

Edward CADLER¹, Kazimierz HERLENDER²

ENE Operator Sp. z o.o., Oddział Dystrybucji Gorzów Wlkp. (1),
Politechnika Wroclawska, Instytut Energoelektryki (2)

Oprawy oświetlenia zewnętrznego z półprzewodnikowymi źródłami światła LED

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę wpływu opraw oświetlenia zewnętrznego z półprzewodnikowymi źródłami światła LED na jakość energii elektrycznej. Oprawy oświetleniowe zasilano z obwodów o różnych wartościach współczynników odkształcenia napięcia zasilającego. Porównano wyniki badań eksperymentalnych z informacjami technicznymi przedstawianymi przez producentów opraw.

Abstract. The article presents an analysis of the impact of external lighting fittings of solid state LED light sources on the quality of electricity. Luminaires powered from lighting circuits with different values of voltage distortion factor. Compared the results of experimental research with the technical information presented by luminaire manufacturers.

Słowa kluczowe: półprzewodnikowe diody emitujące światło, oprawy oświetleniowe, sieć zasilająca, eksploatacja, ekologia

Keywords: light emitting diode, luminaries, power network, exploitation, ecology

Wstęp

W przemyśle oświetleniowym jesteśmy świadkami zmian rewolucyjnych w zakresie sposobu generowania promieniowania widzialnego. Po wynalezieniu lampy gazowej (1792 r. - W. Murdoch), odkryciu zjawiska żarzenia włókna węglowego w próżni (1838 r. – Jobard) i żarzenia drutu platynowego w próżni (1843 r. – R. Grove) oraz lampy jarzeniowej-światłówki (1934 r. – A. Campton) półprzewodnikowe diody emitujące światło (ang. Light Emitting Diode - LED) należą do IV generacji źródeł światła tzw. świecących ciał stałych (ang. Solid State Lighting - SSL).

Diody elektroluminescencyjne LED

Podstawą działania diod LED jest zjawisko elektroluminescencji. Zjawisko elektroluminescencji pierwszy zaobserwował i udokumentował Henry J. Round w roku 1907. W 1936 r. Georges Destriau opublikował wyniki badań luminescencji i jako pierwszy użył wyrażenia „elektroluminescencja” do określenia badanego przez siebie zjawiska. Pierwsze diody LED wyprodukowano w 1962 roku. Intensywne prace nad rozwojem diod spowodowały, że w latach osiemdziesiątych XX wieku dysponowano diodami emitującymi światło różnego koloru, oprócz białego. Kilka lat później technika oświetleniowa dysponuje już półprzewodnikowymi źródłami światła o wysokiej wydajności, emitującymi światło w trzech podstawowych barwach: czerwonej, zielonej i niebieskiej. W wyniku połączenia tych barw (RBG) możliwe staje się otrzymanie światła białego. Dlatego drugą połowę lat 90-tych ubiegłego wieku możemy uważać za okres narodzin nowej generacji źródeł światła białego dla techniki oświetleniowej. Wykorzystywane są również diody wysokiej jasności (High Brightness LED) znane jako HBLED. Diody LED są przyrządami półprzewodnikowymi dokonującymi bezpośrednio zamiany energii elektrycznej na promieniowanie świetlne.

Półprzewodnikowe źródła światła LED charakteryzują następujące parametry:

- duża wydajność świetlna (>100 lm/W, dioda biała o $T_b=5000$ K),
- bardzo duża trwałość (>50000 godzin pracy),
- duża odporność na wstrząsy, uderzenia i wibracje,
- różne barwy światła eliminujące potrzebę użycia filtrów,
- wysoki wskaźnik oddawania barw diod o świetle białym CRI 95,
- małe gabaryty i waga,
- możliwość częstego załączania i natychmiastowego zaświecenia,
- praca przy niskim napięciu zasilania,
- brak promieniowania nadfioletowego i podczerwonego,
- praca w szerokim zakresie temperatur ($-30 \div 45$) °C,
- duży współczynnik mocy $\geq 0,97$,
- przyjazne środowisku: brak rtęci, ołowiu i kadmu.

Powyższe zalety półprzewodnikowych źródeł światła pozwoliły zmienić podejście do projektowania opraw oświetlenia zewnętrznego. Oprawy z diodami LED to skomplikowany system oświetleniowy wykorzystujący zalety półprzewodnikowych źródeł światła, złożoną optykę oraz zarządzanie ciepłem (ang. thermal management).

