

BADANIE WŁAŚCIWOŚCI LAMP ELEKTRYCZNYCH WYPOSAŻONYCH W WYBRANE RODZAJE ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA JAKO ODBIORNIKÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Radosław KŁOSIŃSKI¹, Jarosław NOWAK²

1. Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki
tel.: 683282233 e-mail: r.klosinski@imei.uz.zgora.pl
2. LUG Light Factory Sp. z o. o.
e-mail: jarekn7@gmail.com

Streszczenie: W pracy omówione zostały wymagania zawarte w normach i rozporządzeniach, dotyczące technik wykonywania pomiarów oraz graniczne wartości amplitud harmonicznego prądu współczesnych lamp elektrycznych. Opisano stanowisko pomiarowe oraz wyniki pomiarów i analizy częstotliwościowej napięcia i prądów dwunastu lamp wyposażonych w różne rodzaje źródeł światła, wykonanych przez różnych producentów. Przedstawione wyniki ocenione zostały pod kątem zgodności z regulacjami prawnymi. Uzyskane wyniki potwierdziły, że lampy energooszczędne pobierają prąd silnie odkształcony, a amplitudy harmonicznego znacznie przekraczają dopuszczalne wartości.

Słowa kluczowe: odbiorniki zniekształcające, urządzenia oświetleniowe, THD, harmoniczne.

1. WSTĘP

Współczesne tzw. energooszczędne źródła światła charakteryzują się coraz lepszymi parametrami świecenia. Mają coraz większą sprawność przy jednoczesnej poprawie współczynnika oddawania barw. Jednak jako odbiorniki elektryczne, ze względu na niezbędne elektroniczne układy dopasowujące w postaci zasilaczy impulsowych lub układów stabilizacyjno-zapłonowych [1], pobierają odkształcony prąd. Generowane są wyższe harmoniczne prądu, które, przez impedancję sieci, powodują zniekształcanie napięcia. Oznacza to pogorszenie jakości energii elektrycznej określonej parametrami zawartymi w normie [2].

Przedmiotem badań opisanych w tym artykule była zawartość wyższych harmonicznego prądu pobieranego przez wybrane powszechnie używane lampy wykonane z zastosowaniem różnych rodzajów źródeł światła, przez różnych producentów. Pomiar, oraz obliczenia prowadzące do uzyskanych wyników wykonano zgodnie z wytycznymi zawartymi w Polskich Normach [3] i [4]. Odstępstwem od tych norm było zasilanie badanych odbiorników odkształconym napięciem z sieci, czyli tak jak w typowych warunkach pracy.

Dla przebadanych odbiorników wyznaczono wartości współczynnika THD prądu przyjętego jako wskaźnik jakości energii elektrycznej (m. in. na podstawie wymagań zawartych w rozporządzeniach [5] i [6]).

Zagadnienia poruszane w artykule były tematem pracy dyplomowej [7] realizowanej w Instytucie Metrologii, Elektroniki i Informatyki Uniwersytetu Zielonogórskiego.

2. WYMAGANIA DOTYCZĄCE PRZEPROWADZANIA ANALIZY CZĘSTOTLIWOŚCIOWEJ PRĄDU LAMP

Przy wyznaczaniu harmonicznego prądu odbiorników elektrycznych do częstotliwości 9 kHz zastosowanie ma norma [3]. Badane urządzenie powinno pracować w warunkach znamionowych, przy podstawowej częstotliwości napięcia sieci zasilającej 50 Hz lub 60 Hz. Wymagania ogólne zawarte w normie [4] określają, że próbkowanie ma być synchroniczne a czas obserwacji powinien wynosić 200 ms. Dla częstotliwości 50 Hz oznacza to próbkowanie dziesięciu okresów sygnałów.

