

Kazimierz KURYŁO, Wiesław SABAT, Dariusz KLEPACKI

POLITECHNIKA RZESZOWSKA, ZAKŁAD SYSTEMÓW ELEKTRONICZNYCH I TELEKOMUNIKACYJNYCH,
W. Pola 2, 35-959 Rzeszów

Wyższe harmoniczne prądu generowane przez kompaktowe fluorescencyjne źródła światła zasilane napięciem sinusoidalnym i odkształconym

Dr inż. Kazimierz KURYŁO

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Związany zawodowo z Politechniką Rzeszowską od 1996 roku. Tytuł doktora w dyscyplinie Elektrotechnika uzyskał w roku 2005. Obszary zainteresowań naukowych: kompatybilność elektromagnetyczna podzespołów i układów elektronicznych, integralność sygnałów w mikroelektronicznych układach hybrydowych, techniki pomiarów w EMC.



e-mail: kkurylo@prz.edu.pl

Dr inż. Dariusz KLEPACKI

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Związany zawodowo z Politechniką Rzeszowską od 1994 roku. Tytuł doktora w dyscyplinie Elektrotechnika uzyskał w roku 2004. Obszary zainteresowań naukowych: kompatybilność elektromagnetyczna podzespołów i układów elektronicznych, integralność sygnałów w liniach transmisyjnych, techniki pomiarów w EMC.



e-mail: dklepa@prz.edu.pl

Dr inż. Wiesław SABAT

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Związany zawodowo z Politechniką Rzeszowską od 1992 roku. Tytuł doktora w dyscyplinie Elektrotechnika uzyskał w roku 2002. Obszary zainteresowań naukowych: kompatybilność elektromagnetyczna podzespołów i układów elektronicznych, integralność sygnałów w mikroelektronicznych układach hybrydowych, techniki pomiarów w EMC.



e-mail: wsabat@prz.edu.pl

Streszczenie

Tematyka publikacji dotyczy problemu generowania wyższych harmonicznych prądu przez kompaktowe fluorescencyjne źródła światła. W opracowaniu przeanalizowano zmiany poziomu harmonicznych prądu generowanych przez tego typu odbiorniki w sytuacji gdy zasilano je napięciem sinusoidalnym i odkształconym. Do generacji przebiegów napięcia zasilającego w trakcie badań wykorzystano, stabilne programowalne źródło zasilania NetWave firmy EMTTest. Uzyskane dzięki temu urządzeniu napięcia miały stabilne niezmiennie parametry w czasie trwania badań.

Słowa kluczowe: THD, kompaktowe fluorescencyjne źródła światła, harmoniczne prądu.

Current higher harmonics generated by compact fluorescent lamps supplied with sinusoidal and distorted voltage

