konstrukcja tego kalibratora umożliwia generację impulsu o możliwie największej stromości narastania, co jest równoznaczne z jak najkrótszym czasem załączenia i wyłączenia tego impulsu.

Kalibrator łącznie z GIC wywzorcowano w celu wyznaczenia niedokładności pomiaru czasu i napięcia. Błąd odtwarzania interwału czasu przez GIC w zakresie (1-15) minut określony jest zależnością (2)

$$\Delta\tau = 5,18 \text{ ms} - y \cdot \tau_n \pm 0,02 \text{ ms}, \quad (2)$$

gdzie  $\tau_n$  jest wartością nominalną interwału czasu nastawioną na GIC, a wartość parametru  $y$  wyznaczona podczas wzorcowania wyniosła  $(-5,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-5}$  s/s. Błąd odtwarzania wyznaczono jako różnicę pomiędzy wartością umownie prawdziwą odtwarzanej wielkości a jej wartością nominalną. Wyniki wzorcowania GIC kalibratora niskonapięciowego dla interwału czasu równego 15 minut oraz wyniki wzorcowania tego urządzenia dla szerokiego spektrum napięć przedstawiono w pracy [2]. Wyniki wzorcowania zostały odniesione do państwowego wzorca

jednostek miar czasu i częstotliwości oraz państwowego wzorca jednostki miary napięcia elektrycznego stałego. Niepewność pomiaru została wyznaczona zgodnie z zaleceniami zawartymi w dokumencie [3]. Dzięki opisanym modyfikacjom wartość niepewności rozszerzonej pomiaru, w porównaniu z metodą pomiaru stoperem mechanicznym, jest ponad pięćdziesięciokrotnie mniejsza.

### 3. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Na stanowisku pomiarowym, przedstawionym na rysunku 1, przeprowadzono wzorcowanie liczników energii elektrycznej prądu stałego EM3000. Szczegółowe parametry tego licznika są zawarte w dokumencie [4]. W trakcie tego procesu porównywano wskazania badanego licznika z nastawami na przyrządach kontrolnych. Odczyty były dokonywane z wyświetlacza licznika z rozdzielczością 0,01 kWh. Ponieważ rejestracja energii pobranej i oddanej do sieci, w przypadku liczników zamontowanych w elektrowozach, odbywa się standardowo w okresach 15-minutowych, celowe i zasadne jest, aby czas pomiaru parametrów licznika wynosił również 15 minut.

W celu weryfikacji stanowiska pomiarowego odnośnie do powtarzalności wyników pomiarów, przeprowadzono badania tego samego egzemplarza licznika przez kilka osób. Celem badań było określenie czy uzyskane wyniki pomiarów są powtarzalne, czy różnią się istotnie, tzn. weryfikowano hipotezę zerową  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  wobec hipotezy alternatywnej  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ , gdzie  $\mu_1$  i  $\mu_2$  oznaczają wartości oczekiwane dwóch populacji o liczebnościach odpowiednio  $n_1$  i  $n_2$ . W zależności od informacji o tych populacjach stosuje się określony typ testu. Ponieważ każda z osób powtarzała pomiary wielokrotnie zastosowano statystykę  $t$ , która ma rozkład Studenta o liczbie stopni swobody  $m = n_1 + n_2 - 1$  danej zależnością (3)

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1 \cdot S_1^2 + n_2 \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}, \quad (3)$$

gdzie: wartości średnie  $\bar{x}_1$  i  $\bar{x}_2$  określone są według znanych zależności dla populacji o liczebnościach odpowiednio  $n_1$  i  $n_2$ , natomiast wariancje  $S^2$  wyznacza się z zależności (4)

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1} \cdot \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2, \quad S_2^2 = \frac{1}{n_2} \cdot \sum_{i=1}^{n_2} (x_i - \bar{x}_2)^2. \quad (4)$$

Z tablic rozkładu Studenta odczytuje się wartości krytyczne  $t_{\alpha m}$  dla założonego poziomu istotności  $\alpha$  i liczby stopni swobody  $m = n_1 + n_2 - 1$ . Obliczoną na podstawie wyników z próby wartość statystyki, daną zależnością (3), porównuje się z wartością krytyczną badając, czy znalazła się w obszarze krytycznym czy nie. Podjęta w związku z tym decyzja o odrzuceniu hipotezy zerowej  $H_0$ , albo braku podstaw do jej odrzucenia, jest równoznaczna z tym, że różnicę między średnimi z prób uznaje się za istotną lub nieistotną.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że wartości statystyk  $t$  znalazły się w przedziale (0,04-0,042). Wartość krytyczna, odczytana z tablic rozkładu Studenta, dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$  jest równa  $t_{\alpha m} = 2,101$ . Wobec tego stwierdzono, że w każdym przypadku uzyskane wyniki nie różnią się istotnie, czyli można stwierdzić, że nie ma

podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Powyższy fakt świadczy o dobrej powtarzalności wyników pomiarów.