Zdefiniowane w normie [4] poziomy dopuszczalne harmonicznego prądu lamp, w zależności od mocy, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Poziomy dopuszczalne harmonicznego prądu dla źródeł światła na podstawie [4]. Oznaczenia: $I_{n \max}$ [%] – dopuszczalny prąd harmonicznego wyrażony w stosunku do prądu zasilania, $I_{n \max}$ [mA/W] - dopuszczalny prąd harmonicznego w stosunku do mocy odbiornika, λ – współczynnik mocy

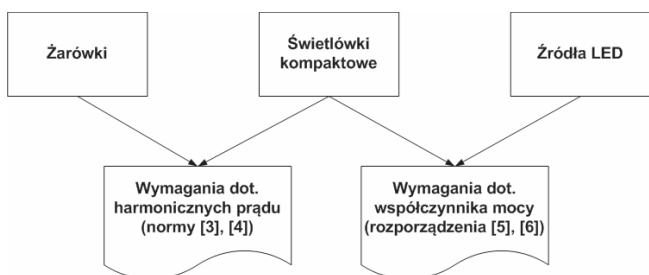
Rząd harmonicznego n	Źródło światła o mocy:	
	$P > 25$ W żarówka, świetlówki oraz LED	$P \leq 25$ W świetlówki
	$I_{n \max}$ [%]	$I_{n \max}$ [mA/W]
2	2	brak wymagań
3	30λ	3,4
5	10	1,9
7	7	1
9	5	0,5
11	3	0,35
$13 \leq n \leq 39$ (tylko nieparzyste n)	3	$\frac{3,85}{n}$

W normie [4] nie sprecyzowano poziomów dopuszczalnych emisji harmonicznego prądu dla lamp LED o mocy poniżej 25 W. Lampy zawierające półprzewodnikowe źródła światła objęte są jedynie wymaganiami dotyczącymi współczynnika mocy zawartymi w rozporządzeniach [5] i [6], przedstawionymi w tabeli 2.

Tabela 2. Wymagania dotyczące współczynnika mocy zamienników klasycznych żarówek [5], [6]

Światłówki kompaktowe		Źródła LED	
Moc	Wsp. mocy	Moc	Wsp. mocy
P < 25 W	$\lambda \geq 0,55$	P < 2 W	brak wymagań
		2 W < P ≤ 5 W	$\lambda > 0,4$
P ≥ 25 W	$\lambda \geq 0,90$	5 W < P ≤ 25 W	$\lambda > 0,5$
		P > 25 W	$\lambda > 0,9$

Lampy wyposażone w różne źródła światła, jako odbiorniki elektryczne, podlegają różnym aktom prawnym w zależności od rodzaju i mocy. Na rysunku 1 przedstawiono diagram obrazujący podleganie rodzajów urządzeń oświetleniowych uregulowaniom prawnym, normom [3], [4] i rozporządzeniom [5], [6].

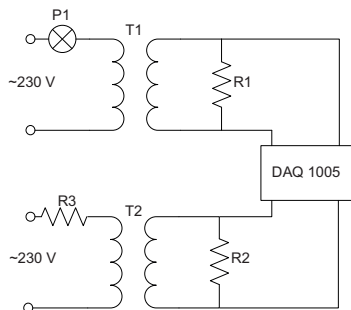


Rys. 1. Regulacje dotyczące badanych urządzeń oświetleniowych

3. STANOWISKO POMIAROWE

Pomiary polegały na rejestracji próbek przebiegów napięcia i prądu. Badane odbiorniki zasilano napięciem znamionowym 230 V z sieci elektroenergetycznej. W celu uzyskania oddzielenia galwanicznego oraz dopasowania sygnałów do wejść karty pomiarowej wykorzystano dwa obciążone przekładniki prądowe. Transformator T1 służy do pomiaru prądu, który jest proporcjonalny do napięcia na rezystorze R1. Spadek napięcia na rezystorze R2 jest proporcjonalny, za pośrednictwem transformatora T2, do prądu płynącego przez rezystor R3 proporcjonalnego do mierzonego napięcia.