Oprawa oświetlenia zewnętrznego z diodami LED zapewnia:

- precyzyjne ukształtowanie rozsyłu światła, eliminuje olśnienie i nie zanieczyszcza środowiska światłem rozproszonym,
- dużą skuteczność świetlną dzięki wtórnemu układowi optycznemu,
- światło o wysokim współczynniku oddawania barw,
- „szybki start”, co pozwala na osiągnięcie pełnej jasności natychmiast po włączeniu,
- 50000 godzin pracy (ponad 13 lat eksploatacji bez potrzeby wymiany źródeł światła),
- brak promieniowania UV i IR,
- eliminację efektu stroboskopowego i migotania,
- odporność na wibrację, uderzenia i wstrząsy,
- bezgłośną pracę w każdych warunkach,
- wysoką sprawność 70 lm/W,
- wysoki współczynnik mocy >90%,
- współczynnik odkształcenia napięcia THDu < 20,
- pracę w szerokim zakresie temperatur ($-30 \div 45$) °C,
- wiele opcji sterowania natężeniem oświetlenia (m.in.: automatyczna redukcja mocy, współpraca z czujnikiem ruchu, stosowanie czujnika zmierzchowego).

Zastosowanie mikroprocesorowego zasilacza sterującego ważnymi parametrami matryc diodowych pozwala na:

- zabezpieczenie przed zwarcieniem i rozwarciem diody,
- zabezpieczenie termiczne oprawy (redukcja mocy oprawy po osiągnięciu progów temperaturowych 70 °C i 80 °C oraz definitywne wyłączenie zasilania w przypadku przekroczenia temperatury 85 °C, krytycznej dla działania diod).

Zakres badań

Do badań wykorzystano trzy oprawy oświetleniowe z półprzewodnikowymi źródłami światła LED:

- oprawę Lumis-LED o mocy 36 W, 40 diod LED (24 diody białe i 16 czerwonych),
- oprawę LU 2 o mocy 56 W, 56 białych diod LED,
- oprawę LU 6 o mocy 168 W, 168 białych diod LED.

Pierwsza oprawa wyprodukowana została przez firmę holenderską, a dwie następne wyprodukowano w Chinach.

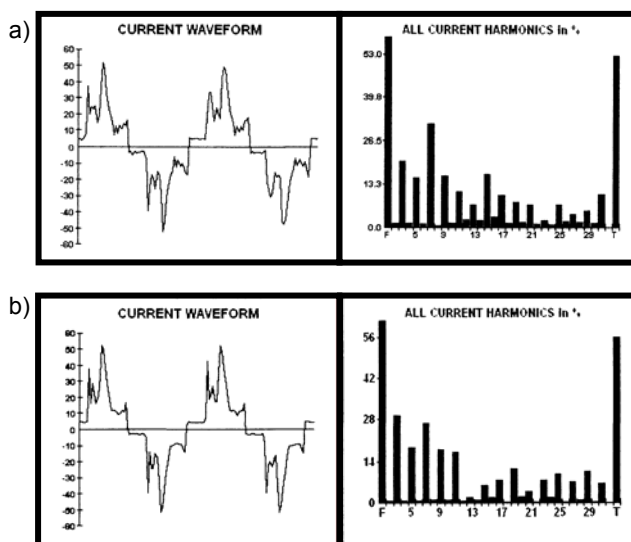
VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

Dla wymienionych opraw przeprowadzono następujące badania:

- wpływ opraw oświetlenia zewnętrznego z półprzewodnikowymi źródłami światła LED na jakość energii elektrycznej z uwzględnieniem wyników badań eksperymentalnych na obiektach rzeczywistych,
- pomiar opraw zasilanych z obwodów o różnych wartościach współczynników odkształcenia napięcia zasilającego THDu,
- porównanie otrzymanych wyników badań z danymi technicznymi podawanymi przez producentów opraw oraz z unormowaniami prawnymi.

W referacie przedstawiono wybrane wyniki pomiarów współczynników charakteryzujących oddziaływanie opraw oświetleniowych z półprzewodnikowymi źródłami światła na sieć. Wyniki przedstawiono jako średnie wartości z wielu pomiarów wykonanych w różnym czasie, przy różnych współczynnikach odkształcenia napięcia THDu. Oprawy zasilano z:

- publicznej sieci zasilającej,
- wydzielonego obwodu,
- przetwornicy tyrystorowej.

