

doi:10.15199/48.2020.03.18

Pomiary zakłóceń generowanych przez energooszczędne źródła światła z zasilaczami impulsowymi.

Streszczenie. W artykule opisano zakłócenia generowane przez zasilacze impulsowe energooszczędnych źródeł światła. Przeprowadzono pomiary zawartości harmonicznych prądu THDI oraz emisji zakłóceń przewodzonych i promieniowanych. Pomiarów dokonano dla pięciu różnych energooszczędnych źródeł światła i porównano je z żarówką halogenową o mocy 100 W.

Abstract. In the article has been described generated disturbances by switched-mode power supplies of energy-saving light sources. The current harmonics content, conducted interference and electromagnetic interference has been measured. Five different energy-saving light sources has been measured and compared with 100 W halogen bulb (**Measurement of disturbances of switched-mode power supplies energy-saving light sources**).

Słowa kluczowe: źródła światła, zasilacz impulsowy, licznik energii elektrycznej, zakłócenia przewodzone, zakłócenia promieniowane.

Keywords: source of light, switched-mode power supply, electricity meter, conducted interference, electromagnetic interference.

Wstęp

W ostatnich latach można zaobserwować duży wzrost zastosowania energooszczędnych źródeł światła wykorzystujących świetlówki kompaktowe oraz diody LED. Spowodowane jest to wprowadzoną w 2009 roku dyrektywą Komisji Europejskiej nakazującą stosowanie do oświetlenia energooszczędnych źródeł światła. Ze względów na gabaryty oraz dostępność tanich elementów elektronicznych w większości produkowanych obecnie lamp energooszczędnych do zasilania elementów emitujących światło stosuje się impulsowe przetwornice AC/DC. Układy tego typu są nieliniowymi odbiornikami energii elektrycznej, generują więc wyższe harmoniczne prądu, co w konsekwencji prowadzi również do odkształcenia napięcia zasilającego. Pracujące z częstotliwością kilkudziesięciu kiloherców zasilacze impulsowe mogą również generować zakłócenia przenoszone przez sieć zasilającą (zakłócenia przewodzone) oraz przez fale elektromagnetyczne (zakłócenia promieniowane). Dopuszczalne poziomy zakłóceń określone są w normie PN-EN 55015 [1].

W laboratorium EMC firmy Pozyton przebadane zostały najczęściej stosowane energooszczędne źródła światła. Pomiary miały na celu określenie rzeczywistego wpływu ich zasilaczy na parametry prądu i napięcia sieci zasilającej. Zbadano również poziomy generowanych zakłóceń przewodzonych i promieniowanych.

Do pomiarów wykorzystano licznik energii elektrycznej typu EPS produkowany przez firmę Pozyton. Licznik ten, oprócz pomiaru energii elektrycznej, umożliwia pomiar parametrów napięcia, prądu oraz mocy. W przeprowadzonych badaniach licznik wykorzystano do pomiaru wartości skutecznej napięcia zasilania, prądu, mocy czynnej pobieranej, współczynników THDU oraz THDI i harmonicznych prądu.

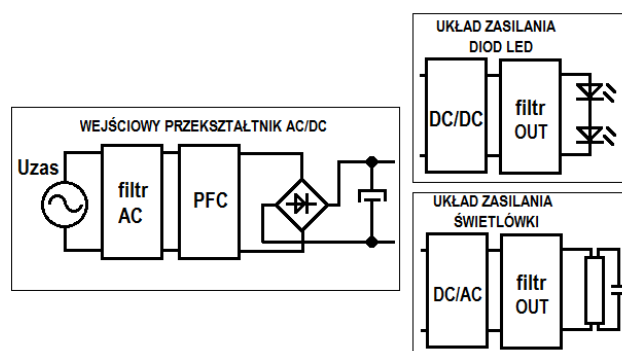
Impulsowe zasilacze źródeł światła

Do najczęściej spotykanych zasilaczy stosowanych w lampach energooszczędnych o mocach powyżej 4 W należą impulsowe przetwornice AC/DC [2]. W zasilaczach źródeł światła o mocy nieprzekraczającej 3 W wykorzystujących diody LED można również spotkać zasilacze kondensatorowe. Więcej informacji na temat zasilaczy kondensatorowych można znaleźć w nocie aplikacyjnej firmy Microchip AN954 [3].

