

Artur SKÓRKOWSKI, Anna PIASKOWY
Politechnika Śląska
Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki

ANALIZA POPRAWNOŚCI WSKAZAŃ ELEKTRONICZNYCH LICZNIKÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ

W artykule przedstawiono wyniki analizy wpływu odkształconych przebiegów prądu na wskazania elektronicznych liczników energii elektrycznej oraz wskazania liczników elektromechanicznych. Badania przeprowadzono dla różnych poziomów odkształceń prądu oraz różnych wartości tego prądu.

Słowa kluczowe: liczniki energii elektrycznej, odkształcone przebiegi prądów, współczynnik THD.

ANALYSIS OF THE ACCURACY INDICATIONS ELECTRONIC ENERGY METERS

The essential part of the work is analysis influence of current distortion on indications of electronic energy meters and electromechanical energy meters. The tests were done for different levels of current distortion and different values of this current.

Keywords: energy meters, current distortion, THD factor.

1. WSTĘP

Współczesne liczniki energii elektrycznej przeznaczone są do pomiaru energii czynnej i biernej pobieranej przez różne odbiorniki. Wśród tych odbiorników coraz większy jest udział odbiorników nieliniowych, które wprowadzają silne odkształcenia prądu. Ze względów ekonomicznych istotne jest określenie jak silnie odkształcenia prądu odbiornika wpływają na poprawność działania urządzeń pomiarowych i komunikacyjnych stosowanych w systemach Smart Grid [1]. Próby odpowiedzi na powyższe pytanie można szukać zarówno w teorii mocy jak również wykonując odpowiednie badania.

W ramach prac badawczych wykonana została m.in. analiza wpływu odkształconych przebiegów prądu na wskazania liczników energii typu Smart oraz wskazania liczników elektromechanicznych. Wykonane badania dotyczyły oddziaływań wybranych nieliniowych odbiorników na urządzenia pomiarowe stosowane w systemach Smart Grid [2]. Określono wpływ poziomu odkształceń prądu (THD) oraz jego wartości (różne obciążenie) na błędy wskazań różnych liczników energii elektrycznej.

2. POMIAR ENERGII ELEKTRYCZNEJ DLA ODBIORNIKÓW NIELINIOWYCH

Gdy napięcie zasilające jest sinusoidalne, natomiast przebieg prądu będzie odkształcony ze względu na nieliniowy charakter odbiornika moc chwilową $p(t)$ można wyrazić zależnością:

$$p(t) = UI_1 \cos(\varphi_1) (1 - \cos(2\omega t)) - UI_1 \sin(\varphi_1) \sin(2\omega t) + \sum_{n=2}^{\infty} 2UI_n \sin(\omega t) \sin(n\omega t - \varphi_n) \quad (1)$$

gdzie: n – rząd harmonicznej, I_n – wartość skuteczna n -tej harmonicznej prądu $i(t)$, φ_n – kąt przesunięcia fazowego między napięciem i prądem dla n -tej harmonicznej.

W równaniu (1) została wyodrębniona składowa mocy o częstotliwości podstawowej ($n = 1$) oraz składowe związane z odkształceniami prądu ($n \geq 2$).

Moc pozorną można zatem opisać równaniem:

$$S = UI = U \sqrt{I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} \quad (2)$$

natomiast równanie mocy przyjmuje postać:

$$\begin{aligned} S^2 &= U^2 I^2 = U^2 I_1^2 + U^2 \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 = \\ &= S_1^2 + H^2 = P_1^2 + Q_1^2 + H^2 = P_1^2 + D^2 \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie również można wyodrębnić składowe mocy o częstotliwości podstawowej: P_1 – moc czynna pierwszej harmonicznej, Q_1 – moc bierna pierwszej harmonicznej, oraz składowe związane z odkształceniami: H – moc odkształcenia, D – moc dystorsji.

$$H = \sqrt{U^2 \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}, \quad (4)$$