Pomiary wykonywano za pomocą karty akwizycji danych DaqBoard/1005 firmy Measurement Computing wyposażonej w 16-bitowy przetwornik A/C. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiony jest na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego, oznaczenia: P1 – źródło światła, T1 – przekładnik do pomiaru prądu, T2 – przekładnik do pomiaru napięcia, R1-R3- rezystory, DAQ 1005 – karta akwizycji danych

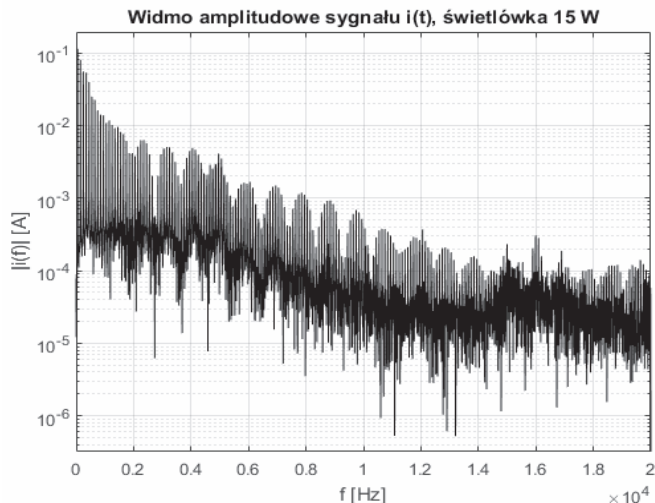
Zastosowane przekładniki prądowe wprowadzają niewielkie zniekształcenia prądów o natężeniu do 1 A.

Z charakterystyk częstotliwościowych błędów amplitudy tych przekładników, przedstawionych w pracach [8] i [9] wynika, że do częstotliwości 2000 Hz błąd amplitudy jest rzędu 1%. Niepewność pomiaru modułu harmonicznych w zastosowanym układzie szacuje się na 2%.

4. REALIZACJA POMIARÓW

Impulsowy charakter mierzonych prądów wymaga znacznej częstotliwości próbkowania. Zastosowano częstotliwość próbkowania 40 kHz, do analizy brano 8000 próbek przypadających na 10 okresów sygnału. Zapewniono synchronizację próbkowania tylko częściowo, biorąc do analizy zestaw próbek przypadający na całkowitą liczbę 10 okresów sygnału. Z powodu wahań częstotliwości sieciowej, odnotowano niewielki przeciek widma, który zredukowano przez zastosowanie okna Hanninga.

Wykorzystywany układ akwizycji nie zawiera filtru antyaliasingowego. Na rysunku 3. przedstawione jest pełne widmo uzyskane na podstawie zebranych próbek. Widać na nim tendencję do spadku amplitud harmonicznych w miarę wzrostu częstotliwości oraz, że amplitudy harmonicznych o częstotliwościach bliskich połowy częstotliwości próbkowania są około 100 razy mniejsze od amplitud harmonicznych branych do oceny zniekształcenia prądu. Na tej podstawie uznano, że wpływ aliasingu jest niewielki, nie zmienia uzyskanych wyników w znaczący sposób.



Rys. 3. Pełne widmo amplitudowe prądu świetłówki o mocy 15 W uzyskane na podstawie zebranych próbek

Amplitudy składowych harmonicznych wyznaczone były za pomocą szybkiej transformaty Fouriera (FFT).

Dysponując próbkami oraz widmem sygnałów napięcia i prądu obliczono wymagane wskaźniki:

- współczynnik odkształcenia prądu:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{39} I_n^2}}{I_1} \quad (1)$$

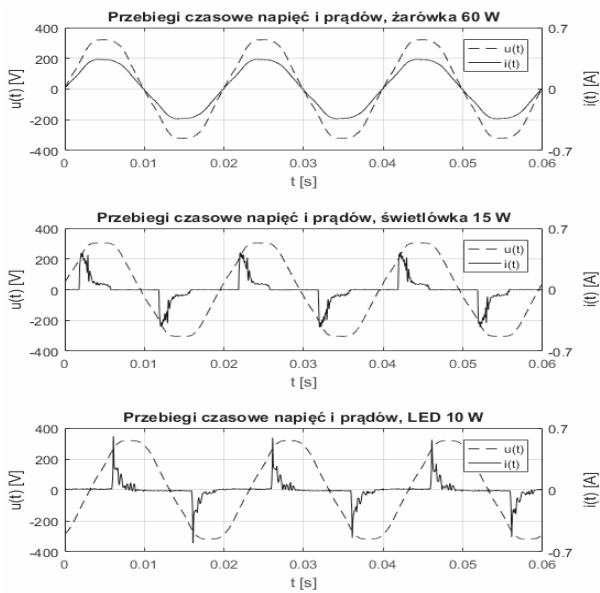
- współczynnik mocy:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} u[k]i[k]}{\sqrt{\sum_{k=0}^{N-1} u^2[k]} \sqrt{\sum_{k=0}^{N-1} i^2[k]}} \quad (2)$$