Pomiary przeprowadzono na partii 10 liczników energii elektrycznej prądu stałego klasy 1. Dla każdego licznika przeprowadzone badanie polegało na pomiarach wielokrotnych, minimum 10-krotnych, które były niezbędne do określenia rozrzutu uzyskanych wyników, ewentualnie do eliminacji błędów nadmiernych. Dla całej populacji liczników przeprowadzono badania, które obejmowały pomiary napięcia, prądu oraz energii pobranej i oddanej do sieci energetycznej. Wielokrotne powtarzanie pomiarów powodowało, że przeprowadzane badania były bardzo czasochłonne. Pozwoliło to jednak na wykonanie obiektywnych i wiarygodnych pomiarów, które pozwoliły na sformułowanie jednoznacznych konkluzji. Wszystkie pomiary przeprowadzono na stanowisku pomiarowym przedstawionym na rysunku 1.

W tablicach 1-4 zestawiono wyniki badań eksperymentalnych, przykładowego egzemplarza licznika energii elektrycznej prądu stałego, dla pomiarów napięć, prądów oraz energii pobranej i oddanej. W przypadku pomiarów napięć badania przeprowadzono dla napięcia nominalnego  $U_n = 3300$  V oraz dla napięć różniących się od napięcia nominalnego o  $\pm 10\%$ . W przypadku badania rzeczono licznika w zakresie zmian prądu pomiary przeprowadzono w siedmiu punktach kontrolnych dla następujących wartości prądu: 25 A, 50 A, 125 A, 250 A, 400 A, 500 A oraz 750 A, przy czym wartość prądu nominalnego dla tego licznika wynosiła  $I_n = 500$  A. Wartości zawarte w tabelach odczytano z wyświetlacza licznika – wartość zmierzona  $W_{zm}$  i z nastaw na wzorcach pomiarowych – wartość odniesienia  $W_{od}$ . Wartość błędu pomiaru  $\Delta$  wyznaczono zgodnie z zależnością  $\Delta = W_{zm} - |W_{od}|$  dla pomiarów napięć i prądów, natomiast w przypadku pomiarów energii zgodnie z zależnością  $\Delta = W_{zm} - W_{od}$ .

Tablica 1. Wyniki wzorcowania licznika EM3000 przy pomiarach napięcia

| Pomiar napięcia $U_n = 3300$ V |                     |                       |                        |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
| Wartość zmierzona              | Wartość odniesienia | Błąd pomiaru $\Delta$ | Niepewność pomiaru $U$ |
| V                              | V                   | V                     | V                      |
| 2972,10                        | -2971,00            | 1,1                   | 2,0                    |
| 3302,46                        | -3301,40            | 1,1                   | 2,2                    |
| 3632,87                        | -3631,80            | 1,1                   | 2,4                    |

Tablica 2. Wyniki wzorcowania licznika EM3000 przy pomiarach prądu

| Pomiar prądu $I_n = 500$ A |                     |                       |                        |
|----------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
| Wartość zmierzona          | Wartość odniesienia | Błąd pomiaru $\Delta$ | Niepewność pomiaru $U$ |
| A                          | A                   | A                     | A                      |
| 24,72                      | -25,00              | -0,28                 | 0,04                   |
| 49,68                      | -50,00              | -0,32                 | 0,04                   |
| 124,74                     | -125,00             | -0,26                 | 0,04                   |
| 250,10                     | -250,00             | 0,10                  | 0,05                   |
| 399,96                     | -400,00             | -0,04                 | 0,05                   |
| 499,85                     | -500,00             | -0,15                 | 0,06                   |
| 749,65                     | -750,00             | -0,35                 | 0,07                   |