Schemat blokowy zasilacza impulsowego stosowanego do zasilania źródeł światła przedstawia rysunek 1. Na schemacie blokowym można wyróżnić dwa podstawowe układy: przetwornik AC/DC - jest to najczęściej

prostownik w układzie mostka Graetza wraz z kondensatorem filtrującym oraz przetwornicę zasilającą elementy emitujące światło. Do zasilania diod LED jest to przetwornica DC/DC ze stabilizacją prądu wyjściowego, natomiast do zasilania świetlówek stosuje się przetwornice DC/AC o napięciu wyjściowym kilkadziesiąt woltów i częstotliwości około 20 kHz. Przetwornice zasilające świetlówki wyposażone są dodatkowo w układ podgrzewania żarników oraz układ zapłonowy, który generuje napięcie około 500 V niezbędne do zapłonu świetlówek.

Najczęściej występujące topologie przetwornic DC/DC to flyback, oraz buck. Przetwornica typu flyback charakteryzuje się zastosowaniem transformatora, przez co zapewniona jest separacja galwaniczna zasilanego układu. Zasilacze typu buck nie posiadają transformatora separującego są więc stosowane w kompaktowych źródłach światła LED o mocach do kilkunastu watów [4]. Zaznaczone na rysunku 1 bloki: filtr AC, układ PFC oraz filtr OUT nie są niezbędne do poprawnej pracy zasilacza, wpływają one jednak na poprawę jakości zasilania zarówno po stronie sieci zasilającej, jak i odbiornika. Ze względu na koszty oraz zajmowane miejsce w dużej ilości zasilaczy układy te są pomijane, co skutkuje bardzo dużym poziomem generowanych zakłóceń.

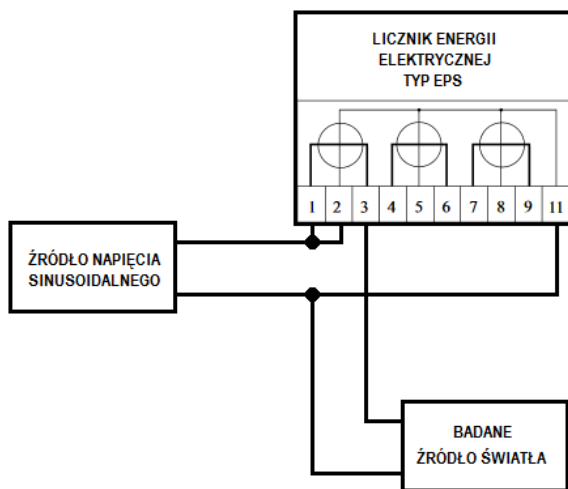


Rys.1. Schemat blokowy impulsowego zasilacza energooszczędnych źródeł światła

Pomiary oddziaływania na sieć zasilającą

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawia rysunek 2. Jako źródło zasilające zastosowany został wzorcowy generator napięcia o mocy 1000 VA, a do

pomiarów został użyty licznik energii elektrycznej EPS 3x57,7/100...3x230/400 V 0,01-1(10) A klasy C. Zastosowanie licznika klasy C oznacza że dla prądów większych od 50 mA niepewność przeprowadzonych pomiarów wynosiła $\pm 0,5\%$. Aby wyeliminować wpływ zasilania licznika na wyniki pomiarów, licznik zasilono z zasilacza pomocniczego.