gdzie: I_n - amplituda n -tej harmonicznej prądu;
 N - liczba próbek, $N = 8000$;
 $u[k]$, $i[k]$ - próbki napięcia i prądu;
 P , S - moc czynna, moc pozorna.

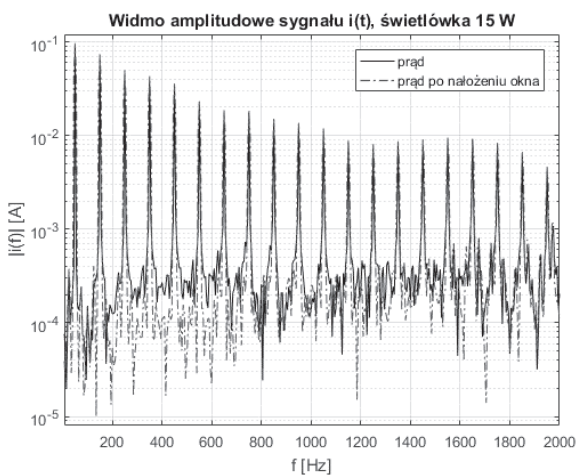
5. WYNIKI POMIARÓW I ICH ANALIZA

Zrealizowano pomiary napięcia i prądów dwunastu lamp różnych producentów, wykonanych różnymi technologiami i o różnych mocach znamionowych. Na rysunku 4. przedstawione są przykładowe przebiegi napięcia i prądu lamp z różnego rodzaju źródłami światła. Przebieg czasowy prądu klasycznej żarówki jest bardzo zbliżony do kształtu przebiegu napięcia, prądy świetlówki oraz lampy LED mają charakter impulsowy.



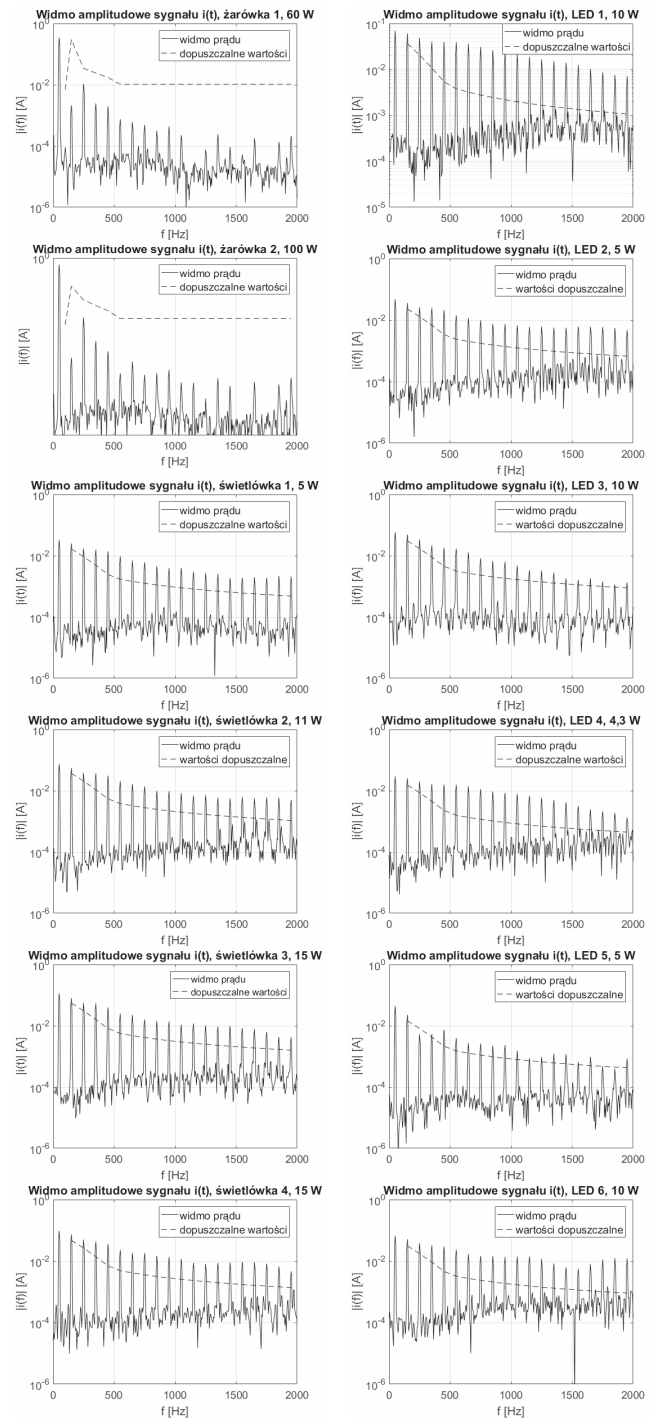
Rys. 4. Przykładowe przebiegi czasowe napięcia, prądu różnych rodzajów źródeł światła

