

doi:10.15199/48.2021.12.37

Badania eksperymentalne zasilacza lampy ulicznej LED

Streszczenie. Praca dotyczy wpływu zmian rezystancji obciążenia oraz wartości skutecznej napięcia zasilającego na parametry eksploatacyjne zasilacza lampy ulicznej LED typu TECEO1. Badania eksperymentalne zostały przeprowadzone dla liniowego obciążenia rezystancyjnego zmieniającego się w zakresie od 10 Ω do 100 k Ω , dla obciążenia nieliniowego w postaci fabrycznego modułu LED oraz dla wartości skutecznej napięcia zasilającego zmieniającej się w zakresie od 100 V do 230 V. Podczas badań eksperymentalnych przeanalizowano także wpływ układu zasilania lampy ulicznej LED na odkształcenia prądu pobieranego z sieci elektroenergetycznej.

Abstract. The paper deals with an influence of changes in load resistance and the rms value of supply voltage on the exploitive parameters of the TECEO1 type LED street lamp power supply. Experimental studies were carried out for the linear load resistance ranging from 10 Ω to 100 k Ω , for nonlinear load in the form of a factory-made LED module and for the rms value of the supply voltage ranging from 100 V to 230 V. The influence of the power supply system of the LED street lamp on the deformations of the current taken from the power grid was also analyzed during the experimental studies. (**Experimental studies of LED street lamp power supply**).

Słowa kluczowe: zasilacz lampy LED, współczynnik zawartości harmoniczných, sprawność energetyczna, pomiary.

Keywords: LED lamp power supply, total harmonic distortion, energy efficiency, measurements.

Wprowadzenie

Półprzewodnikowe źródła światła, a zwłaszcza uliczne lampy LED (Light Emitting Diode) stosowane do oświetlania ulic i chodników wykorzystują do zasilania napięcie przemienne dostarczane z sieci elektroenergetycznej. Znamionowa wartość skuteczna tego napięcia zmienia się w zakresie od 100 V dla systemu energetycznego Japonii do około 230 V dla europejskich systemów energetycznych [1-3]. Przez wiele lat najpopularniejszym układem do polaryzacji diod LED był rezystor włączony szeregowo pomiędzy diodę LED a źródło zasilania [3]. Jednak przy zastosowaniu takiego sposobu stabilizacji prądu przepływającego przez zasilaną diodę LED mocy występowały zbyt duże straty mocy na rezystorze polaryzującym. Producenci specjalizowanych układów scalonych rozwiązali ten problem poprzez wprowadzenie układów przeznaczonych do zasilania i sterowania lamp LED zawierających pojedyncze diody LED mocy połączone w konfiguracji szeregowej, równoległej lub pracujących naprzemiennie [3-5].

Wiele ośrodków badawczych na świecie zajmuje się badaniami eksperymentalnymi oraz analizą parametrów eksploatacyjnych zasilaczy lamp LED [6-9]. W pracach [6-8] przedstawiono wpływ napięcia sieci elektroenergetycznej na wartości parametrów eksploatacyjnych wybranych zasilaczy tradycyjnych lamp LED. W pracy [9] przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych parametrów eksploatacyjnych zasilaczy oraz całych lamp LED sterowanych bezprzewodowo. Analizując wyżej wymienione prace można zauważyć, że położono w nich nacisk głównie na badanie wpływu napięcia zasilającego na parametry eksploatacyjne zasilaczy lamp LED, natomiast pominięto wpływ rezystancji obciążenia na parametry eksploatacyjne wybranej grupy układów energoelektronicznych.

Do budowania lamp LED używa się zazwyczaj modułów LED zasilanych stałym prądem, którego wartość mieści się w zakresie od około 120 mA do około 1500 mA [3]. Dlatego zasilacze stosowane w lampach LED powinny pracować jako układy stabilizujące prąd wyjściowy, a dla zwiększenia sprawności oraz wymiarów powinny być to układy zasilaczy impulsowych stabilizujących prąd wyjściowy w szerokim zakresie zmian napięcia sieci elektroenergetycznej oraz rezystancji obciążenia. Stosowanie zasilaczy o gorszych parametrach eksploatacyjnych może doprowadzić do

pogorszenia się parametrów zasilanych lamp LED, a w najgorszym przypadku do ich przedwczesnego zużycia się.

Ważnym aspektem eksploatacyjnym zasilaczy lamp LED jest wpływ tej klasy układów energoelektronicznych na poziom odkształcenia prądu pobieranego z sieci elektroenergetycznej. Poziom tego odkształcenia można opisać za pomocą współczynnika zawartości harmoniczných prądu THD_i, napięcia THD_u lub współczynnika mocy PF.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych zasilacza wybranej lampy ulicznej LED typu TECEO1 [10]. Układ ten został wybrany ze względu na szeroki zakres zmian napięcia zasilającego pozwalający mu na pracę w różnych systemach energetycznych wykorzystywanych na całym świecie. Wybrany układ zasilacza pracuje jako stabilizator prądu wyjściowego w szerokim zakresie zmian wartości skutecznej napięcia zasilającego oraz wartości rezystancji obciążenia.