Rys.2. Schemat stanowiska pomiarowego

Przeprowadzono pomiar następujących wielkości:

- napięcia zasilającego U_{RMS} ,
- prądu zasilania I_{RMS} ,
- mocy czynnej P ,
- mocy biernej Q ,
- mocy pozornej S ,
- współczynnika zawartości harmonicznego napięcia $THDU$,
- współczynnika zawartości harmonicznego prądu $THDI$,
- wartości poszczególnych harmonicznego prądu (do 11 harmonicznego).

Badane źródła światła miały niewielką moc znamionową w stosunku do zastosowanego zasilacza dlatego nie miały dużego wpływu na odkształcenia przebiegu napięcia zasilania. Nie analizowano więc harmonicznego napięcia.

W ramach niniejszej pracy przebadano następujące źródła światła:

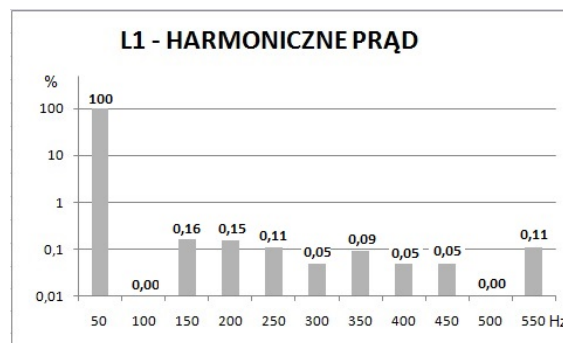
- L1 - żarówka halogenowa o mocy znamionowej $P_z = 100\text{ W}$,
- L2 - kompaktowa lampa LED w obudowie żarówki z gwintem E27 o mocy znamionowej $P_z = 9,5\text{ W}$,
- L3 - kompaktowa lampa LED w obudowie żarówki z gwintem E27 o mocy znamionowej $P_z = 10\text{ W}$,
- L4 - świetlówka kompaktowa w obudowie żarówki z gwintem E27 o mocy znamionowej $P_z = 9,5\text{ W}$,
- L5 - świetlówka kompaktowa w obudowie żarówki z gwintem E27 o mocy znamionowej $P_z = 11\text{ W}$,
- L6 - zasilacz 12 V 50 W przeznaczony do zasilania żarówek halogenowych 12 V lub taśm LED. Zasilacz był obciążony żarówką 12 V 21 W.

Badane lampy LED oraz świetlówki kompaktowe pochodziły od różnych producentów.

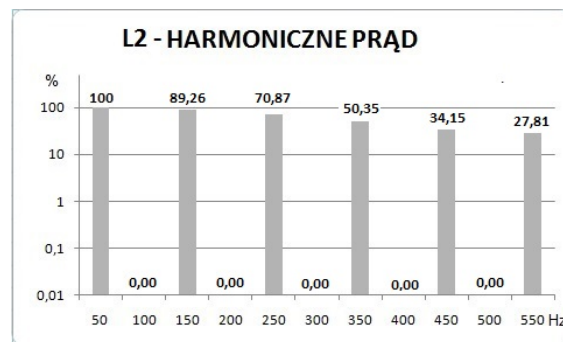
Porównanie wyników pomiarów poszczególnych źródeł światła zawiera tabela 1, natomiast rysunki 3-8 przedstawiają wykresy harmonicznego prądu zasilania.

Tabela 1. Zmierzone przez licznik EPS wielkości elektryczne badanych źródeł światła