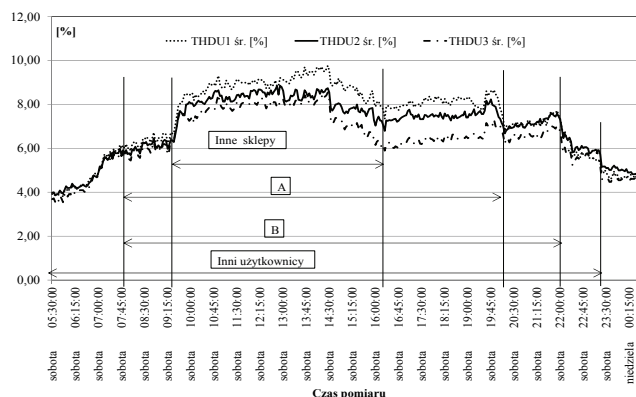
Abstract

The problem of generation of current higher harmonics by compact fluorescent light sources is described in this paper. The above-mentioned light sources were supplied by a sinusoidal voltage with *THD* equal to 0.1% then by a distorted voltage with *THD* equal to 6.58%. Both voltages were generated by a NetWave device from the EMTTest. Such equipment guarantees the stable parameters during tests. The compact fluorescent lamps (9 W of nominal power) were used in the conducted tests. They were from three different manufacturers marked as A, B and C. The specifications of the tested lamps are presented in Tab. 1. The characteristic of the examined fluorescent lamps was included in the paper for two cases. In the first one, each lamp was supplied by a sinusoidal voltage. The obtained results are presented in Tabs. 2 and 3 as well as in Fig. 4. The next step was group operation of lamps (A1, A1+A2 and A1+A2+A3) manufactured by the same A factory and (A1+B1+ C1) manufactured by A, B and C factories. The results of investigations are presented in Tab. 4 and Figs. 5 and 6. In the second case, the same configurations of fluorescent lamps were supplied by a distorted voltage. The results are illustrated in Tabs. 5, 6 and 7 as well as in Figs. 7, 8 and 9.

Keywords: THD, harmonic distortion, compact fluorescent lamp.

1. Wstęp

Energia elektryczna cieszy się dużą popularnością, ponieważ daje się w łatwy sposób zamieniać na inne rodzaje energii np. mechaniczną, ciepłą czy świetlną. System wytwarzania, przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej jest bardzo rozbudowany. Ostatnimi elementami systemu elektroenergetycznego są odbiorniki energii elektrycznej, które dzięki dynamicznemu rozwojowi zaawansowanej elektroniki stają się coraz bardziej funkcjonalne. To powoduje, że odbiorniki elektryczne są powszechnie wykorzystywane nie tylko w przemyśle, ale również obiektach komunalno-bytowych. Trzeba tutaj zaznaczyć, że tego typu odbiorniki pobierają odkształcony prąd niezależnie od tego czy są zasilane napięciem sinusoidalnym czy napięciem niesinusoidalnym. Odkształcone napięcie zasilające spowodowane pracą odbiorników nieliniowych obserwuje się w sieciach niskiego, średniego i wysokiego napięcia [1]. Miarą odkształcenia napięcia jest współczynnik *THD*. Wartości współczynnika *THD* napięcia są zróżnicowane w sieciach niskiego napięcia, co zależy od wielu czynników. Przykładowo, w przypadku napięć zasilających duże obiekty handlowe wartość średnia współczynnika *THD* może się zmieniać od 2 do 6% a nawet osiągnąć wartość 8%.¹ Trzeba również zaznaczyć, że na odkształcenie napięcia mają wpływ nie tylko odbiorniki nieliniowe posiadające znaczną moc znamionową, ale również odbiorniki o niewielkich mocach, które pracują w grupach lub systemach, np. system oświetleniowy, komputerowy itp. [2, 3], [4, 5]. Przykładowo na rysunku 1 przedstawiono wpływ odbiorników oświetleniowych na wzrost odkształcenia napięcia zasilającego, które zainstalowane były w dużych obiektach handlowych A i B.



Rys. 1. Zarejestrowane średnie wartości *THD* napięcia zasilającego dwa duże obiekty handlowe²

Fig. 1. Average *THD* values of the voltage supplied two big trade buildings

¹ Badania własne

² Badania własne

2. Charakterystyka badanych źródeł światła

Do badań wybrano świetlówki kompaktowe o mocy znamionowej 9 W wyprodukowane przez trzy różne firmy. W tabeli 1 zamieszczono specyfikację techniczną badanych świetlówek.

Tab. 1. Specyfikacja świetlówek kompaktowych wykorzystywanych w badaniach
Tab. 1. Specifications of the tested fluorescent lamps

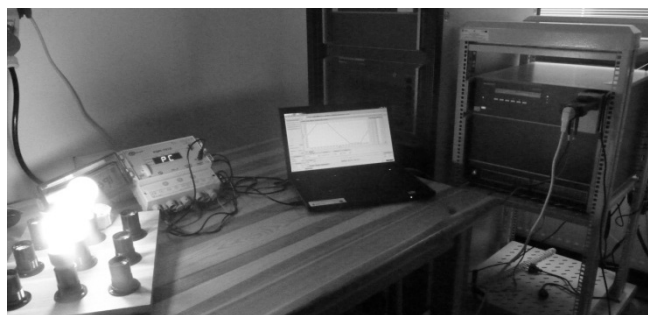
Oznaczenie świetlówek kompaktowej	Moc znamionowa [W]	Liczba sztuk [szt.]	Oznaczenie producenta
A1	9	1	A
A2	9	1	
A3	9	1	
B1	9	1	B
C1	9	1	C

