

Jerzy SZUTKOWSKI

Główny Urząd Miar

Samodzielne Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu

WPLYW DIODOWYCH ŻARÓWEK LED NA BŁĘDY POMIARU ENERGII ELEKTRYCZNEJ CZYNNEJ. CZY DOMOWE LICZNIKI ENERGII PRZEKŁAMUJĄ POD WPLYWEM OBCIĄŻENIA ŻARÓWKAMI LED- JAKA JEST PRAWDA

W wyniku badania jakie przeprowadzili naukowcy z Uniwersytetu Twente z Enschede oraz Uniwersytetu Nauk stosowanych z Amsterdamu wykazano, że nowoczesne elektroniczne liczniki energii elektrycznej, pomimo właściwych homologacji, pokazywały błędne odczyty pod wpływem obciążenia jakim były diodowe żarówki LED. W GUM zostały przeprowadzone podobne badania liczników energii elektrycznej. W przedstawionym referacie zaprezentowano opis przebiegu badania, uzyskane wyniki oraz wnioski z których wynika, że tezy o bardzo wysokich przekłamaniach liczników są dyskusyjne.

Słowa kluczowe: licznik energii elektrycznej, żarówki LED, zniekształcenia nieliniowe

EFFECT OF LED BULBS ON THE ENERGY METERS ERRORS. WHETHER ENERGY METERS OVERSTATE THE ENERGY MEASUREMENT UNDER THE LOAD OF LED BULBS WHAT IS THE TRUTH

As a result of the research conducted by scientists from the University of Twente in Enschede and the University of Applied Sciences from Amsterdam, it was shown that electricity meters, despite the appropriate approvals, showed incorrect readings under the influence of the load of LED lamps. Similar tests of electricity meters with LED lighting have been carried out at GUM. The presented paper presents a description of the course of the study, obtained results and conclusions from which it follows that theses with very high error of meters are debatable.

Keywords: electricity meter, LED bulbs, nonlinear distortion

1. WSTĘP

Po ukazaniu się w dzienniku „Electromagnetic Compatibility Magazine” [1] artykułu trzech naukowców z uniwersytetów w Amsterdamie i Enschede, w którym zamieszczono wyniki przeprowadzonych testów potwierdzających, że cyfrowe liczniki energii elektrycznej pod wpływem obciążenia żarówkami LED, wykazują nawet kilkaset procentowe błędy pomiaru pobieranej energii elektrycznej, natychmiast pojawiły się burzliwe artykuły w prasie krajowej. W różnych gazetach pojawiły się informacje na temat, jak to nowoczesne inteligentne liczniki energii zawyżają pomiary energii a obywatele będą musieli płacić wyższe rachunki za prąd. Naukowcy z Universiteit Twente przebadali dziewięć modeli cyfrowych liczników energii elektrycznej wyprodukowanych w latach 2004 - 2014. Wszystkie badane liczniki posiadały certyfikację. Test polegał na podłączeniu do wszystkich badanych liczników tych samych odbiorników, którymi były nagrzewnica lub żarówki LED. W badaniu jako referencyjnego wzorca odniesienia użyto klasycznego licznika indukcyjnego.

Wyniki okazały się co najmniej zaskakujące. W wyniku eksperymentu jaki przeprowadzono na uniwersytecie Twente wykazano, że wszystkie sprawdzane liczniki, pomimo właściwych homologacji,

pokazywały błędne odczyty pod wpływem obciążenia jakim było oświetlenie ze źródeł diodowych żarówek LED. Okazało się, że siedem z badanych liczników wskazało dużo wyższe zużycie energii niż w rzeczywistości, rekord wyniósł 582 %, natomiast dwa liczniki zaniżyły wynik o 30 %.

Większość badanych liczników znacznie zawyżało ilość zużytej energii elektrycznej. Naukowcy którzy przeprowadzili badania ustalili, że liczniki w których jako przetwornik prądowy zastosowano cewkę Rogowskiego zawyżają zużywaną energię, natomiast liczniki w których zastosowano hallotron jako przetwornik pomiarowy, zaniżały pobór energii. Czy wyniki eksperymentu oznaczają, że będziemy płacili tak drastycznie zawyżone rachunki za prąd?