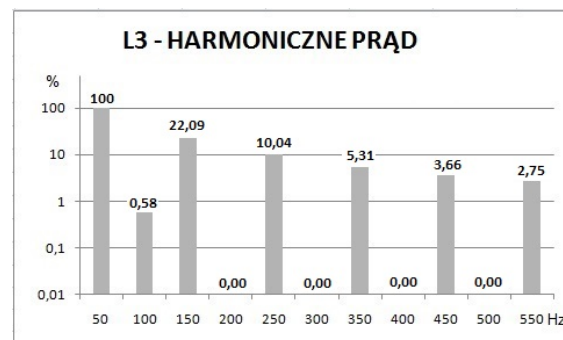
Źródło światła	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Moc znamionowa P_z [W]	100	9,5	10	9,5	11	21
Napięcie zasilania U_{RMS} [V]	230,9	230,0	229,5	230,5	230,0	230,5
Prąd zasilania I_{RMS} [A]	0,44	0,08	0,05	0,07	0,07	0,09
Moc czynna P [W]	101,5	9,4	10,3	9,6	10,0	21,6
Moc bierna Q [var]	0,6	3,3	2,9	3,6	4,6	1,5
Moc pozorna S [VA]	101,6	17,5	11,4	17,0	16,5	21,9
$THDI$ [%]	0,40	145,25	25,96	132,07	110,59	6,28
$THDU$ [%]	0,25	2,10	0,77	1,85	2,08	1,09



Rys.3. Żarówka halogenowa L1 - harmonicznego prądu zasilania



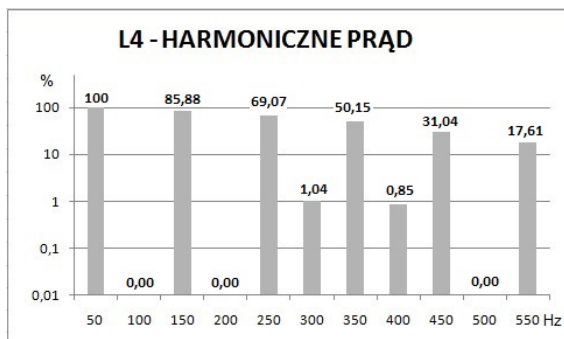
Rys.4. Kompaktowa lampa LED L2 - harmonicznego prądu zasilania



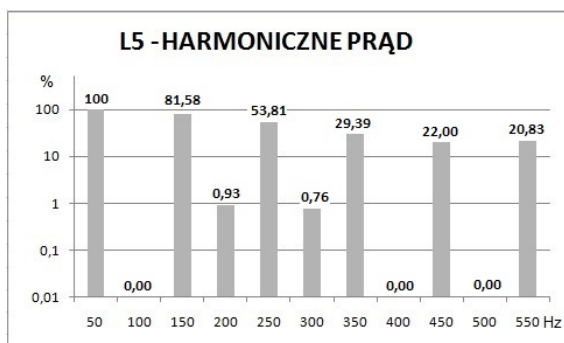
Rys.5. Kompaktowa lampa LED L3 - harmonicznego prądu zasilania

Przeprowadzane pomiary dowodzą że energooszczędne źródła światła zawierające zasilacze impulsowe pobierają z sieci zasilającej prąd silnie odkształcony. Spowodowane jest to obecnością na wejściu zasilacza układu prostowniczego. W kompaktowych

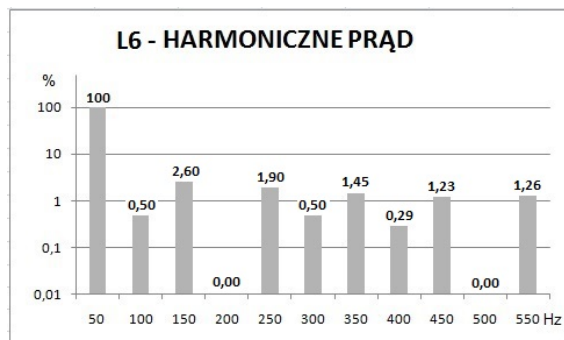
źródła światła, ze względu na ograniczoną ilość miejsca, montowane są kiepskiej jakości filtry wejściowe, o czym świadczą duże współczynniki *THDI*. W porównaniu do żarówki halogenowej można również zauważyć większą moc bierną pojemnościową. W instalacjach zawierających znaczną ilość energooszczędnych źródeł światła moc ta może osiągnąć znaczne wartości, powodując dodatkowe straty na rezystancji obwodów zasilających.