Jak wynika z danych zamieszczonych w tab. 1 do badań wykorzystano trzy egzemplarze świetlówek, wyprodukowanych przez firmę A, oraz po jednym egzemplarzu wyprodukowanym przez firmę B i C. Elektroniczne układy zasilające zastosowane w świetlówkach firm A, B i C są różne pod względem budowy i zastosowanych elementów elektronicznych. Jednak świetlówki firmy A (A1, A2, i A3) zbudowano w oparciu o ten sam elektroniczny układ zasilający, co znalazło odzwierciedlenie w wynikach badań. Wybór ilościowy świetlówek wynika z przyjętej metodyki badań.

3. Metodyka badań

Do badań zastosowano świetlówki nowe, które nie zostały poddane procesowi starzenia. Zgodnie z wymaganiami standardów EMC zostały one przed pomiarami poddane procesowi 15 minutowej stabilizacji termicznej. Badania wykonano w trzech etapach. W pierwszym, każda z wymienionych w tabeli 1 świetlówek kompaktowych (A1, A2, A3, B1 i C1) została zasilona napięciem sinusoidalnym. Na tym etapie badań określone zostały wartości poszczególnych nieparzystych harmonicznych prądu generowane przez każdą ze świetlówek. Do zasilenia badanych świetlówek wykorzystano stabilizowane źródło napięcia 230V ±0.1%. Ten etap badań pozwolił na określenie poziomu generowanych harmonicznych dla idealnych warunków ich zasilania.

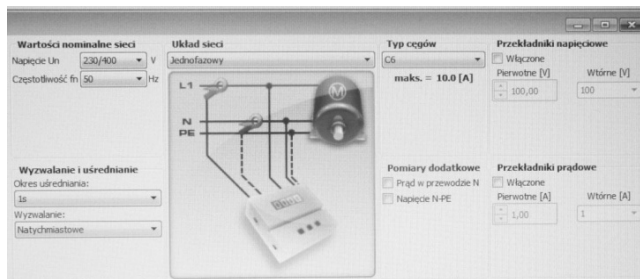
W drugim etapie badań te same świetlówki zasilono napięciem odkształconym. Za pomocą źródła Netwave wygenerowano odkształcony przebieg napięcia o współczynniku $THD = 6.58\%$. Jest to typowa wartość współczynnika dla sieci niskich napięć. Celem takiego podejścia było określenie, czy odkształcony przebieg napięcia będzie posiadał wymierny wpływ na poziomy generowanych harmonicznych. W trzecim etapie badań przeanalizowano pracę grupową świetlówek. W trakcie badań, podobnie jak w przypadku pojedynczych świetlówek, zbadano poziomy harmonicznych generowanych przez sekcje złożone z świetlówek tej samej firmy (A1+A2 i A1+A2+A3) jak i świetlówek wyprodukowanych przez różne firmy (A1+B1+C1), które zasilano napięciem sinusoidalnym i odkształconym.



Rys. 2. Widok stanowiska pomiarowego
Fig. 2. The measuring stand

Na rysunku 2 przedstawiono stanowisko pomiarowe złożone z obiektów podanych badaniu, urządzenia pomiarowego PQM 701Z firmy Sonel, komputera PC oraz stabilizowanego źródła NetWave.