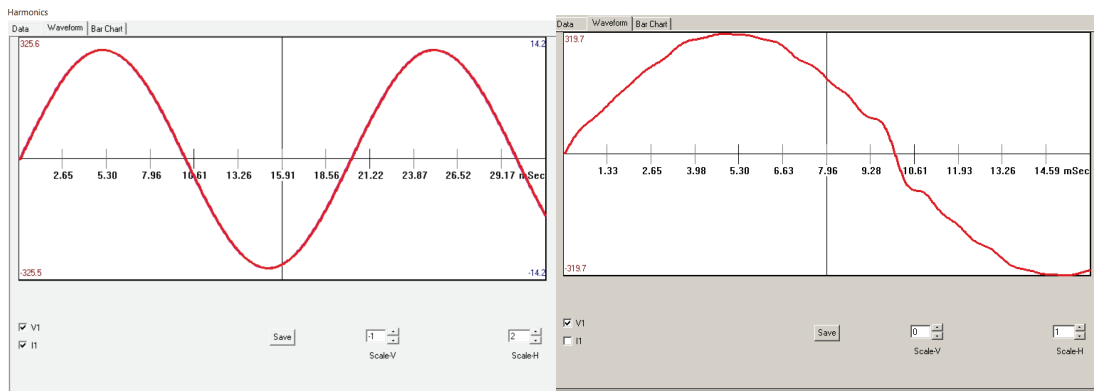
2. BADANIA w GUM

Badania liczników energii elektrycznej jakie były przeprowadzone w Holandii, w laboratorium w GUM zostały przeprowadzone również podobne badania. Obciążenie dla badanych liczników stanowiło 30 żarówek LED o mocy 9 W każda. Żarówki LED są odbiornikami energii, które wprowadzają do sieci zasilającej bardzo duże zniekształcenia nieliniowe. Dla porównania błędów pomiaru energii, badane liczniki były sprawdzane również przy obciążeniu liniowym. Obciążenie liniowe stanowiły żarówki żarowe o łącznej mocy 300 W, adekwatnej mocy do obciążenia żarówkami LED. W układzie pomiarowym podłączane było urządzenie żarowe, jako obciążenie liniowe dla wykazania jak dołączone obciążenie o charakterze liniowym zmniejsza błędy pomiaru energii. Jako referencyjny przyrząd pomiarowy został zastosowany wzorcowy licznik wysokiej klasy dokładności typ RD-22 firmy Radian, w przeciwieństwie do eksperymentu holenderskiego, gdzie jako przyrząd referencyjny użyto zwykłego użytkowego licznika elektromechanicznego (indukcyjnego).

W obwodzie pomiarowym został dodatkowo podłączony analogowy watomierz wskazówkowy. Watomierz spełniał dodatkową rolę kontrolną mierzonej mocy w układzie. Jako źródło zasilania zastosowano programowalny zasilacz typ AC Power Supply PCR 1000L firmy KIKUSUI, za pomocą którego można zaprogramować sygnały arbitralne złożone z poszczególnych składowych harmonicznych. W pierwszej fazie badań, jako odniesienie zastosowany został sygnał sinusoidalny o bardzo małych zniekształceniach nieliniowych i o wartości skutecznej 230 V. Drugim sygnałem jaki był zastosowany podczas badań, był to sygnał zniekształcony, jaki jest dopuszczalny w sieci energetycznej. Został on złożony z harmonicznych, jakie są dopuszczone (co do rzędu harmonicznej jak i jej procentowego udziału), które są określone w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 20 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączania podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci. Układ pomiarowy jaki był zastosowany do badań przedstawia rysunek rys. 1. Przebiegi czasowe sygnałów zasilania przedstawione są na rysunku rys. 2.



Rys. 1. Układ pomiarowy



Sygnał nr 1. Sinusoidalny

Sygnał nr 2. Zniekształcony

Rys. 2. Kształt napięć zasilających

Żarówki LED jako źródła światła, ze względu na mały pobór energii, cieszą się dużą popularnością i są powszechnie stosowane w naszych mieszkaniach, miejscach użyteczności publicznej a także do oświetlenia ulic. Wadą oświetlenia LED jest wprowadzanie do sieci energetycznej bardzo dużych zniekształceń ze względu na nieliniową charakterystykę jaką posiada żarówka LED. Zniekształcenia wprowadzane do sieci energetycznej przez elektryczne żarówki LED należy kompensować. W domowych warunkach w dużej mierze zniekształcenia te niwelowane będą, gdy będzie jednocześnie załączone obciążenie o charakterze linowym (np. żarówki żarowe, czajniki, pogrzewacze, żelazka i inne). Zniekształcenia te charakteryzuje rysunek rys. 3.

