

**Andrzej OLENCKI, Krzysztof URBAŃSKI, Jan SZMYTKIEWICZ**

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI, INSTYTUT INFORMATYKI I ELEKTRONIKI, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra

**Metody sprawdzania układów półpośrednich****Dr hab. inż. Andrzej OLENCKI**

Projektant urządzeń elektronicznych w zakładach Lumel 1977-89, Inmel 1989-90 i Calmet od 1990. Studia (Bydgoszcz, Charków 1972-77, doktorat (Wrocław 1984-86), habilitacja (Kijów 1989-91). Od 1991 profesor Instytutu Informatyki i Elektroniki. Zainteresowania to elektronika i projektowanie urządzeń elektronicznych – kalibratory napięć, prądów i mocy, mierniki parametrów sieci i jakości energii, testery liczników energii i zabezpieczeń.

e-mail: [A.Olencki@iie.uz.zgora.pl](mailto:A.Olencki@iie.uz.zgora.pl)**Dr inż. Krzysztof URBAŃSKI**

Autor ukończył Wyższą Szkołę Inżynierską w Zielonej Górze - Wydział Automatyki i Metrologii. Praca doktorska dotyczyła budowy wielofazowych kalibratorów mocy. Zainteresowania skupiają się na konstruowaniu urządzeń do analizy parametrów jakości energii elektronicznej, budowie kalibratorów odtwarzających te parametry i praktycznym ich wdrażaniu do produkcji w firmie Calmet.

e-mail: [K.Urbanski@iie.uz.zgora.pl](mailto:K.Urbanski@iie.uz.zgora.pl)**Dr inż. Jan SZMYTKIEWICZ**

Adiunkt w Instytucie Informatyki i Elektroniki, a wcześniej pracownik działu rozwoju zakładów Lumel, Inmel i Calmet. Jest współautorem kilkunastu wdrożonych do produkcji kalibratorów uniwersalnych napięć i prądów stałych i przemiennych (ang. multifunction calibrator), kalibratorów sygnałów przemysłowych, termoelektrycznych, termorezystancyjnych oraz kalibratorów mocy jedno i trójfazowych. Szczególnym obszarem zainteresowań jest cyfrowa adiustacja przyrządów pomiarowych.

e-mail: [J.Szmytkiewicz@iie.uz.zgora.pl](mailto:J.Szmytkiewicz@iie.uz.zgora.pl)**Streszczenie**

W artykule opisano specyfikę sprawdzania układów półpośrednich dla potrzeb oceny dokładności systemów pomiarowych stosowanych w rozliczeniach energii elektrycznej. Opisano i porównano dwie metody: dwufunkcyjną i proponowaną jednofunkcyjną sprawdzania układów półpośrednich. Przedstawiono teoretyczne podstawy stosowania obu metod oraz schematy aplikacyjne z zastosowaniem opracowanych testerów.

**Słowa kluczowe:** sprawdzanie liczników energii, sprawdzanie przekładników prądu.

**Methods for checking a circuit with energy meter and current transformer****Abstract**

The paper presents methods for checking an energy measuring circuit including an energy meter and current transformer (Fig. 1). In Paragraph 2 there are described and compared two methods: a double and single function method. Circuits for measuring the errors of the energy meter with a current transformer (Fig. 2), energy meter (Fig. 3) and current transformer (Fig. 4) are presented in Paragraphs 3-5. The analysis of the discussed methods is given in Table 1. The double function method makes it possible to check the accuracy of the circuit with an energy meter and current transformer and full diagnostics of this scheme. The double function method is dedicated to multifunction (double function) testers of energy meters with additional function of an instrument current transformer tester. Double function testers Calport 100 Plus accuracy class 0,1 and 0,2 and Caltest 300 accuracy class 0,05 and 0,1 have been produced in Poland since 2009. The single function method is dedicated for single function energy meter testers – these popular testers, for example Calport 100, have been manufactured in Poland for 10 years.