W kolejnych sekcjach przedstawiono: parametry eksploatacyjne zasilacza lampy ulicznej LED, schemat blokowy układu pomiarowego oraz wybrane wyniki badań eksperymentalnych w funkcji napięcia zasilającego, przy liniowym obciążeniu rezystancyjnym oraz dla obciążenia nieliniowego w postaci fabrycznego modułu LED.

Opis zasilacza lampy ulicznej LED

Na rysunku 1 przedstawiono widok zasilacza firmy Philips typu Xi FP SNLDAE zamontowanego w lampie ulicznej LED. Zasilacz ten jest zasilany napięciem przemiennym o wartości znamionowej równej 230 V. Badany układ zasilacza charakteryzuje się możliwością programowania wartości prądu wyjściowego w zakresie od 200 mA do 700 mA, co umożliwia mu zdalną kontrolę nad prądem przepływającym przez moduł LED lampy ulicznej poprzez specjalny modem komunikacyjny. Producent przewiduje sprawność układu zasilacza na poziomie 92 % przy napięciu zasilającym zmieniającym się w zakresie od 200 V do 240 V, natomiast współczynnik mocy PF nie jest mniejszy niż 0,95 [10]. Znamionowa moc pobierana podczas normalnej pracy z sieci elektroenergetycznej jest równa około 82 W, natomiast w stanie czuwania układu zasilacza nie przekracza ona 0,45 W. Producent układu zasilacza podaje zakres napięcia pracy od 80 V do 264 V. Wybrane wartości parametrów eksploatacyjnych badanego zasilacza lampy ulicznej LED zostały zebrane w Tabeli 1.



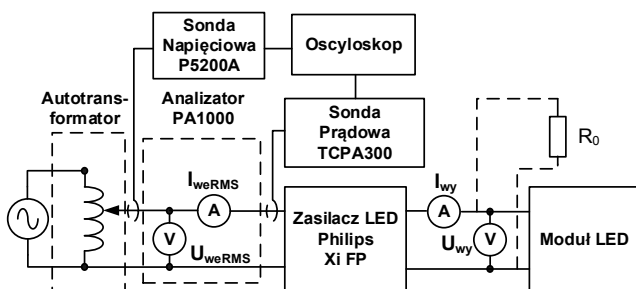
Rys. 1. Widok zasilacza typu Xi FP SNLDAE zamontowanego w lampie ulicznej LED typu TECEO1

Tabela 1. Wybrane parametry eksploatacyjne zasilacza typu Xi FP SNLDAE firmy Philips [10]

Nazwa parametru	Wartość
Znamionowa moc zasilania [W]	82
Zakres programowania prądu wyjściowego [mA]	200÷700
Sprawność energetyczna układu zasilacza [%]	≥ 92
Moc pobierana w trybie czuwania [W]	0,45
Współczynnik zawartości harmonicznych napięcia [%]	≤ 7
Współczynnik mocy [-]	≥ 0,95
Zakres wartości skutecznych napięcia zasilania [V]	80÷264

Opis układu pomiarowego

Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy układu do pomiaru parametrów eksploatacyjnych zasilacza lampy ulicznej LED typu TECEO1.



Rys. 2. Schemat blokowy układu do badania parametrów eksploatacyjnych zasilacza lampy ulicznej LED

Układ ten zawiera autotransformator ATS-REG1.2 [11] pozwalający uzyskać napięcie zasilające AC o wartości skutecznej w zakresie od 0 V do 230 V, dwa multimetry Unit UT804 [12] mierzące wartość napięcia i prądu wyjściowego. Kolejnym elementem układu pomiarowego jest sonda prądowa Tektronix TCPA300 [13] rejestrująca przebiegi prądu zasilającego w celu dalszej szybkiej analizy Fouriera (FFT) tych przebiegów. Do rejestracji przebiegów napięcia zasilającego badanego zasilacza lampy ulicznej LED wykorzystywana jest różnicowa sonda napięciowa typu P5200A [14] produkowana przez firmę Tektronix. Sonda prądowa oraz napięciowa współpracują z oscyloskopem typu GDS2104a [15], którego to oprogramowanie pozwala na przeprowadzenie szybkiej analizy Fouriera rejestrowanych przebiegów okresowych. Wartość skuteczna napięcia oraz prądu wejściowego jest analizowana za pomocą analizatora mocy PA1000 [16] produkowanego przez firmę Tektronix. Analizator ten pozwala na pomiar współczynników zawartości harmonicznych prądu THD_I i napięcia THD_U zasilającego oraz na pomiar współczynnika mocy PF w szerokim zakresie zmian napięcia zasilającego badany zasilacz

lampy ulicznej LED od 100 V do 230 V. Analizowany układ pomiarowy pozwala także na obciążenie badanego układu zasilacza fabrycznym modułem LED oraz obciążeniem rezystancyjnym z zakresu od 10 Ω do 100 kΩ. Na rysunku 3 został przedstawiony widok stanowiska pomiarowego.