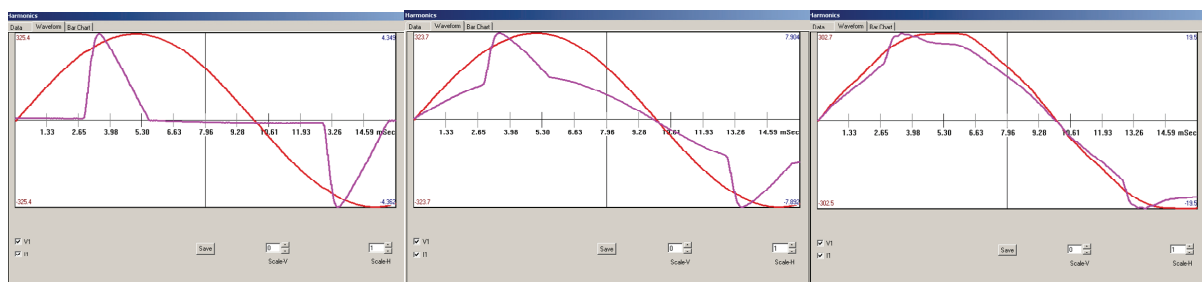


Diagram 1

Diagram 2

Diagram 3

Rys. 3. Zniekształcenia sygnału prądowego

Diagram 1 na rys. 3. ilustruje zniekształcenia sygnału prądowego przez żarówki LED. Diagramy 2 3, ilustrują jaka jest poprawa kształtu sygnału poprzez dołączenie rezystancyjnych urządzeń domowych o liniowej charakterystyce obciążenia.

4. WYNIKI POMIARÓW

Pomiary zostały wykonane przy pomocy układu pomiarowego i zestawu przyrządów, który został przedstawiony na rysunku Rys. 1. W pierwszej fazie badań, wyznaczono błędy pomiaru energii badanych liczników dla obciążenia tylko żarówkami żarowymi. Następnie wyznaczono błędy przy obciążeniu wyłącznie żarówkami LED. Kolejną serię pomiarów i wyznaczenie błędów badanych liczników przeprowadzono dla obciążenia mieszanego, żarówki LED z żarówkami żarowymi.

Zastosowany referencyjny wzorzec RD-22, jest przyrządem, który wykonuje pomiary symultanicznie kilku wielkości elektrycznych. Możliwe zatem było, oprócz wyznaczenia błędów pomiarów energii badanych liczników, zmierzyć również współczynniki zniekształceń *THD* dla poszczególnych rodzajów obciążeń.

Tabela 1

Zestawienie wyników pomiarowych dla sygnału bez harmonicznych

Typ obciążenia /sygnału	<i>THD</i> %	RD-22					Watomierz	Induk	Ele 1	Ele 2	Ele 3
		Napięcie	Prąd	P	Q	S	P	Błąd	Błąd	Błąd	Błąd
		V	A	W	var	VA	W	%	%	%	%
Żarowe	U=0,046, I=0,49	229,07	3,17	725,05	-3,20	725,06	725,00	0,45	1,39	0,82	1,11
LED	U=5,024, I=78,9	229,95	1,42	194,02	-84,42	328,34	193,00	-0,50	4,12	2,89	3,85
LED z Żarowymi	U=5,02, I=28,6	228,68	4,17	915,65	-87,76	953,68	950,00	0,46	1,32	0,72	1,11

Tabela 2

Zestawienie wyników pomiarowych dla zniekształconego sygnału zasilania

Typ obciążenia /sygnału	<i>THD</i> %	RD-22					Watomierz	Induk	Ele 1	Ele 2	Ele 3
		Napięcie	Prąd	P	Q	S	P	Błąd	Błąd	Błąd	Błąd
		V	A	W	var	VA	W	%	%	%	%
Żarowe	I=4,98, U=5,00	229,36	3,17	727,02	-3,26	727,04	730,00	0,53	1,36	0,80	1,03
LED	U=5,024, I=78,9	230,26	1,53	195,36	-94,27	351,38	195	-0,56	4,04	2,88	3,84
LED z Żarowymi	U=5,02, I=28,6	229,03	4,22	921,03	-98,85	967,29	920,00	0,59	1,24	0,71	1,08