**Keywords:** testing of energy meters, testing of instrument current transformers.

**1. Układy półpośrednie i ich testowanie**

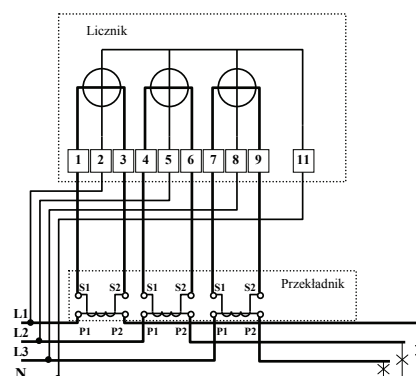
W sieciach niskich napięć, do pomiaru energii elektrycznej, są stosowane dwa rodzaje układów pomiarowych:

- układ bezpośredni, jeżeli napięcia i prądy w sieci są nie większe od wartości dopuszczalnych licznika – liczniki takie są często nazywane licznikami bezpośrednimi,

- układ półpośredni, jeżeli w sieci płyną prądy większe od wartości dopuszczalnych licznika i dlatego są stosowane przekładniki prądowe – liczniki takie są nazywane licznikami półpośrednimi. Rozliczenia między dostawcą energii i jej odbiorcą są wykonywane na podstawie wskazań użytkowych liczników energii bezpośrednich i półpośrednich, dlatego jest sprawdzana dokładność tych liczników. Ponieważ źródłem błędów w pomiarach energii mogą być błędne podłączenia liczników z przekładnikami [1], czynnik ten powinien być uwzględniony w ocenie dokładności systemów pomiarowych stosowanych w rozliczeniach energii elektrycznej.

Sprawdzenie układów bezpośrednich sprowadza się do sprawdzenia dokładności licznika bezpośredniego z zastosowaniem testera liczników, który ma dodatkowe funkcje wyświetlania wskazu wektorowego dla potrzeb weryfikacji poprawności włączenia licznika do sieci. Publikacje o sprawdzaniu układów bezpośrednich [2, 3, 4] prezentują możliwości krajowych testerów liczników jednofazowych (Caltest 10 [5]) i trójfazowych (Calport 100 [6] i Caltest 300 [7]).

Na rys. 1 przedstawiono układ połączeń licznika półpośredniego w sieci czteroprzewodowej. Sprawdzenie takiego układu wymaga sprawdzenia dokładności licznika i przekładnika prądu oraz weryfikacji poprawności połączeń licznika z przekładnikiem. Sprawdzanie układów półpośrednich jest zadaniem trudniejszym z powodu konieczności sprawdzenia dokładności przekładnika.



Rys. 1. Układ półpośredni pomiaru energii  
Fig. 1. Circuit for energy measurement with energy meter and current transformer

Tradycyjne testery liczników energii nie posiadają funkcji trójfazowego testera przekładników prądu. Dopiero najnowsze wielofunkcyjne testery liczników mają dodatkową funkcję testowania przekładni przekładników prądu i ich obciążalności – przykładami krajowych wielofunkcyjnych testerów są Caltest 300 [7] i Calport 100 Plus [8]. W artykule przedstawiono dwie koncepcje sprawdzania układów półpośrednich (rys. 1): jedną z zastosowaniem testerów wielofunkcyjnych (metoda dwufunkcyjna) i drugą z zastosowaniem tylko tradycyjnych testerów liczników energii (metoda jednofunkcyjna).

## 2. Metoda dwufunkcyjna i jednofunkcyjna sprawdzania układu półpośredniego

W pomiarach półpośrednich wskazania licznika są mnożone przez przekładnię przekładnika, zatem wartość energii przyjętej do rozliczeń, dana jest wzorem

$$E_{UPP} = E_L \cdot K_P, \quad (1)$$

gdzie:  $E_L$  – energia wskazana przez licznik,  $K_P$  – znamionowa wartość przekładni przekładnika.