Urządzenie pomiarowe współpracuje z programem komputerowym Sonel Analiza. Widok okna konfiguracji miernika w programie Sonel Analiza pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Widok konfiguracji miernika PGM-701Z w programie Sonel Analiza³
Fig. 3. Configuration of the PGM-701Z meter in the Sonel Analiza program

W czasie pomiarów wartości napięcia i prądu były rejestrowane w pamięci miernika co 1 s. Zważywszy na fakt, że czas trwania pomiaru dla każdego analizowanego przypadku trwał 10 min, w pamięci miernika zapisywanych było 600 próbek dla każdej mierzonej wielkości. Następnie zarejestrowane dane poddano analizie wykorzystując narzędzia statystyczne. Dla każdej analizowanej wielkości (THD , harmonicznych prądu $I_{H1}...I_{H25}$ itp.) obliczano wartość średnią x_{sr} , odchylenie standardowe σ , rozstęp R , wartość minimalną i maksymalną oraz liczbę zarejestrowanych wartości - L .

4. Wyniki badań

Zamieszczone w tym rozdziale wyniki prezentują poziomy harmonicznych prądu generowanych przez badane świetlówki. W badaniach uwzględniono dwa przypadki. W pierwszym zasilano świetlówki napięciem sinusoidalnym ($THD = 0,1\%$), natomiast w drugim badane świetlówki zasilono napięciem odkształconym ($THD = 6,58\%$). Wyniki badań dla przypadku, w którym badane odbiorniki zasilone były napięciem sinusoidalnym zamieszczono w tab. 2, 3 i 4 oraz rysunkach 6, 7 i 8. W tab. 2 zamieszczono średnie wartości współczynnika THD dla każdej z badanych świetlówek tego samego producenta. Analiza zamieszczonych wyników pozwala stwierdzić, że prąd pobierany przez każdą ze świetlówek A1, A2 i A3 jest w dużym stopniu odkształcony. Największą średnią wartość współczynnika THD prądu odnotowano dla świetlówek oznaczonej symbolem A1. Natomiast dużą dynamiką zmian wartości współczynnika THD prądu wykazała się świetlówka A2. W jej przypadku rozstęp (różnica pomiędzy wartością max. i min.) wyniósł 5,1%, co świadczy również o zmianach wartości poszczególnych harmonicznych prądu. Można również zauważyć, że wartości współczynnika THD prądu świetlówek A1, A2 i A3 są wzajemnie porównywalne, gdyż zastosowano w nich ten sam elektroniczny układ zasilający.

Tab. 2. Wartości THD prądu dla świetlówek wyprodukowanych przez producenta A, które zasilano napięciem sinusoidalnym

Tab. 2. Values of current THD for the fluorescent lamps from manufacturer A at sinusoidal supply

	U	A1	A2	A3
Wielkości statystyczne	$THD U$ [%]	$THD I$ [%]	$THD I$ [%]	$THD I$ [%]
x_{sr}	0,11	143,52	139,90	141,77
σ	0,00	0,02	0,04	0,02
R	0,02	1,68	5,10	2,07
Min.	0,10	142,78	138,87	140,94
Max	0,12	144,46	143,97	143,01
L	600	600	600	600

³ Rysunek opublikowany za zgodą firmy Sonel

W tabeli 3 porównano świetlówkę A1 ze świetlówkami innych producentów. W badaniu najlepiej wypadła świetlówka C1. Cechuje się ona małą wartością współczynnika *THD* prądu w porównaniu do pozostałych świetlówek oraz jej praca jest stabilna, gdyż wartość rozstępu *R* obliczonego dla *THD* prądu wynosi 0,62.