Na rysunku 5. przedstawione jest przykładowe widmo prądu świetlówki kompaktowej uzyskane bezpośrednio na podstawie próbek oraz po nałożeniu okna Hanninga. Porównanie obrazów widm wskazuje na obecność niewielkiego przecieku widma. Zastosowanie okna Hanninga ogranicza to zjawisko. Widoczny tutaj przeciek widma nie ma znaczącego wpływu na wyznaczone amplitudy harmoniczných.



Rys. 5. Przykładowe widmo prądu świetlówki

Rysunek 6 przedstawia widma wszystkich przebadanych odbiorników z zaznaczonymi wartościami dopuszczalnymi (podanymi w tabeli 1.) dla poszczególnych harmoniczných. Wskazane tutaj wartości dopuszczalne nie dotyczą lamp LED o mocy poniżej 25 W, jednak zaznaczono je na wykresach w celach poglądowych.



Rys. 6. Widma prądu badanych źródeł światła z zaznaczonymi wartościami dopuszczalnymi

Na podstawie uzyskanych amplitud harmoniczných napięcia i prądu obliczono wartości współczynnika mocy λ i THD. Wyniki zestawiono w tabeli 3.

W przypadku lamp energooszczędnych amplitudy wyższych harmoniczných znacznie przekraczają wartości dopuszczalne określone w normie [4] a współczynnik THD prądu jest bardzo duży. Wyjątek stanowi jedna lampa LED, której współczynnik THD jest o połowę niższy od

pozostałych. Dwie lampy LED mają za niski współczynnik mocy w stosunku do wymagań. Jedynie harmoniczne prądów badanych żarówek nie przekraczają dopuszczalnych wartości. Współczynnik THD jest niski, a jego wartość wynika jedynie z odkształcenia napięcia zasilającego.

Tabela 3. Wartości współczynnika mocy i THD prądu

Źródło światła	λ	THD [%]	Źródło światła	λ	THD [%]
Ż1 60 W	0,9998	3,35	LED1 10 W	0,430	182,7
Ż2 100 W	0,9999	3,33	LED2 5 W	0,528	132,2
Ś1 5 W	0,575	122,8	LED3 10 W	0,615	120,5
Ś2 11 W	0,565	122,5	LED4 4,3 W	0,439	171,2
Ś3 15 W	0,577	113,1	LED5 5 W	0,511	58,8
Ś4 15 W	0,558	120,4	LED6 10 W	0,466	139,7

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedmiotem pracy są właściwości lamp jako odbiorników energii elektrycznej. Przedstawiono wymagania normatywne dotyczące badań odbiorników elektrycznych oraz samych odbiorników. Opisano stanowisko pomiarowe, sposób realizacji pomiarów i wyznaczania parametrów oraz przedstawiono uzyskane wyniki.