Ponieważ wskazania licznika są obciążone błędem  $\delta_L$  i rzeczywista przekładnia przekładnika jest obciążona błędem  $\delta_P$ , to błąd pomiaru energii w układzie półpośrednim dany jest wzorem

$$\delta E_{UPP} = \delta_L + \delta_P + \delta_L \cdot \delta_P \approx \delta_L + \delta_P. \quad (2)$$

Jeżeli w równaniu (2) uwzględnić składową błędów wynikającą z błędnego podłączenia licznika z przekładnikiem, oznaczoną jako  $\delta_{LP}$ , to równanie błędów przyjmie następującą postać

$$\delta E_{UPP} \approx \delta_L + \delta_P + \delta_{LP}. \quad (3)$$

Z analizy wzoru (3) wynikają dwie metody sprawdzenia dokładności pomiaru energii w układzie półpośrednim.

Pierwsza metoda, nazwana jako metoda dwufunkcyjna, polega na:

- pomiarze błędów  $\delta E_{UPP}$  układu półpośredniego,
- sprawdzeniu warunku (4) dopuszczalnego błędów układu półpośredniego

$$\delta E_{UPP} \leq \delta E_{UPPDOP}, \quad (4)$$

gdzie  $\delta E_{UPPDOP}$  jest dopuszczalnym błędem układu półpośredniego,

- pomiarze błędów  $\delta_L$  licznika,
- sprawdzeniu warunku (5) dopuszczalnego błędów licznika

$$\delta_L \leq \delta_{LDOP}, \quad (5)$$

gdzie  $\delta_{LDOP}$  jest dopuszczalnym błędem licznika,

- pomiarze błędów  $\delta_P$  przekładnika,
- sprawdzeniu warunku (6) dopuszczalnego błędów przekładnika

$$\delta_P \leq \delta_{PDOP}, \quad (6)$$

gdzie  $\delta_{PDOP}$  jest dopuszczalnym błędem przekładnika,

- sprawdzeniu warunku (7) bezbłędnego połączenia licznika z przekładnikiem

$$\delta E_{UPP} \approx \delta_L + \delta_P, \quad (7)$$

dla którego składowa  $\delta_{LP}=0$ . Jeżeli warunek (7) nie jest spełniony, to zachodzi potrzeba weryfikacji poprawności połączeń z zastosowaniem funkcji wyświetlania wskazania wektorowego testera.

Przy stosowaniu metody dwufunkcyjnej, układ półpośredni można uznać za wystarczająco dokładny, jeżeli są spełnione warunki (4), (5), (6) i (7).

Druga metoda, nazwana jako metoda jednofunkcyjna, polega na:

- pomiarze błędów  $\delta E_{UPP}$  układu półpośredniego,
- sprawdzeniu warunku (4),
- pomiarze błędów  $\delta_L$  licznika,
- sprawdzeniu warunku (5),
- sprawdzeniu pośredniego warunku (8) dopuszczalnego błędów przekładnika

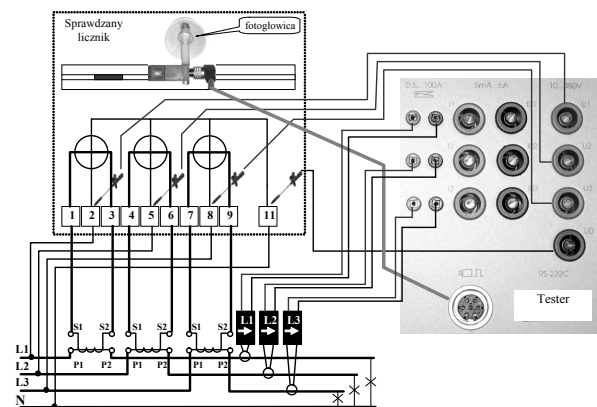
$$\delta E_{UPP} - \delta_L \leq \delta_{PDOP}. \quad (8)$$

Jeżeli warunek (8) nie jest spełniony, to zachodzi potrzeba weryfikacji poprawności połączeń, aby pośrednio ustalić, czy spełniony jest warunek (7) bezbłędnego połączenia licznika z przekładnikiem. Przy stosowaniu metody jednofunkcyjnej, układ

półpośredni można uznać za wystarczająco dokładny, jeżeli są spełnione warunki (4), (5) i (8).