Tab. 3. Wartości *THD* prądu dla świetlówek wyprodukowanych przez producentów A, B i C, które zasilano napięciem sinusoidalnym
Tab. 3. Values of current *THD* for the fluorescent lamps from A, B and C manufacturers at sinusoidal supply

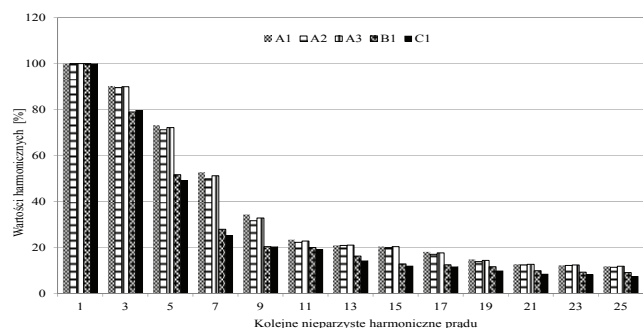
Wielkości statystyczne	U	A1	B1	C1
<i>THD U</i> [%]				
xśr.	0,11	143,52	110,08	106,07
σ	0,00	0,02	0,00	0,01
R	0,02	1,68	0,59	0,62
Min.	0,10	142,78	109,88	105,79
Max.	0,12	144,46	110,47	106,41
L	600	600	600	600

W badaniach uwzględniono sytuację, w której napięciem sinusoidalnym zasilono najpierw jedną świetlówkę (A1), następnie dwie (A1+A2) a później trzy świetlówki (A1+A2+A3) tej samej firmy A. Jak widać z wartości zamieszczonych w tabeli 4 nie uzyskano znaczącej poprawy wartości współczynnika *THD*, co jest oczywistym faktem. Jednak zasilając jednocześnie trzy świetlówki A1+B1+C1 różnych firm (praca grupowa mieszana) uzyskano znaczące zmniejszenie wartości współczynnika *THD* prądu.

Tab. 4. Wartości *THD* prądu dla świetlówek, które pracowały w grupach i były zasilane napięciem sinusoidalnym
Tab. 4. Values of current *THD* for the fluorescent lamps operating in groups at sinusoidal supply

Wielkości statystyczne	A1	A1+A2	A1+A2+A3	A1+B1+C1
<i>THD I</i> [%]				
xśr.	143,52	141,10	141,35	105,06
σ	0,02	0,01	0,01	0,00
R	1,68	0,83	0,75	0,33
Min.	142,78	140,75	140,99	104,88
Max.	144,46	141,58	141,74	105,21
L	600	600	600	600

Rysunek 4 potwierdza wyniki zamieszczone w tabelach 2 i 3. Świetlówki A1, A2, i A3 firmy A mają przekroczone wartości harmonicznych prądu (trzecia harmoniczna 89%, piąta 73%). Zdecydowanie lepiej wypadają świetlówki B1 i C1, dla których harmoniczne trzecia i piąta mają odpowiednio wartości: 79,5/49% oraz 79,5/49%.

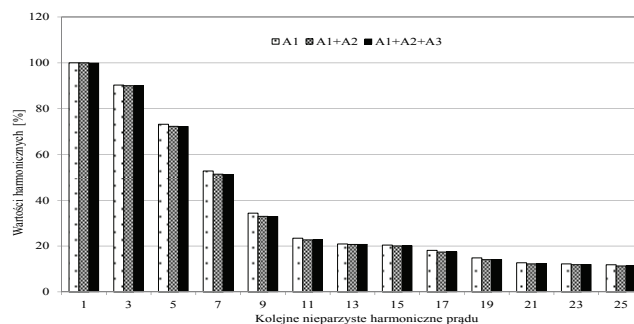


Rys. 4. Wyższe harmoniczne prądu generowane przez kompaktowe źródła światła wyprodukowane przez producentów A, B i C. Świetlówki zasilane były napięciem sinusoidalnym

Fig. 4. Current higher harmonics generated by the compact light sources from A, B and C manufacturers at sinusoidal supply