Rys.6. Świetlówka kompaktowa L4 - harmoniczne prąd zasilania



Rys.7. Świetlówka kompaktowa L5 - harmoniczne prąd zasilania



Rys.8. Zasilacz L6 - harmoniczne prąd zasilania

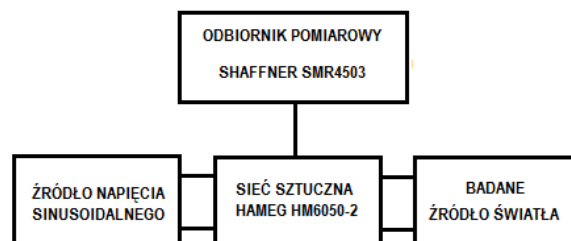
Przebadany zasilacz L6 charakteryzował się najmniejszym zmierzonym współczynnikiem *THDI* ze wszystkich energooszczędnych źródeł światła. Układ ten w swojej strukturze zawierał sporej wielkości dławik filtrujący prąd zasilania. Zasilacz ten nie zawierał jednak żadnego filtra na wyjściu napięcia zasilającego źródło światła. W czasie badań można było zauważyć zwiększony poziom szumów odbiornika radiowego znajdującego się w sąsiednim pomieszczeniu, dlatego wszystkie badane energooszczędne źródła światła zostały poddane badaniom poziomu zakłóceń przewodzonych oraz promieniowanych.

Pomiar emisji zakłóceń przewodzonych

Zakłócenia przewodzone generowane przez zasilacze impulsowe są kolejnym niekorzystnym zjawiskiem oddziałującym na sieć zasilającą. Maksymalne

dopuszczalne poziomy zakłóceń mierzonych na zaciskach zasilania określa norma PN-EN 55015. Norma ta narzuca wykonanie pomiaru napięcia zaburzeń dla częstotliwości od 9 kHz do 30 MHz.

Schemat stanowiska laboratoryjnego przeznaczonego do pomiarów emisji zakłóceń przewodzonych znajduje się na rysunku 9. Ponieważ żarówka halogenowa (źródło światła L1) jest odbiornikiem rezystancyjnym i nie generuje zakłóceń przewodzonych została pominięta w badaniach. W tabeli 2 zestawiono wyniki pomiarów pozostałych źródeł światła.



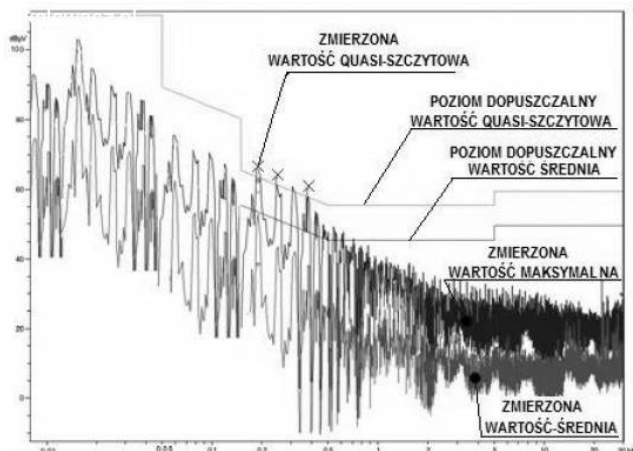
Rys.9. Schemat stanowiska laboratoryjnego do pomiarów zakłóceń przewodzonych

Tabela 2. Wyniki pomiarów zakłóceń przewodzonych energooszczędnych źródeł światła

Źródło światła	L2	L3	L4	L5	L6
Wynik pomiarów	NIE	TAK	TAK	TAK	TAK

gdzie: *TAK* - źródło światła spełnia wymagania normy PN-EN 55015 w zakresie emisji zakłóceń przewodzonych, *NIE* - źródło światła nie spełnia wymagań normy PN-EN 55015 w zakresie emisji zakłóceń przewodzonych.