Badaniami objęto klasyczne żarówki, lampy z diodami elektroluminescencyjnymi oraz świetlówki kompaktowe. Badano pojedyncze egzemplarze lamp elektrycznych pochodzące od różnych producentów i o różnych mocach. Na tej podstawie nie można wyciągać wniosków o znaczeniu statystycznym jednak wyłania się pewien obraz właściwości badanych urządzeń.

Pośród przebadanych urządzeń świetlówki kompaktowe oraz lampy LED pobierają silnie odkształcony prąd, natomiast lampy żarowe spełniają wymagania stawiane w normach. Świetlówki cechują się zgodnością tylko z parametrami określonymi w dyrektywach. W przypadku wszystkich przebadanych lamp wyładowczych przekraczane są dopuszczalne wartości poszczególnych harmonicznych prądu. Podobny poziom harmonicznych i odkształceń wykazują lampy LED, jednak te o mocy poniżej 25 W nie podlegają normie [4].

Biorąc pod uwagę zbliżone zawartości amplitud wyższych harmonicznych prądu świetlówek kompaktowych i lamp LED (tab. 3.) pojawia się wątpliwość czy to dobrze,

że norma [4] nie obejmuje lamp wyposażonych w źródła światła LED o mocy do 25 W.

Powszechne wydaje się być zjawisko niespełniania wymagań zawartych w regulacjach prawnych przez tzw. energooszczędne urządzenia oświetleniowe.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Tabaka P.: Rzetelnie i rozważnie o zamiennikach klasycznych żarówek, część II, Miesięcznik SEP INPE, nr 190, 2015
2. PN-EN 50160:2010, Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych
3. PN-EN 61000-4-7:2007, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-7: Metody badań i pomiarów – Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmonicznych i interharmonicznych oraz przyrządów pomiarowych, dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń
4. PN-EN 61000-3-2:2014-10, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3-2: Poziomy dopuszczalne – Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilania odbiornika ≤ 16 A)
5. Rozporządzenia Komisji (WE) NR 244/2009 z dnia 18 marca 2009 r. w sprawie wykonania Dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla bezkierunkowych lamp użytku domowego
6. Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1194/2012 z dnia 12 grudnia 2012 r. w sprawie wykonania Dyrektywy 2009/125/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla lamp kierunkowych, lamp z diodami elektroluminescencyjnymi i powiązanego wyposażenia
7. Nowak. J.: Badanie współczesnych źródeł światła w zakresie ich zniekształcającego charakteru jako odbiorniki energii elektrycznej, Praca dyplomowa magisterska, WIEA UZ, Zielona Góra, 2017 r.
8. Furmankiewicz L.: Pomiar błędów częstotliwościowych obwodów wejściowych przetworników energetycznych metodą pomiaru zespolonego stosunku napięć, Pomiary Automatyka Kontrola vol. 54, nr 6/2008
9. Furmankiewicz L.: Właściwości metody programowej korekcji błędów częstotliwościowych transformatora prądowego w zakresie nieliniowej pracy przy pomiarach mocy, Pomiary Automatyka Kontrola vol. 58, nr 9/2012

RESEARCH OF ELECTRICAL LAMP PROPERTIES EQUIPPED IN SELECTED TYPES OF LIGHT SOURCES AS ELECTRIC ENERGY RECEIVERS

The paper describes the requirements for measurement techniques and current harmonic levels of lighting lamps contained in the EN standards and Regulations of the European Commission. Laboratory station and equipment used for frequency analysis has been presented. Voltage and current measurements of twelve lamps were made. Classical bulbs, compact fluorescent lamps and LED lamps are included in the study. Single specimens of electricity receivers from different manufacturers were examined. To prevent presence of aliasing phenomenon a sampling rate of 40 kHz was used. The applied measurement system did not adjust the sampling frequency to the frequency of the power grid. The imposition of Hanning's window on the frequency spectrum led to conclusion, that spectral leakage was insignificant and did not caused difficulties in correct interpretation of the spectrum. The results of the measurements are presented and interpreted. It has been confirmed, that energy-efficient lamps draw strongly deformed current. It seems that, it is widespread, that requirements contained in the regulations and standards are not satisfied.

Keywords: distorting load, lighting lamps, THD, harmonics.