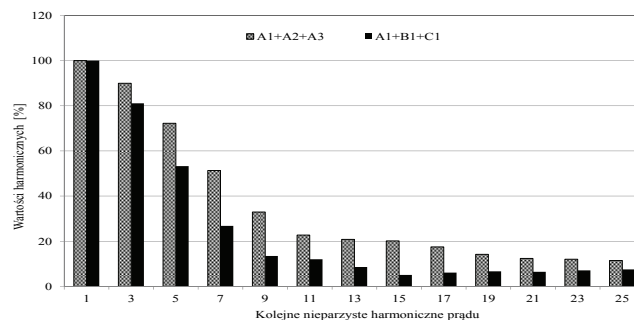
Rysunki 5 i 6 korelują z wartościami *THD* zawartymi w tabeli 4. Z rysunku 5 wynika, że wzajemna (grupowa) praca świetlówek wyprodukowanych przez firmę A nie wpływa na zmianę wartości poszczególnych nieparzystych harmonicznych prądu. Natomiast z rysunku 6 wynika, że wzajemna praca świetlówek wyprodukowanych przez różnych producentów, w tym przypadku, była

korzystna (grupa A1+B1+C1), bo nastąpiło obniżenie wartości poszczególnych harmonicznych prądu. Jednak możliwy jest przypadek, w którym praca grupowa świetlówek różnych firm może dać niekorzystny wynik, czyli wzrost wartości poszczególnych harmonicznych prądu. Jak wiadomo stosowane w świetlówkach kompaktowych układy zasilające mają wpływ na wartość generowanych harmonicznych prądu.



Rys. 5. Wyższe harmoniczne prądu generowane przez kompaktowe źródła światła, które były wyprodukowane przez producentów A. Świetlówki zasilane były pracowały w grupach: jedna A1, dwie A1+A2 i trzy A1+A2+A3 i zasilane były napięciem sinusoidalnym

Fig. 5. Current higher harmonics generated by the compact light sources from A manufacturer at sinusoidal supply (group operation – A1, A1+A2, A1+A2+A3)



Rys. 6. Wyższe harmoniczne prądu generowane przez kompaktowe źródła światła, które były wyprodukowane przez producentów A, B i C. Świetlówki pracowały w grupach: jedna A1+A2+A3 i druga mieszana A1+B1+C1 świetlówki i zasilane były napięciem sinusoidalnym

Fig. 6. Current higher harmonics generated by the compact light sources from A, B and C manufacturers at sinusoidal supply (group operation – A1+A2+A3, A1+B1+C1)

W drugim etapie przebadano świetlówki w tych samych konfiguracjach, jednak teraz zasilano je napięciem odkształconym. Zasilanie świetlówek napięciem odkształconym spowodowało wzrost wartości współczynnika *THD* prądu (tabela 5, 6 i 7) w porównaniu do wartości *THD* prądu, gdy świetlówki zasilane były napięciem sinusoidalnym (tabela 2, 3 i 4). W przypadku zasilania świetlówek napięciem odkształconym uzyskano podobne spostrzeżenia. Również w tym przypadku świetlówki firmy A gorzej „radziły” sobie z odkształconym napięciem zasilającym. Ponieważ generowały harmoniczne prądu o wartościach zdecydowanie większych niż świetlówki firmy B oraz C (rys. 7).

Tab. 5. Wartości *THD* prądu dla świetlówek wyprodukowanych przez producenta A, które zasilano napięciem odkształconym
Tab. 5. Values of current *THD* for the fluorescent lamps from manufacturer A at distorted supply

Wielkości statystyczne	U	A1	A2	A3
<i>THD U</i> [%]				
xśr.	6,58	175,92	170,88	174,08
σ	0	0,02	0,02	0,03
R	0,04	1,96	1,47	2,62
Min.	6,55	174,89	170,18	172,80
Max.	6,59	176,85	171,65	175,42
L	600	600	600	600

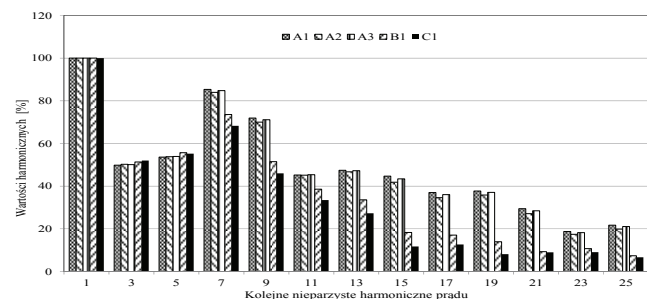
Tab. 6. Wartości THD prądu dla świetlówek pracujących w grupach, które zasilano napięciem odkształconym. Świetlówek były wyprodukowane przez producenta A
 Tab. 6. Values of current THD for the fluorescent lamps operating in groups at distorted supply (manufacturer A)