Z przeprowadzonych badań wynika, że źródło światła L2 nie spełnia wymagań normy. Wykres zakłóceń przewodzonych dla tego źródła światła jest pokazany na rysunku 10. Zmierzona wartość quasi-szczytowa napięcia zaburzeń dla trzech częstotliwości przekracza dopuszczalny limit. Przekroczone zostały wartości dla składowych widma o częstotliwościach 200 kHz, 275 kHz i 400 kHz. W przypadku emisji przewodzonej dla zakresu częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz norma określa dwa limity poziomu zaburzeń dla wartości średniej oraz quasi-szczytowej. Przekroczenie któregokolwiek poziomu skutkuje tym, że badany obiekt nie spełnia wymagań normy.

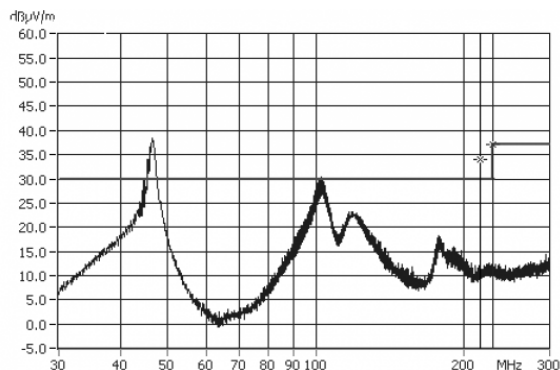


Rys.10. Wykres zakłóceń przewodzonych dla źródła światła L2

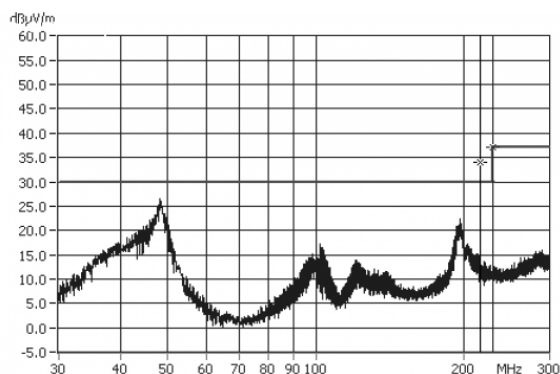
Pomiar emisji zakłóceń promieniowanych

Norma PN-EN 55015 określa również dopuszczalne poziomy zakłóceń promieniowanych przez urządzenia oświetleniowe. Oprócz pomiaru zakłóceń promieniowanych

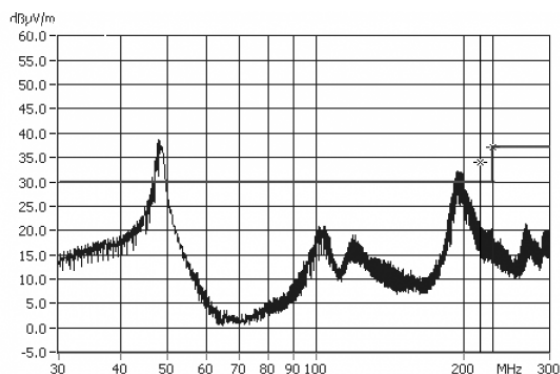
na poligonie otwartym lub w komorze GTEM w załączniku B normy jest opisany alternatywny sposób z wykorzystaniem układów sprzęgająco-odsprzęgających CDN. W pracy [5] wykazano że jest to metoda kontrowersyjna i obciążona dużymi błędami.



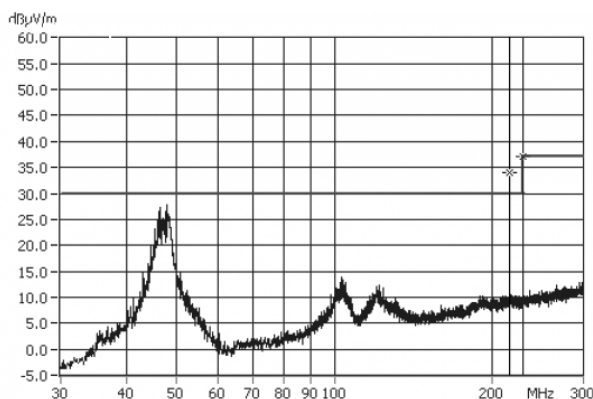
Rys.11. Kompaktowa lampa LED L2 - zakłócenia promieniowane