Tablica 3. Wyniki wzorcowania licznika EM3000 przy pomiarach energii pobranej

| Pomiar energii pobranej $U = 3300$ V, $I = 500$ A, $t = 0,25$ h |                     |                       |                        |
|---|---------------------|-----------------------|------------------------|
| Wartość zmierzona   | Wartość odniesienia | Błąd pomiaru $\Delta$ | Niepewność pomiaru $U$ |
| kWh   | kWh                 | kWh                   | kWh                    |
| 412,61  | 412,69              | -0,08                 | 0,35                   |

Tablica 4. Wyniki wzorcowania licznika EM3000 przy pomiarach energii oddanej

| Pomiar energii oddanej $U = 3600$ V, $I = -500$ A, $t = 0,25$ h |                     |                       |                        |
|---|---------------------|-----------------------|------------------------|
| Wartość zmierzona   | Wartość odniesienia | Błąd pomiaru $\Delta$ | Niepewność pomiaru $U$ |
| kWh   | kWh                 | kWh                   | kWh                    |
| 450,17  | 450,25              | -0,08                 | 0,31                   |

#### 4. BUDŻET NIEPEWNOŚCI

Końcowy wynik pomiaru jest kompletny tylko wówczas, kiedy zawiera zarówno wartość wielkości mierzonej, jak i niepewność wyniku pomiaru związaną z tą wartością. Zestawienie wszystkich zidentyfikowanych składowych niepewności standardowych oszacowanych metodą typu A i B nazywa się budżetem niepewności. Celem jego tworzenia jest dostarczenie dowodu, że niepewność złożona wyniku pomiaru została oszacowana rzeczowo i wnikliwie w sposób dający się zweryfikować. Prawdłowo skonstruowany budżet umożliwia dostarczenie dowodu, że analizowano wszystkie składniki niepewności, także te, których udział w niepewności złożonej okazał się nieistotny. Oznacza to, że nie odrzucono żadnego składnika arbitralnie, na podstawie subiektywnych przekonań lub tradycyjnego sposobu postępowania.

Wszystkie ujawnione składowe niepewności rozszerzonej zostały wyznaczone i uwzględnione w końcowym budżecie niepewności. Niepewność rozszerzona wyniku pomiaru została wyznaczona zgodnie z zaleceniami zawartymi w dokumentach [3] i [5]. Jej wartość wyznaczono na podstawie prawa propagacji niepewności. W analizie uwzględniono rozrzut wyników pomiarów, niedokładności kalibratora z przystawką wysokonapięciową, rozdzielczość badanego licznika, jak również w przypadku pomiarów energii niepewności związane z pomiarami napięcia, prądu oraz czasu.

Podane wartości niepewności stanowią niepewność rozszerzoną przy założonym poziomie ufności  $p \approx 95\%$ . W opracowanym budżecie niepewności uwzględniono wszystkie zidentyfikowane niepewności składowe oszacowane metodą typu A i B, również te, których wartość oszacowano jako zero. Taka informacja oznacza, że określony składnik niepewności był analizowany, a przyjęcie jego zerowej wartości jest uzasadnione warunkami pomiaru [6]. Dla wyników pomiarów, zestawionych w tablicach 1-4 opracowano budżety niepewności zgodnie z opisanymi regułami.

W przypadku tworzenia budżetu niepewności dla energii pobranej i oddanej do sieci elektroenergetycznej należy rozważyć większą liczbę czynników. Dlatego też w celu wyznaczenia niepewności standardowej złożonej  $u_c$  należy wyznaczyć wartości pochodnych cząstkowych względem napięcia, prądu oraz czasu, które określają wartości współczynników wrażliwości  $c_i$ . W tablicy 5 przedstawiono przykładowy budżet niepewności dla pomiaru energii pobranej.