	U	A1	A1+A2	A1+A2+A3
Wielkości statystyczne	$THD U$ [%]	$THD I$ [%]	$THD I$ [%]	$THD I$ [%]
x̄r.	6,58	175,92	172,65	173,36
σ	0	0,02	0,01	0,01
R	0,04	1,96	1,05	0,58
Min.	6,55	174,89	172,14	173,03
Max	6,59	176,85	173,19	173,61
L	600	600	600	600

Tab. 7. Wartości THD prądu dla świetlówek wyprodukowanych przez producentów A, B i C, które zasilano napięciem odkształconym.

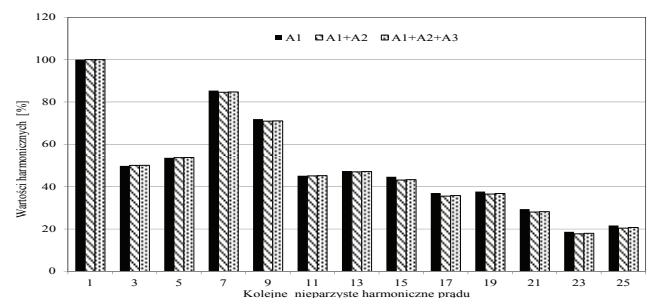
Tab. 7. Values of current THD for the fluorescent lamps from A, B and C manufacturers at distorted supply

	A1	C1	B1	A1+B1+C1
Wielkości statystyczne	$THD I$ [%]	$THD I$ [%]	$THD I$ [%]	$THD I$ [%]
x̄r.	175,92	124,47	136,34	128,89
σ	0,02	0,00	0,02	0,01
R	1,96	0,53	2,04	0,89
Min.	174,89	124,21	135,42	128,48
Max	176,85	124,74	137,46	129,37
L	600	600	600	600



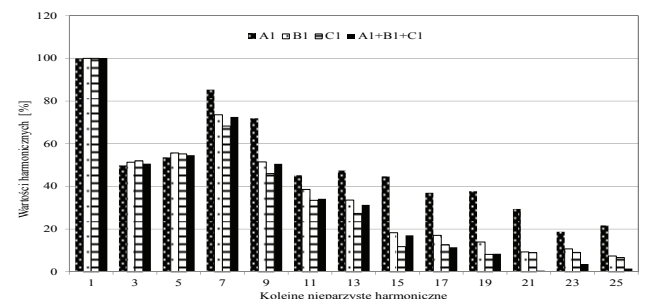
Rys. 7. Wyższe harmoniczne prądu generowane przez kompaktowe źródła światła wyprodukowane przez producentów A, B i C. Świetlówek zasilane były napięciem odkształconym

Fig. 7. Current higher harmonics generated by the compact light sources from A, B and C manufacturers at distorted supply



Rys. 8. Wyższe harmoniczne prądu dla świetlówek, które pracowały w grupach: jedna A1, dwie A1+A2 i trzy A1+A2+A3 i zasilane były napięciem odkształconym

Fig. 8. Current higher harmonics generated by the compact light sources from A manufacturer at distorted supply (group operation – A1, A1+A2, A1+A2+A3)



Rys. 9. Wyższe harmoniczne prądu generowane przez kompaktowe źródła światła, które były wyprodukowane przez producentów A, B, i C. Świetlówek zasilane były napięciem odkształconym

Fig. 9. Current higher harmonics generated by the compact light sources from A, B and C manufacturers at distorted supply (group operation – A1+A2+A3, A1+B1+C1)

Porównując rysunki 4 i 7 można stwierdzić, że przy zasilaniu świetlówek kompaktowych A1, A2 i A3 napięciem odkształconym uwidacznia się wzrost wartości harmonicznych rzędów: 13., 15. i 17., a zmniejszają się wartości harmonicznych 3. i 5. Praca grupowa świetlówek wyprodukowanych przez firmę A również nie wnosi dużych różnic (rys. 8). Natomiast jednoczesna praca świetlówek kilku firm dała korzystne wyniki również w sytuacji, gdy były one zasilane napięciem odkształconym (rys. 9).