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że licznik indukcyjny przy obciążeniu żarówkami LED wykazywał również znaczące błędy. Dla obciążenia żarówkami żarowymi, wartości błędów były w granicach + 0,5 %, natomiast przy obciążeniu żarówkami LED błędy były ujemne, a ich wartości były w granicach – 0,5 %. Jak widać licznik indukcyjny zmienił swoje błędy o 100 %. Uzyskane rezultaty potwierdzają tezę, że liczniki w których stosowana jest cewka Rogowskiego jako przetwornik prądowy zawyżają pobraną energię, a liczniki z przetwornikami hallotronowym pobrana energię zaniżają. Rezultaty badań potwierdzają mankamenty obu tych przetworników prądowych w stosunku do przetworników jakimi są boczniki prądowe czy przetworniki przekładnikowe. Cewka Rogowskiego jako przetwornik prądowy daje pozytywne wyniki pomiaru energii, ale tylko w odniesieniu do przebiegów sinusoidalnych. Współczynnik przekształcenia cewki Rogowskiego dla przebiegów odkształconych jest większy od współczynnika przekształcenia dla przebiegów sinusoidalnych, nieodkształconych.

Ponadto współczynnik ten jest silnie uzależniony do wielkości odkształcenia sygnału, czyli od zawartości wyższych harmonicznych. Szczególnie zawyżane są wartości skuteczne trzeciej i piątej harmonicznej. Cewki Rogowskiego cechuje również mała czułość dla małych sygnałów. Ze względu na brak magnetowodu, są one również podatne na wpływy zewnętrznych pól elektromagnetycznych, wymagają więc skutecznego ekranowania. Stwarza to dodatkowe problemy, szczególnie dla cewek o małych gabarytach.

Wadą czujników prądu wykorzystujących hallotrony jest ich zależność czułości od temperatury. Jest to poważny mankament, szczególnie gdy chcemy mierzyć energie przy dużych prądach. Przetworniki te są również mało czułe dla małych prądów. Mają też ograniczone pasmo przetwarzania sygnałów. Wpływa to na dokładność pomiarów prądów w sytuacji, gdy prąd ma mocno odkształcony charakter. Dość znaczna liczba sygnałów harmonicznnych występujących w sygnale prądowym nie będzie przetwarzana.

Odrębnym problemem jest moc bierna, która powszechnie występuje we współczesnych urządzeniach elektrotechnicznych. Dotyczy to również żarówek LED. Diody LED wymagają zasilania niskim i dobrze stabilizowanym napięciem, które powinien zapewnić dobrej jakości zasilacz. O jakości urządzenia elektrycznego świadczy współczynnik mocy $\cos\phi$. Dobre urządzenie elektryczne nie psuje znacząco współczynnika mocy. Im wyższy współczynnik mocy, tym wyższa jest klasa urządzenia. Współczynnik mocy mówi nam również o mocy biernej jaką pobiera dane urządzenie. Żarówki LED w tym względzie nie są to urządzenia wysokiej klasy, szczególnie niektóre o niskiej cenie.

5. ZAKOŃCZENIE I WNIOSKI

W przedstawionym referacie zaprezentowano przebieg badania, którego celem było wyznaczenie błędów elektronicznych nowoczesnych inteligentnych liczników do pomiaru energii czynnej tak zwanych liczników „Smart” i porównanie ich z błędami wyznaczonymi dla liczników indukcyjnych dla tych samych obciążeń. Badania przeprowadzono dla trzech liczników elektronicznych i dwóch różnych liczników indukcyjnych. Badania wydają się bardzo być zbliżone co do metody do badań holenderskich lecz nie zupełnie takie same.

Badania przeprowadzone w GUM wydaje się, że zostały przeprowadzone rzetelniej. Przede wszystkim wykonano je przy pomocy znacznie lepszego wzorca referencyjnego jakim jest wzorcowy licznik RD-22 uznawany za jeden z najlepszych przyrządów do pomiaru energii. Jak wcześniej wspomniano, wartość błędów badanych liczników wyznaczono dla dwóch napięć zasilających.