Tablica 5. Budżet niepewności licznika EM3000 dla wybranej wartości pomiaru energii pobranej

| Symbol wielkości    | Estymata wielkości | Niepewność standardowa $u(x_i)$ |     | Rozkład prawdopodobieństwa | Współczynnik wrażliwości $c_i$ |     | Udział w niepewności złożonej |     |
|---------------------|--------------------|---------------------------------|-----|----------------------------|--------------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| $E_{zm} - E_{od}$   | 412,61             | $1,00 \cdot 10^{-02}$           | kWh | Normalny                   | 1                              | kWh | $1,00 \cdot 10^{-02}$         | kWh |
| $\delta\Delta_{rE}$ | 0                  | $2,89 \cdot 10^{-03}$           | kWh | Prostokątny                | 1                              | kWh | $2,89 \cdot 10^{-03}$         | kWh |
| $u(U)$              | 0                  | $1,10 \cdot 10^0$               | V   | Normalny                   | 0,125                          | kAh | $1,37 \cdot 10^{-01}$         | kWh |
| $u(I)$              | 0                  | $2,81 \cdot 10^{-02}$           | A   | Normalny                   | 0,826                          | kVh | $2,32 \cdot 10^{-02}$         | kWh |
| $u(t)$              | 0                  | $2,78 \cdot 10^{-07}$           | h   | Normalny                   | 1650,851                       | kVA | $4,59 \cdot 10^{-04}$         | kWh |
| $E_{zmsr}$          | 412,61             | -                               | -   | -                          | -                              | -   | $1,40 \cdot 10^{-01}$         | kWh |

Wielkości wpływające na wartość niepewności złożonej oznaczają odpowiednio:

$E_{zm} - E_{od}$  – różnicę wartości energii wskazanej i zadanej,

$\delta\Delta_{rE}$  – wartość wynikającą z rozdzielczości licznika wzorcowanego,

$u(U)$ ,  $u(I)$ ,  $u(t)$  – niepewności związane z pomiarami napięcia, prądu oraz czasu.

## 5. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono złożoną tematykę badań liczników energii elektrycznej prądu stałego. Zaprezentowano skonstruowane stanowisko pomiarowe, złożone z dwóch wielofunkcyjnych kalibratorów oraz przystawki wysokonapięciowej umożliwiającej generację napięć o odpowiednio wysokiej precyzji. Opisano szczegółowo poszczególne elementy tego stanowiska pomiarowego wraz z wynikami wzorcowania.

Zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych na reprezentatywnej partii liczników EM3000 w warunkach laboratorium akredytowanego. Uzyskane wyniki badań pozwoliły na przeprowadzenie analizy metrologicznej i sformułowanie obiektywnych konkluzji. Przy doborze punktów pomiarowych badanego licznika na stanowisku pomiarowym kierowano się wnioskami wynikającymi z badań liczników umieszczonych

w warunkach rzeczywistych na elektrowozach, podczas ich normalnej eksploatacji.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Otomański P., Zazula P.: Charakterystyka metrologiczna stanowiska pomiarowego do badań liczników energii elektrycznej prądu stałego w zakresie do 4 kV, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 84, nr 12, str. 315-317, 2008.
- Otomański P., Zazula P.: Stanowisko pomiarowe do oceny właściwości metrologicznych liczników energii elektrycznej prądu stałego, Pomiary Automatyka Kontrola, vol. 58, nr 9, str. 764–766, 20012.
- EA-4/02 M: 2013 Evaluation of the uncertainty of measurement in calibration, European cooperation for Accreditation, 2013.
- Licznik energii elektrycznej prądu stałego EM3000, Dokumentacja techniczno-ruchowa.
- Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, 2008 JCGM 100:2008.
- Skubis T.: Podstawy metrologicznej interpretacji wyników pomiarów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2004.

## THE EVALUATION OF SELECTED METROLOGICAL PROPERTIES OF DIRECT CURRENT WATT-HOUR METERS

The paper presents a method for evaluating the accuracy of indications of the direct current Watt-hour meters in a designed and constructed measuring system. Such system is composed of two multi-function calibrators, and a specialized high-voltage attachment, designed for the needs of this system, which makes it possible to generate direct voltages in a required range up to 4 kV with suitable high precision. The values of voltages supplying the of the Watt-meter – extorted a suitable configuration of the equipment on the constructed measuring system, which guarantees proper galvanic separation of particular components of the measuring system as well as its safe operation. Both calibrators with specialised high-voltage attachment, dedicated for the measuring system, were calibrated in order to evaluate the accuracy of the whole system. The calibration results, together with the determined value of expanded uncertainty, were included in the calibration certificate. The authors described in detail particular elements of the measuring system together with the results of its calibration. The function of direct current Watt-hour meters is the measurement of power and electrical energy in circuits of direct current supply in a railway traction network 3.3 kV. The measurement results were completed with a presentation of uncertainty budgets.

**Keywords:** measuring system, direct current Watt-hour meter, measurement uncertainty.