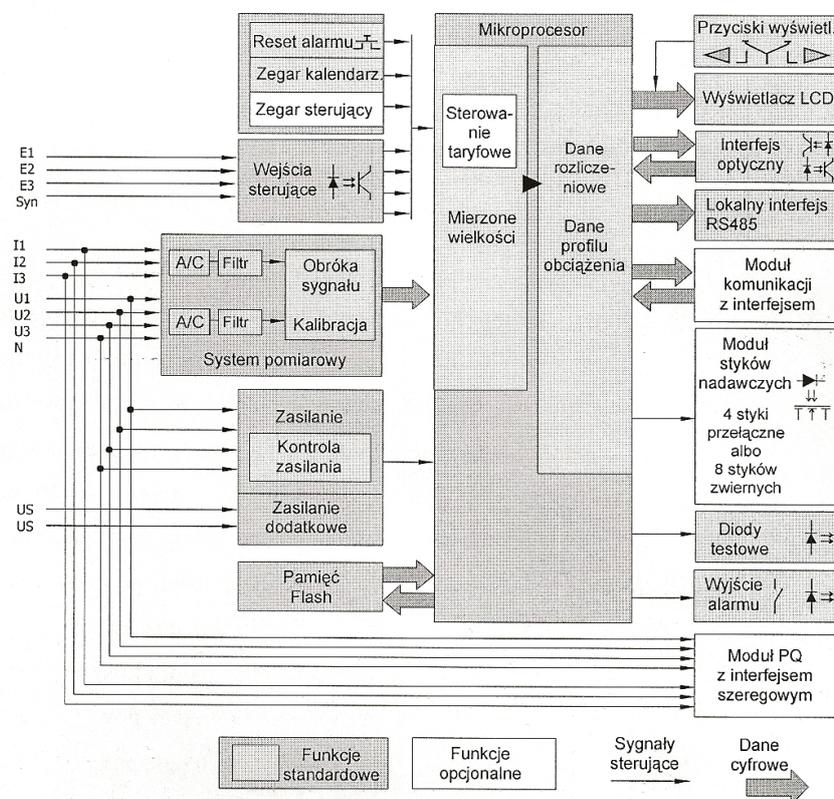
$$D = \sqrt{Q_1^2 + H^2}, \quad (5)$$

Dla określenia zawartości harmoniczych w odkształconym przebiegu prądu definiuje się współczynnik THD (Total Harmonic Distortion):

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}, \quad (6)$$

Podstawowe funkcje licznika elektronicznego są takie same jak licznika indukcyjnego, tj. pomiar energii czynnej i biernej, ale funkcje te są realizowane za pomocą innej techniki (rys. 1) niż w licznikach indukcyjnych. Sygnały analogowe przemienne doprowadzone do głównych wejść licznika energii są przetwarzane za pomocą przetworników A/C na postać cyfrową, czyli na ciągi skwantowanych próbek. Dalsze przetwarzanie odbywa się za pomocą algorytmów opracowanych przez producenta i stanowiących jego tajemnicę. Algorytmy te są oparte na współczesnych osiągnięciach teorii mocy czynnej i biernej. Obliczane są chwilowe wartości mocy czynnej i biernej, które następnie są całkowane w określonych przedziałach czasu. Przetwarzanie jest prowadzone tak, aby wskazania energii czynnej i biernej uwzględniały także wyższe harmoniczne o określonym paśmie, zawarte w przebiegach wejściowych. Należy zaznaczyć, że istnieje wiele różnych rozwiązań technicznych liczników elektronicznych, różniących się nie tylko szczegółami konstrukcyjnymi, ale także zasadniczymi algorytmami przetwarzania sygnałów. Skutkiem takiego stanu mogą być zarówno różne dodatkowe funkcje, jak i różne podstawowe właściwości metrologiczne, tj. różne źródła błędów, których użytkownik licznika nie może sam zidentyfikować. Jest to duże utrudnienie dla praktyków, ponieważ każdy typ licznika elektronicznego może zachowywać się w podobnych warunkach inaczej.