## 3. Pomiar błędów $\delta E_{UPP}$ układu półpośredniego

W układzie półpośrednim przedstawionym na rys. 2 cęgi prądowe testera są napięte na szyny L1, L2 i L3 obwodu pierwotnego dla zmonitorowania całego układu pomiarowego łącznie z przekładnią przekładnika prądu. Chwytki napięciowe łączą wejście napięciowe testera z zaciskami licznika oznaczonymi 2, 5, 8 i 11 połączonymi odpowiednio z szynami L1, L2, L3 i N sieci energetycznej. Fotogłowica podłączona do wejścia impulsowego testera umożliwia automatyczne zliczanie obrotów tarczy licznika.



Rys. 2. Układ do pomiaru błędów układu półpośredniego

Fig. 2. Circuit for error measurement of energy meter and current transformer

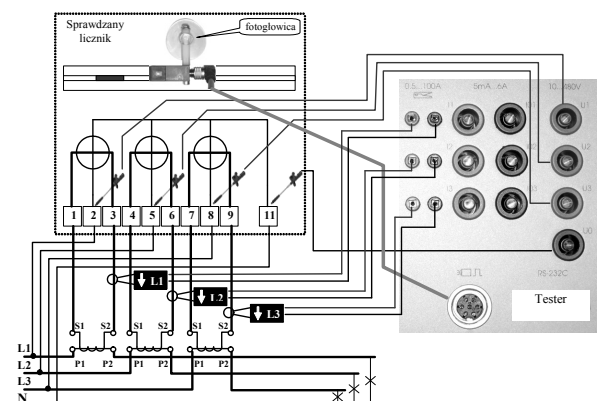
Stała impulsowa licznika o przykładowej wartości  $C_L=4000$  imp/kWh nie ma uwzględnionej przekładni przekładnika. Jeżeli znamionowa wartość przekładni przekładnika ma wartość  $K_P=100A/5A$ , to stała impulsowa układu półpośredniego jest wyliczana ze wzoru

$$C_{UPP} = \frac{E_L}{K_P} = \frac{4000}{100} = 200 [\text{imp} / \text{kWh}], \quad (9)$$

Po wprowadzeniu obliczonej wartości stałej  $C_{UPP}$  i zadaniu liczby impulsów  $N$  lub czasu pomiaru  $T$ , testery automatycznie pokazują wartość błędów  $\delta E_{UPP}$  układu półpośredniego, odświeżaną co  $N$  obrotów tarczy lub z okresem w przybliżeniu równym  $T$ .

## 4. Pomiar błędów $\delta_L$ licznika

Pomiar błędów licznika może być realizowany w układzie przedstawionym na rys. 3, w którym cęgi prądowe testera przepięto na obwody wtórne przekładnika prądu.



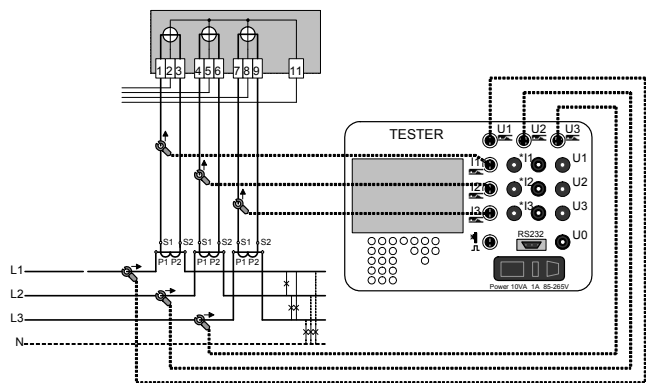
Rys. 3. Układ do pomiaru błędów licznika

Fig. 3. Circuit for error measurement of energy meter

Do testera należy wprowadzić stałą impulsową licznika, w przykładzie  $C_L=4000$  imp/kWh, po czym tester automatycznie pokazuje wartość błędu  $\delta_L$  licznika, odświeżaną co  $N$  obrotów tarczy lub z okresem w przybliżeniu równym  $T$ .