W tabeli 1 zamieszczone są wyniki dla zasilania napięciem bez żadnych zniekształceń, brak harmonicznnych. W tabeli 2 zamieszono wyniki przy zasilaniu żarówek napięciem zniekształconym o malej zawartości harmonicznnych takiej, jakie zostały określone w rozporządzeniu [5]. Jak można zauważyć, wyniki niewiele się różnią. Zasilanie napięciem o dopuszczalnych prawem zniekształceniach nie wpływają znacząco na błędy liczników energii. Natomiast uzyskane wyniki wykazały, że indukcyjne liczniki energii czynnej dla obciążeń nieliniowych (obciążenie tylko samymi żarówkami LED), wykazują również znaczące błędy.

Pod wpływem obciążenia samymi żarówkami LED, liczniki elektroniczne zwiększyły swoje błędy kilkakrotnie, natomiast liczniki indukcyjne z wartości dodatnich zmieniły swoje błędy na wartości ujemne prawie o takiej samej wartości co do modułu. Wyniki wykazały więc, że oba typy liczników zwiększyły swoje błędy w podobnym zakresie. Przeprowadzone sprawdzenia liczników indukcyjnych i nowoczesnych liczników elektronicznych wykazały, że po włączeniu razem z żarówkami LED obciążenia o charakterze liniowym (np. żarówki żarowe lub urządzenia grzejne) powoduje, że błędy obu typów liczników powracają do wartości jak dla obciążenia liniowego (jak dla samych żarówek żarowych). Otrzymane wyniki potwierdzają tezę, że liczniki elektroniczne w których zastosowano cewkę Rogowskiego, jako pomiarowy przetwornik prądowy, zawyżają zużywaną energię, natomiast liczniki w których zastosowano hallotron jako przetwornik pomiarowy, zaniżają pobór energii. Jak wynika z uzyskanych rezultatów badań, na błędy pomiaru energii największy wpływ mają harmoniczne nieparzyste, w szczególności 3 i 5 harmoniczna.

Jednym z istotnych wniosków wypływającym z uzyskanych rezultatów przeprowadzonych pomiarów wynika fakt, że zwiększone wartości błędów pomiaru energii przez liczniki elektroniczne powodowane stosowaniem żarówek LED, jako źródeł światła w naszych mieszkaniach, są w bardzo dużej mierze niwelowane, gdy będzie włączone jednocześnie obciążenie o charakterze linowym (np. żarówki żarowe, czajniki, pogrzewacze, żelazka i inne). Przetawione wyniki pokazują, że błędy pomiaru energii czynnej liczników obciążonych mocą około 300 W żarówkami LED, po podłączeniu tylko trzech żarówek żarowych o podobnej mocy, prawie niweluje te błędy, a współczynnik zniekształceń *THD* z 78,9 % maleje do 28,6 %.

Zwarzywszy na fakt, że domowe liczniki są obciążane nie tylko odbiornikami typu żarówka LED, szczególnie w liczbie trzydzieści, stawianie tezy, że nowoczesne liczniki elektroniczne obecnie instalowane w naszych mieszkaniach tak strasznie zawyżają pomiar pobieranej energii, jest co najmniej mocno dyskusyjne.

6. LITERATURA

1. Frank Leferink, Cees Keyer, Anton Melentjev: Static Energy Meter Errors Caused by Conducted Electromagnetic Interference, 2016 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine- Volume 5 - Quarter 4.
2. Pietrucha R.: Błądny Pomiaru Czynnej Energii Liczkami Indukcyjnymi przy Przebiegach Odształconych, Jakość i Użytkowanie Energii Elektrycznej, Tom IX Zeszyt 2 Rok 2003.
3. Szkółka S.: Cewka Rogowskiego w środowisku przebiegów odkształconych – dokładność przekształcania, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 88 Nr 5a/2012.
4. International Recommendation, OIML R 46-1/-2 Edition 2012 (E).
5. Rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 20 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączania podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci.
6. Lisowiec A.: Parametry cewek Rogowskiego jako czujników w urządzeniach EAZ, WE rok LXXV 2007 nr 2.
7. Szkółka S.: Cewka Rogowskiego w środowisku przebiegów odkształconych - dokładność przekształcania, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa Nr 7(485) Lipiec 2011.