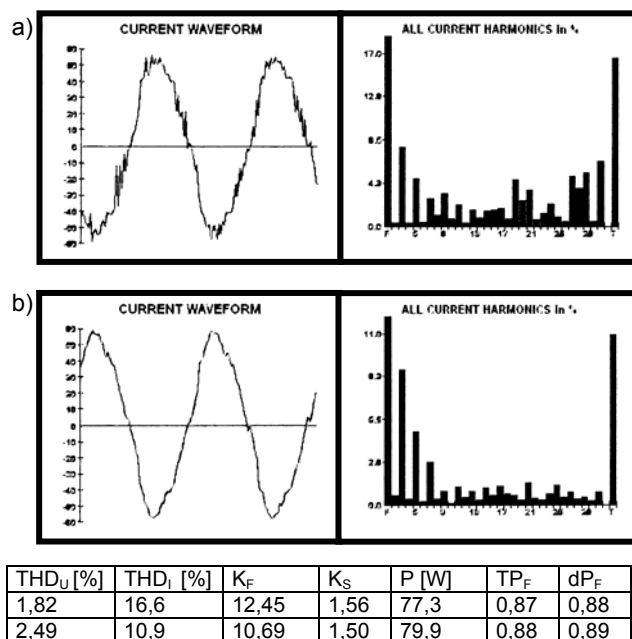


THDu [%]	THDi [%]	K _F	K _S	P [W]	TP _F	dP _F
1,83	52,5	32,53	2,57	41,6	0,86	0,98
2,32	56,1	35,53	2,52	41,2	0,84	0,97

Rys.1. Przebiegi i widma amplitudowe prądu oraz wartości współ-czynników oprawy oświetleniowej LED 36 W zasilanej z: a) przetwornicy tyrystorowej, b) wydzielonego obwodu

Pomiary i ich rejestrację wykonano przenośnym analizatorem jakości energii elektrycznej [1].

Nowoczesne układy oświetleniowe z półprzewodnikowymi źródłami światła LED są coraz powszechniej stosowane w oświetleniu zewnętrznym.



Rys.2. Przebiegi i widma amplitudowe prądu oraz wartości współ-czynników oprawy oświetleniowej LED 56 W zasilanej z: a) przetwornicy tyrystorowej, b) wydzielonego obwodu

Na rysunkach 1÷3 przedstawiono przebiegi i widma amplitudowe prądu oraz zmierzone wartości współczynników charakteryzujących badane oprawy.

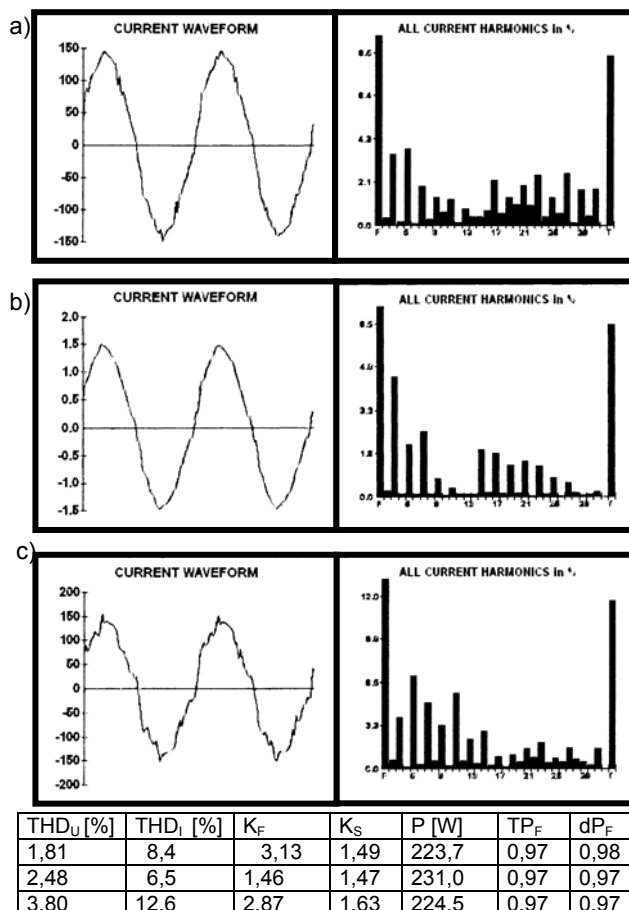
Oznaczenia współczynników:

- THD_I – (Total Harmonic Distorsion) współczynnik odkształcenia prądu: pierwiastek kwadratowy z sumy kwadratów pierwszych 31 harmonicznnych prądu podzielony przez kwadrat podstawowej harmonicznej,
- TP_F – (Tru Power Factor) rzeczywisty współczynnik mocy: stosunek mocy czynnej do pozornej uwzględniający wpływ harmonicznnych,
- dP_F – (displacement Power Factor) przesunięciowy współczynnik mocy: stosunek mocy czynnej do pozornej podstawowej harmonicznej,
- K_S – współczynnik szczytu prądu: stosunek wartości szczytowej do wartości skutecznej,
- K_F – współczynnik oddziaływania odkształconego prądu na transformator: uwzględnia wagowy udział harmonicznnych - syntetyczny wskaźnik szkodliwego oddziaływania odkształconego prądu na transformator.

Deklarowana moc opraw jest spełniona przy założeniu, że dioda pobiera moc równą 1 W (w oprawie 36 W jest 16 diod czerwonych i 24 białych). Mikroprocesorowe układy zasilające układy matryc LED są skonstruowane w celu zapewnienia optymalnych parametrów elementom zasilanym. Rzeczywisty współczynnik mocy TP_F jest zgodny z wartością podaną przez producenta tylko w oprawie o mocy 168 W, ponieważ przekroczył wartość 0,90 i równy jest 0,97 dla trzech systemów zasilania. Współczynnik odkształcenia prądu THD_I według producenta nie powinien przekroczyć 20%, wymogu tego nie spełnia oprawa 36 W (THD_I przekroczył wartość 52% i 56%). Jeżeli prąd pobierany przez oprawę jest odkształcony, to jego wartość skuteczna wielokrotnie przewyższa jego wartość średnią. Oprawy oświetleniowe (impulsowe układy

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

zasilające, układy matryc LED) charakteryzują się różnymi wartościami wielkości elektrycznych, np. współczynnik szczytu prądu K_S ma największą wartość (przekracza 2,5) a zarazem jest najmniej korzystny dla sieci zmierzony w oprawie produkcji holenderskiej o mocy 36 W.



Rys.3. Przebiegi i widma amplitudowe prądu oraz wartości współ-czynników oprawy oświetleniowej LED 168 W zasilanej z: a) przetwornicy tyrystorowej, b) wydzielonego obwodu, c) publicznej sieci zasilającej

Oprawa ta, mimo że jest najmniejszej mocy, niestety wykazuje bardzo niekorzystne dla sieci i odbiorców wartości współczynników K_S , K_F i THD_I . Dominującą harmoniczną w widmie amplitudowym prądu w obwodzie zasilanym z przetwornicy jest siódma harmoniczna (31,5%), następne są o wartościach malejących. 31 harmoniczna jest porównywalna z 3 i 5 harmoniczną. W wydzielonym obwodzie wartości współczynników porównywalne są do współczynników omówionych powyżej. W oprawie 56 W współczynnik szczytu prądu K_S osiągnął porównywalną wartość 1,56 i 1,50 odpowiednio dla obwodu zasilanego z przetwornicy tyrystorowej i obwodu wydzielonego, co obrazuje