## 5. Pomiar błędu $\delta_P$ przekładnika

Pomiar błędu przekładnika może być realizowany w układzie przedstawionym na rys. 4, w którym trzy cęgi prądowe testera są zapięte na szyny L1, L2 i L3 obwodu pierwotnego i kolejne trzy cęgi prądowe testera są zapięte na obwody wtórne przekładnika prądu. Tester ma sześć wejść prądowych a jego oprogramowanie umożliwia automatyczne obliczanie błędów przekładni przekładnika: błędów prądowych w procentach i błędów kątowych w stopniach.



Rys. 4. Układ do pomiaru błędu przekładnika  
Fig. 4. Circuit for error measurement of current transformer

Jeżeli w poprzednich układach pomiarowych (rys. 2 i 3) może być stosowany tradycyjny tester liczników, to w układzie przedstawionym na rys.4 może być zastosowany tylko wielofunkcyjny tester liczników z dodatkową funkcją testowania przekładni przekładników.

## 6. Analiza porównawcza

Początkowe cztery kroki obu metod, jednofunkcyjnej i dwufunkcyjnej, są jednakowe (tabl. 1) i dla ich realizacji wystarcza korzystanie z tradycyjnego testera liczników. Sprawdzenie układu półpośredniego odbywa się już w drugim kroku przy sprawdzaniu warunku (4) – jeżeli warunek ten jest spełniony, to układ półpośredni, traktowany jako całość, ma wystarczającą dokładność dla danego punktu obciążenia, jaki jest uzyskiwany z obiektu podczas wykonywania pomiaru. Jeżeli jednak warunek (4) nie jest spełniony w zadawalającym stopniu, to w trzecim i czwartym kroku rozstrzyga się, jaka część błędu układu półpośredniego jest wnoszona przez licznik. Jeżeli warunek (5) nie jest spełniony, to należy wymienić licznik.

Tab. 1. Zestawienie metod sprawdzania układów półpośrednich  
Tab. 1. Methods for checking a circuit with energy meter and current transformer

Krok	Metoda		Wymagany tester
	dwufunkcyjna	jednofunkcyjna	
1	Pomiar $\delta E_{LPP}$	Pomiar $\delta E_{LPP}$	liczników
2	Warunek (4)	Warunek (4)	-
3	Pomiar $\delta_L$	Pomiar $\delta_L$	liczników
4	Warunek (5)	Warunek (5)	-
5	Pomiar $\delta_P$	-	przekładników
6	Warunek (6)	Warunek (8)	-
7	Warunek (7)	-	-

Najbardziej złożony jest przypadek, gdy warunek (4) nie jest spełniony przy spełnieniu warunku (5). Oznacza to, albo zbyt duży błąd przekładnika, albo błędne połączenie przekładnika z licznikiem – rozstrzygnięcie tego następuje w krokach nr 5, 6 i 7 przy stosowaniu metody dwufunkcyjnej. Spełnienie warunku (6) potwierdza wystar-

czająca dokładność przekładnika a spełnienie warunku (7) potwierdza bezbłędne podłączenie licznika z przekładnikiem – ale uzyskanie tej wiedzy wymaga stosowania testera przekładników.