5. Wnioski

Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że na rynku dostępne są świetlówek, które generują wyższe harmoniczne prądu ponad dopuszczalne limity. Dotyczy to głównie świetlówek wyprodukowanych przez producenta A. Praca indywidualna, czy grupowa tych świetlówek (A1, A1+A2, A1+A2+A3) nie powoduje zmian wartości generowanych harmonicznych prądu (rys.5.). Jest to spowodowane tym, że w świetlówkach tych zastosowano ten sam elektroniczny układ zasilający. Natomiast korzystne wypadła praca grupowa świetlówek różnych firm (rys. 6). Uzyskane zmniejszenie wartości poszczególnych harmonicznych prądu jest spowodowane tym, że w świetlówkach firm B i C zastosowano inne rozwiązania aplikacyjne i użyto innych elementów do budowy układów zasilających. Dzięki temu świetlówek firm B i C generowały harmoniczne prądu o niższych wartościach niż świetlówek firmy A (rys.4). Oczywiście może się zdarzyć przypadek, w którym praca grupowa świetlówek różnych firm spowoduje wzrost wartości harmonicznych prądu. Dlatego trzeba do danego przypadku podchodzić indywidualnie.

Zasilanie świetlówek kompaktowych napięciem odkształconym powoduje wzrost wartości generowanych wyższych harmonicznych prądu. Jednak niekorzystny wzrost wartości harmonicznych prądu uwidaczniał się bardziej w przypadku świetlówek firmy A. Przykładowo, wartość współczynnika THD prądu, dla świetlówek kompaktowej A1, wzrosła ze 142,53% do 179,98% odpowiednio dla zasilania jej napięciem sinusoidalnym i odkształconym. Natomiast w przypadku świetlówek firm B i C ten wzrost jest mniejszy i wyniósł około 18%.

Poruszone w artykule zagadnienia są nadal aktualne, gdyż liczba świetlówek kompaktowych jest znacząca w grupie odbiorców oświetleniowych.

W pracach badawczych wykorzystano aparaturę zakupioną w wyniku realizacji projektów:

- „Rozbudowa infrastruktury naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej”, nr POPW.01.03.00-18-012/09, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Rozwoju Polski Wschodniej 2007-2013, Priorytet I, Nowoczesna Gospodarka, Działanie 1.3, Wspieranie Innowacji;
- „Budowa, rozbudowa i modernizacja bazy naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej”, nr UDA-RPPK.01.03.00-18-003/10-00, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007-2013.

6. Literatura

- Markiewicz H.: Niezawodność dostawy i jakość energii elektrycznej jako kryteria wyznaczające sposoby zasilania odbiorców i wykonania instalacji elektrycznych, Polskie Centrum Promocji Miedzi nr 19\11\2002.
- Gabryjelski Z., Kowalski Z.: Sieci i urządzenia oświetleniowe, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej 1997.
- Gabryjelski Z.: Świetlówek kompaktowe jako źródła zaburzeń elektromagnetycznych, Przegląd Elektrotechniczny nr 9, s100-103, 2007.
- Koch A.S. Harmonics and Resonances in Low Voltage Grid Caused by Compact Fluorescent Lamps, IEE, 2010.
- Matvoz D. Maksić M.: Impact of Compact Fluorescent Lamps on the Electric Power Network, IEE, 2008.

otrzymano / received: 14.05.2014

przyjęto do druku / accepted: 01.07.2014

artykuł recenzowany / revised paper