przebieg prądu zbliżony do przebiegu sinusoidalnego. Współczynnik oddziaływania odkształconego prądu na transformator K_F jest trzykrotnie mniejszy, a współczynnik odkształcenia prądu THD_I jest wielokrotnie mniejszy niż w oprawie 36 W. Na uwagę zasługuje wartość współczynników TP_F i dP_F , ale wynika to z konstrukcji układu zasilającego. Oprawa 168 W, w zależności od obwodu z którego jest zasilana (THD_U zawiera się w przedziale od 1,81 do 3,80%) pobiera prąd o małej wartości współczynnika odkształcenia (6,5÷12,6)%. Układ zasilający tej oprawy charakteryzuje się małym stopniem oddziaływania odkształconego prądu na transformator, K_F zawiera się w przedziale od 1,46 do 3,13. Współczynnik szczytu prądu K_S jest niższy niż w dwóch wcześniej analizowanych oprawach i przyjmuje wartość w obwodzie wydzielonym równą 1,47 a w obwodzie zasilanym z sieci publicznej 1,63. Norma [2] określa dopuszczalne poziomy harmonicznych prądu dla sprzętu oświetleniowego klasy C o wejściowej mocy czynnej większej od 25 W. W czasie wykonywania pomiarów w obwodzie zasilanym z przetwornicy tyrystorowej [3], zawartość harmonicznych w napięciu zasilającym oprawy nie przekraczała wartości określonych w ww. normie. W oprawie LED 56 W harmoniczne rzędu 19, 21, 27, 29 i 31 przekroczyły maksymalny dopuszczalny prąd harmonicznej wyrażony w procentach składowej podstawowej prądu wejściowego. Powyższy wymóg nie jest spełniony dla oprawy 36 W dla harmonicznych nieparzystych w całym spektrum do 31 harmonicznej, z wyłączeniem harmonicznych rzędu 3 i 23. W obwodach zasilanych z wydzielonego i publicznej sieci rozdzielczej nie wykonywano analizy, ponieważ zawartość harmonicznych w napięciu zasilającym przekroczyła wartości dopuszczalne. Analizę współczynników określających stopień oddziaływania oprawy oświetleniowej na sieć zasilającą należy przeprowadzać uwzględniając łącznie wszystkie zmierzone wielkości. W rzeczywistych warunkach sieciowych oprawy oświetleniowe z pół-przewodnikowymi źródłami światła LED, podobnie jak oprawy sodowe [4, 5] mogą oddziaływać na sieć zupełnie inaczej niż wcześniej przedstawione pojedyncze oprawy zasilane z trzech różnych obwodów zasilających. Pośrednio, na pogorszenie jakości energii elektrycznej może mieć wpływ Unijna Dyrektywa dotycząca wycofania ze sprzedaży inkandescencyjnych (temperaturowych, tradycyjnych) żarówek oświetleniowych. W ramach programu zwiększenia efektywności energetycznej zamiennikami żarówek stają się obok świetlówek kompaktowych źródła światła z diodami LED. Inkandescencyjne źródła światła są odbiornikami czysto rezystancyjnymi. Nowoczesne, energooszczędne źródła światła pomimo wielu zalet, są odbiornikami pobierającymi z sieci prąd o odkształconym przebiegu sinusoidalnym. Odbiorniki te są małej mocy, ale są i będą stosowane coraz powszechniej. Oprawy oświetleniowe LED, podobnie jak energooszczędne oprawy z wysokoprężnymi źródłami światła są odbiornikami nieliniowymi i źródłami harmonicznych powodujące zarówno straty techniczne jak i ekonomiczne.

Podsumowanie

W wyniku postępu technicznego jesteśmy w stanie efektywniej wykorzystywać również energię elektryczną. Systematyczne zwiększanie się liczby odbiorników nieliniowych, w tym energooszczędnych źródeł światła, coraz częściej sterowanymi inteligentnymi systemami zarządzania wymusza stosowanie urządzeń kompensujących zakłócenia. Producenci nowoczesnych układów oświetleniowych są zainteresowani w umiarkowanym stopniu zbadaniem a następnie zmniejszeniem wpływu generowanych zaburzeń na sieć zasilającą i odbiorniki przez nią zasilane. W tym celu producenci winni określać przebiegi i widma prądów generowanych przez te urządzenia przy określonej wartości współczynnika odkształcenia napięcia zasilającego THD_U . Ze względu na brak literatury oraz pomiarów eksploatacyjnych należy podjąć prace studialne i badawcze mające na celu określenie w zakresie wpływu opraw oświetleniowych z półprzewodnikowymi źródłami światła LED na sieć zasilającą i odbiorniki.

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

LITERATURA

- [1] Instrukcja obsługi analizatora harmoniczných i mocy. Harmonalyzer HA 2000 firmy Amprobe Instrument. 1997.
- [2] Norma PN-EN 61000-3-2:2004 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).Część 3-2: Dopuszczalne poziomy. Dopuszczalne poziomy emisji harmoniczných prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika <16 A).
- [3] Przetwornica DC/AC FBE 220/230/2,5 EUE firmy BENNING Power Electronics.
- [4] Siwik A., Energooszczędne lampy wyładowcze jako źródła zakłóceń w sieciach niskich napięć, liUEE, t.II, z.2, 1996,
- [5] Herlender K., Cadler E., Wpływ sposobu zasilania nowoczesnych układów oświetleniowych na jakość energii elektrycznej, Wiadomości Elektrotechniczne, 2007, nr 7-8, 37-39.

Autorzy: mgr inż. Edward Cadler, ENEA Operator Sp. o.o., Oddział Dystrybucji Gorzów Wlkp., 66-400 Gorzów Wlkp., E-mail: edward.cadler@gorzow.enea.operator.pl
dr inż. Kazimierz Herlender, Politechnika Wroclawska, Instytut Energoelektryki, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: kazimierz.herlender@pwr.wroc.pl