W przypadku braku dostępu do testera przekładników jest możliwe zastosowanie metody jednofunkcyjnej, która w kroku nr 6 wymaga sprawdzenia warunku (8), nazwanego jako pośredni warunek dopuszczalnego błędu przekładnika. Na podstawie tego warunku można tylko pośrednio oceniać stopień spełnienia wymagań dokładnościowych przez przekładnik, przy czym ocena ta jest obciążona sumą błędów układu półpośredniego i licznika, zatem jest ona przydatna do zgrubnej oceny dokładności przekładnika i w większości przypadków powinna być wystarczająca.

Jeżeli między licznikiem i przekładnikiem jest błędne połączenie skutkujące błędnym pomiarem energii, to nie są spełnione warunki (7) w metodzie dwufunkcyjnej i (8) w metodzie jednofunkcyjnej. W takim przypadku zachodzi potrzeba identyfikacji błędnego połączenia z zastosowaniem funkcji wyświetlania wskaźników wektorowych testera i następnie wykonania poprawnego połączenia licznika z przekładnikiem.

## 7. Podsumowanie

Sprawdzanie układów półpośrednich jest trudniejsze niż układów bezpośrednich z uwagi na to, że oprócz licznika energii zawierają przekładnik prądu i połączenia między licznikiem i przekładnikiem a błędne połączenia lub uszkodzony przekładnik wpływają na błąd półpośredniego pomiaru energii.

Zastosowanie metody dwufunkcyjnej umożliwia sprawdzanie dokładności układów półpośrednich i pełną diagnozę przyczyn ewentualnego przekroczenia dopuszczalnych błędów. Możliwości takie dają wielofunkcyjne testery liczników energii z dodatkową funkcją testowania przekładników. W kraju dopiero w ubiegłym roku uruchomiono produkcję takich testerów (Calport 100 Plus klas 0,1 i 0,2 czy Caltest 300 klas 0,05 i 0,1) i z tego powodu stosowanie perspektywicznej metody dwufunkcyjnej ma aktualnie ograniczony zasięg.

Ponieważ w kraju jest użytkowanych dużo tradycyjnych testerów liczników energii, zaproponowano metodę jednofunkcyjną sprawdzania układów półpośrednich. Istota tej metody polega na tym, że o ewentualnym błędzie wnoszonym przez przekładnik prądu sędzi się na podstawie różnicy błędu układu półpośredniego i błędu licznika – do pomiaru tych błędów są dedykowane tradycyjne testery liczników jak Calport 100. Metoda jednofunkcyjna jest szczególnie skuteczna przy identyfikacji dużych błędów o wartościach przekraczających sumę dopuszczalnego błędu układu półpośredniego i licznika.

## 8. Literatura

- [1] Kuśmierk Z., Pomiary mocy i energii w układach elektroenergetycznych. Warszawa: WNT. 1994.
- [2] Olencki A., Urbański K., Szmytkiewicz J., Testowanie jednofazowych liczników u użytkownika, Elektroinfo, nr 7-8, ss.88-89, 2008.
- [3] Olencki A., Urbański K., Szmytkiewicz J., Testowanie liczników energii, Elektroinfo, nr 9, ss.120-121, 2006.
- [4] Olencki A., Urbański K., Szmytkiewicz J., Testowanie liczników energii z funkcją monitorowania jakości energii elektrycznej, Elektroinfo, nr 11, ss.37, 2008.
- [5] Tester liczników energii i miernik parametrów sieci energetycznej Caltest 10, www.calmet.com.pl/PDF/Caltest10 katalog.pdf
- [6] Olencki A., Urbański K., Analizator Calport 100 – nowy trend w diagnostyce i eksploatacji sieci energetycznych, II Konferencja Naukowo-Techniczna "Diagnostyka w sieciach elektroenergetycznych zakładów przemysłowych", Płock, ss.3-10, 2001.
- [7] Trójfazowy analizator sieci i tester liczników energii Caltest 300, www.calmet.com.pl/PDF/Caltest300 katalog.pdf.
- [8] Three Phase Power Network Analyser and Energy Meter tester type Calport 100 Plus, user's manual, Calmet, Zielona Góra, 2009.