Może mieć nie tylko różne wartości błędów, ale przede wszystkim różną wrażliwość na warunki pracy, różną odporność na zaburzenia zewnętrzne i sieciowe.



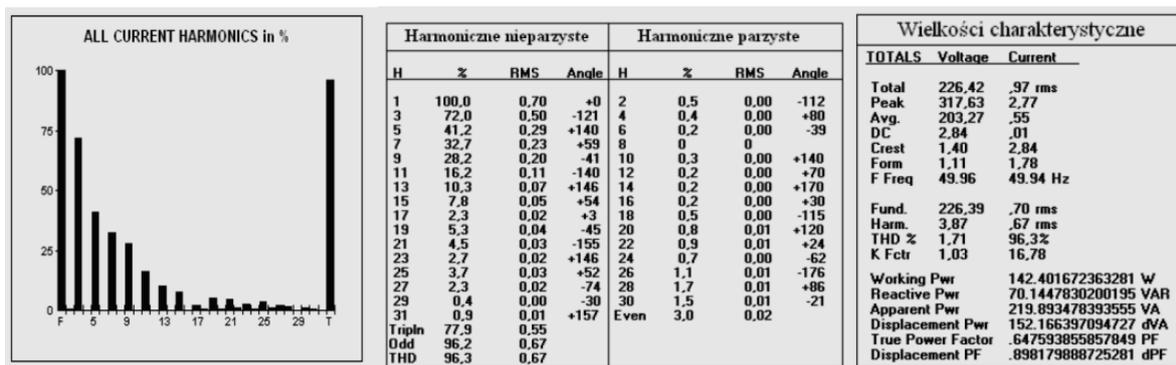
Rys. 1. Schemat blokowy trójfazowego licznika elektronicznego energii czynnej i biernej

Pozostaje zatem wątpliwość, czy licznik energii, który rejestruje moc czynną i bierną zgodnie ze znanymi teoriami mocy, uwzględni i w jakim stopniu ($n = ?$) moc odkształcenia H lub dystorsji D . Dla wyjaśnienia tej wątpliwości postanowiono przeprowadzić eksperymenty pomiarowe.