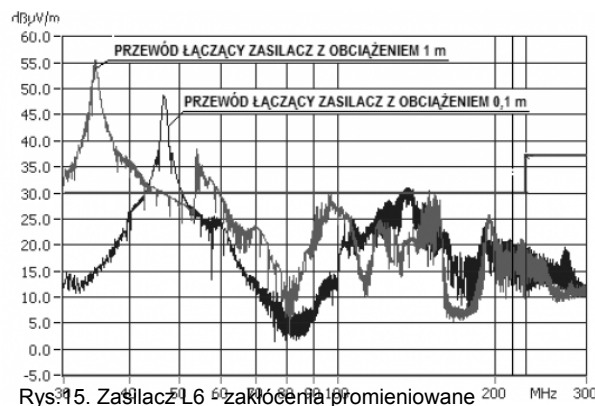
Rys.12. Kompaktowa lampa LED L3 - zakłócenia promieniowane



Rys.13. Świetlówka kompaktowa L4 - zakłócenia promieniowane



Rys.14. Świetlówka kompaktowa L4 - zakłócenia promieniowane



Rys.15. Zasilacz L6 - zakłócenia promieniowane

W badaniach źródeł światła przeprowadzonych w laboratorium firmy POZYTON do pomiarów została zastosowana metoda wykorzystująca komorę GTEM. Rysunki 11-15 przedstawiają wyniki pomiarów lamp energooszczędnych z wykorzystaniem komory GTEM1000 oraz odbiornika SHAFFNER SMR4503. W przypadku źródła światła L1 - żarówki halogenowej nie zmierzono żadnych zakłóceń promieniowanych poza szumem układu pomiarowego.

Rysunek 15 przedstawia wykres zakłóceń promieniowanych zasilacza L6 dla różnych długości przewodów łączących obciążenie z badanym zasilaczem. Należy zwrócić uwagę na znaczny wzrost zakłóceń promieniowanych po zastosowaniu dłuższych przewodów.

Wnioski

Przeprowadzone badania i ich wyniki wykazały, że lampy LED są źródłem zaburzeń wprowadzanych do sieci elektroenergetycznej oraz zakłóceń promieniowanych. Poziom tych zaburzeń jest znaczny w odniesieniu do mocy czynnej lamp.

W przypadku zastosowania dużej ilości tego typu źródeł światła mogą one zakłócać pracę niektórych urządzeń elektronicznych, takich jak: czułe instrumenty pomiarowe czy odbiorniki radiowe i telewizyjne. Harmoniczne pobieranego prądu niekorzystnie wpływają na aparaty elektryczne powodując dodatkowe straty oraz przyspieszając degradację izolacji kabli energetycznych i kondensatorów. Wszystkie przebadane energooszczędne źródła światła mogą więc przyczynić się do pogorszenia jakości energii elektrycznej.

Autor: Piotr Makles

Zakład Elektronicznych Urządzeń Pomiarowych

POZYTON Sp. z o.o. E-mail: p.makles@pozyton.com.pl

LITERATURA

- [1] PN-EN 55015 - Poziomy dopuszczalne i metody pomiarów zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez elektryczne urządzenia oświetleniowe i urządzenia podobne.
- [2] <https://www.power.com>. Noty aplikacyjne.
- [3] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00954a.pdf> AN954 "Transformless Power Supplies" Microchip 08/24/04.
- [4] Putz Ł, Kurzawa M.: Budowa i działanie układów sterująco - zasilających zintegrowanych w lampach LED. Zeszyt naukowy nr 92. Poznań 2017.
- [5] Brodecki D.: Problemy pomiaru zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez źródła światła LED. Przegląd Elektrotechniczny 3/2019.