3. WYNIKI BADAŃ WSKAZAŃ WYBRANYCH LICZNIKÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ

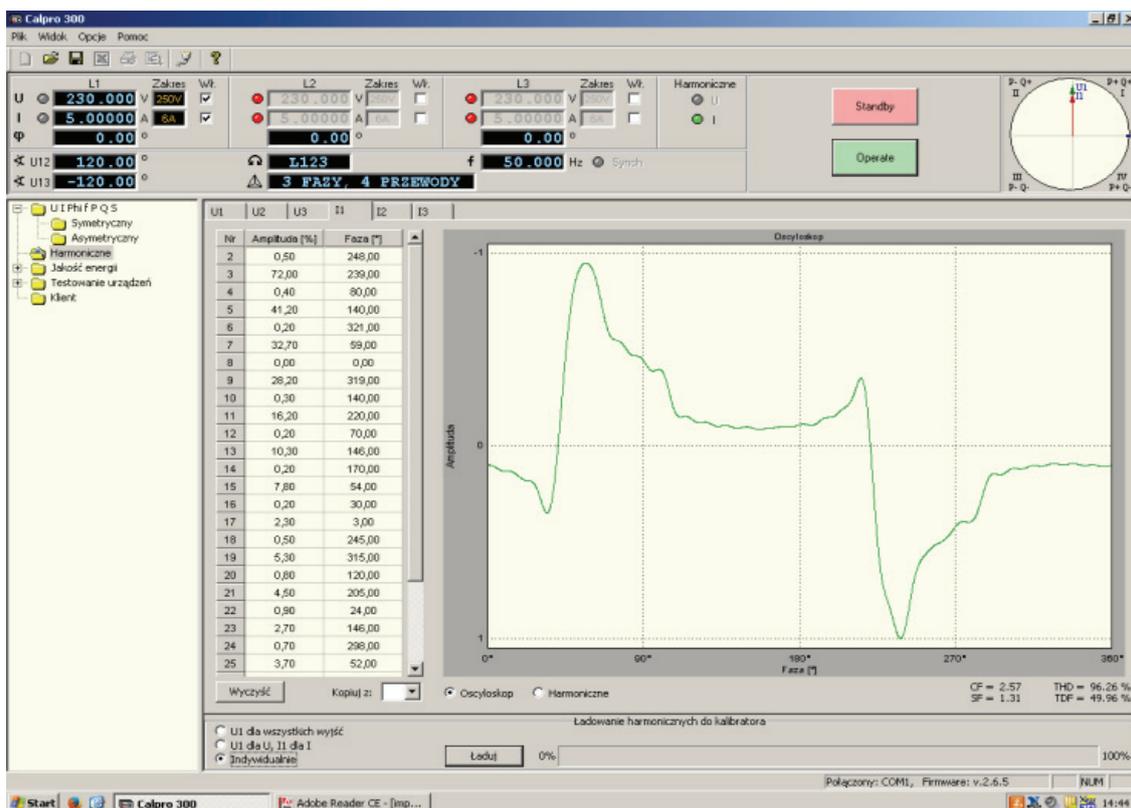
Dla przeprowadzenia analizy wpływu odkształconych przebiegów prądu na wskazania liczników energii wybrano odbiorniki powszechnie stosowane, które cechują się różnymi charakterystykami widmowymi i bardzo różnymi współczynnikami zawartości harmonicznych THD . Takimi odbiornikami energii są m.in. wyładowcze źródła światła. Ze względu na mnogość wyładowczych urządzeń oświetleniowych oraz układów stabilizacyjno-zapłonowych, które z nimi współpracują, postanowiono w układzie pomiarowym zastąpić analizowane odbiorniki przez kalibrator CALPRO C300, za pomocą którego zasilano obwody prądowe i napięciowe badanych liczników.

Charakterystyczne odkształcenia prądów lamp wyładowczych były zadawane dzięki oprogramowaniu komputerowemu współpracującemu z wspomnianym kalibratorem. Odpowiednie charakterystyki widmowe (rys. 2) były podstawą do generacji odkształconych przebiegów prądu [3]. Taka metoda pozwala przeprowadzić badania gdy nie ma fizycznie obiektów badań a jest znany ich wpływ na odkształcenia prądu (charakterystyki widmowe).



Rys. 2. Przykładowa charakterystyka widmowa lampy wyładowczej

Odskształcone przebiegi prądu były doprowadzane do wejść prądowych różnych typów liczników energii: elektromechanicznych (indukcyjnych) oraz elektronicznych typu Smart. Przebiegi generowane były programowo przez podanie zawartości poszczególnych harmonicznych oraz zależności fazowych (rys. 3).



Rys. 3. Przykładowa charakterystyka odskształconego prądu generowana programowo

Podczas badań określono błędy wskazań badanych liczników dla różnych charakterystyk widmowych prądów odbiorników przy wartości współczynnika THD zmieniającej się w zakresie 0 ... 96,26% (tab. 1). Badania były poprzedzone wyznaczeniem błędów wskazań liczników przy obciążeniu odbiornikiem liniowym (prąd sinusoidalny). Następnie analizowano jak wpływa odskształcenie prądu wywołanego przez różne odbiorniki nieliniowe na błąd przy obciążeniach 10%, 100%, 400% prądu bazowego I_b oraz w zakresie 0 ... 10% tego prądu (tab. 2).

Tabela 1

Przykładowe wyniki badań wpływu odkształconych przebiegów prądu na wskazania liczników energii elektrycznej obciążonych prądem I_b

Odbiornik	THD, %	Błąd licznika indukcyjnego, %	Błąd licznika elektron., %
odbiornik liniowy	0,00	0,14	-0,04
światłówka kompaktowa (statecznik elektron.)	96,26	1,63	-2,46
światłówka kompaktowa (statecznik indukcyjny)	14,21	0,25	0,67
lampa rtęciowa wysokoprężna (stat. ind.)	33,44	0,69	0,21
lampa sodowa wysokoprężna	36,14	0,74	0,08
światłówka liniowa (statecznik regulowany)	21,46	0,48	-0,07

Tabela 2

Przykładowe wyniki badań wpływu odkształconych przebiegów prądu ($THD \approx 96\%$) na wskazania elektronicznego licznika energii elektrycznej

Prąd obciążenia	P (prąd sin.), W	P (prąd odksz.), W	Błąd licznika (prąd sin.), %	Błąd licznika (prąd odksz.), %
$4 I_b (\cos\varphi = 1)$	4600	3314,12	-0,05	0,20
$I_b (\cos\varphi = 0,5)$	575	414,26	0,28	2,15
$I_b (\cos\varphi = 1)$	1150	828,53	-0,05	-2,04
$0,1 I_b (\cos\varphi = 1)$	115	82,85	-0,11	36,81
$0,09 I_b (\cos\varphi = 1)$	103	74,57	-0,12	51,15
$0,08 I_b (\cos\varphi = 1)$	92	66,28	-0,13	57,93

Szczególnie zaskakujące wyniki (błędy wskazań rzędu kilkudziesięciu %) uzyskano przy wyznaczaniu błędów wskazań elektronicznych liczników energii elektrycznej przy obciążeniu nieliniowymi odbiornikami w zakresie 0 ... 10% prądu bazowego licznika.

4. WNIOSKI

„Naukowcy z uniwersytetów w Amsterdamie i Enschede ... wykazali, że wszystkie nowoczesne, homologowane liczniki wykazują błędne odczyty, gdy mają do czynienia z urządzeniami energooszczędnymi [4].”

W trakcie przeprowadzanych badań zauważono że elektroniczne liczniki energii elektrycznej pozytywnie przechodzą testy odporności na silne pole magnetyczne, wysoką temperaturę, testy ESD oraz EMC.

Błędy wskazań liczników energii elektrycznej wywołane odkształceniami prądów odbiornika o $THD < 50\%$ najczęściej mieszczą się w dopuszczalnych granicach niepewności.

Natomiast błędy wskazań elektronicznych liczników energii elektrycznej wywołane odkształceniami prądów odbiornika przy małych prądach obciążenia (poniżej 10% prądu bazowego

licznika energii) bardzo często znacząco przekraczają dopuszczalne wartości (licznik rejestruje zbyt duże wartości pobranej energii). Celowe wydaje się prowadzenie badań w kierunku oszacowania strat zarówno dostawcy jak i odbiorcy energii w zależności od profilu poboru energii. Można również rozważyć czy obecna procedura wzorcowania liczników energii elektrycznej w sposób obiektywny weryfikuje błędy wskazań współczesnych liczników elektronicznych.

LITERATURA

1. Plackowski K.: Instrumenty prawne międzynarodowe i rekomendacje w dziedzinie Smart Grid, Materiały IX Konferencji Naukowo-Technicznej PPM'12, Krynica-Zdrój 2012.
2. Komisja Europejska: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów: Inteligentne sieci energetyczne: od innowacji do wdrożenia, KOM(2011) 202 Bruksela, 12.4.2011 r.
3. Czapp S.: Odształcenie prądu pobieranego przez urządzenia oświetleniowe i jego wpływ na instalację zasilającą. Acta Energetica 2009, nr 01, s. 25-40.
4. Money.pl: Błędne wskazania liczników prądu. Główny Urząd Miar przyznaje, że problem nie jest wydumany, <https://www.money.pl/gospodarka/wiadomosci/artukul/rachunki-energie-elektryczna-liczniki,14,0,2304014.html>