Rys. 3. Widok stanowiska do pomiaru parametrów eksploatacyjnych zasilacza lampy ulicznej LED

Całkowite zniekształcenia prądu pobieranego z sieci elektroenergetycznej mogą być charakteryzowane przez współczynnik zawartości harmonicznych THD_I prądu zasilającego, który określa się za pomocą poniższej formuły: [17]

$$(1) \quad THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1} \cdot 100\%$$

gdzie I_1 oznacza podstawową harmoniczną prądu zasilającego, natomiast I_k oznacza k-tą harmoniczną prądu zasilającego.

Jednym z istotnych parametrów opisujących parametry eksploatacyjne wybranego układu energoelektronicznego jest sprawność energetyczna η , którą można obliczyć za pomocą formuły: [17]

$$(2) \quad \eta = \frac{P_{wy}}{P_{weRMS}} \cdot 100\%$$

gdzie P_{wy} oznacza moc wyjściową badanego układu zasilacza, P_{weRMS} oznacza moc pobieraną z sieci elektroenergetycznej.

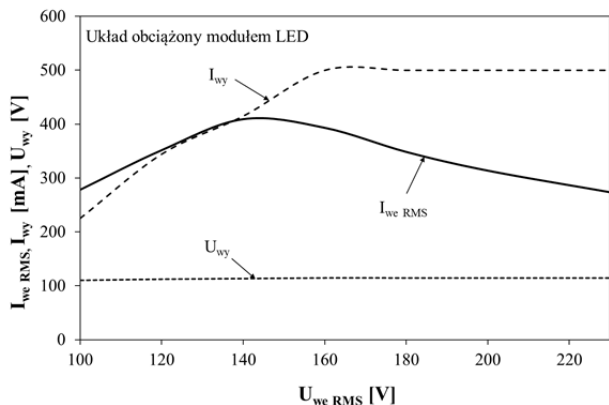
Wyniki badań eksperymentalnych

Za pomocą układu przedstawionego na rysunku 2 przeprowadzono pomiary charakterystyk statycznych zasilacza lampy ulicznej LED typu TECEO1. Wyniki pomiarów zostały zarejestrowane za pomocą analizatora mocy PA1000 oraz multimetrów Unit UT804, natomiast wyniki wykorzystywane do dalszych obliczeń zostały zarejestrowane za pomocą oscyloskopu GDS2104a, którego to oprogramowanie pozwoliło na szybką analizę Fouriera FFT zarejestrowanych przebiegów okresowych prądu i napięcia zasilającego z uwzględnieniem 50 kolejnych wartości skutecznych poszczególnych harmonicznych. Obliczenia zostały wykonane poprzez podstawienie wartości skutecznych poszczególnych harmonicznych do wzoru (1). Na rysunkach od 4 do 6 przedstawiono wpływ wartości skutecznej napięcia zasilającego zmieniającego się w zakresie od 100 V do 230 V na wartości parametrów eksploatacyjnych zasilacza typu Xi FP SNLDAE obciążonego fabrycznym modułem LED, który jest obciążeniem typu nieliniowego.

Na rysunku 4 przedstawiono zależność wartości skutecznej prądu zasilającego I_{weRMS} , wartości prądu

wyjściowego I_{wy} oraz wartości napięcia wyjściowego U_{wy} od wartości skutecznej napięcia zasilającego.

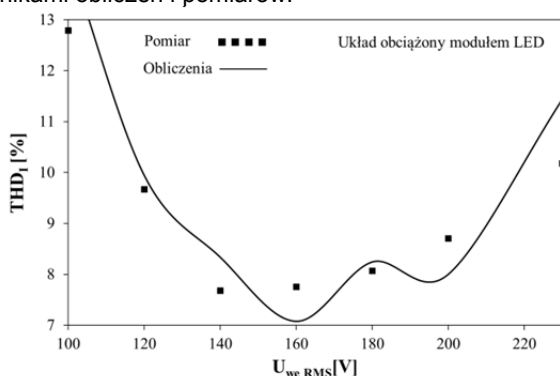
Można zauważyć, że wartość prądu wyjściowego I_{wy} rośnie wraz ze wzrostem wartości skutecznej napięcia zasilającego do wartości $U_{weRMS} = 160$ V, a następnie wartość prądu wyjściowego jest stabilizowana i wynosi 500 mA. Wartość skuteczna prądu zasilającego rośnie wraz ze wzrostem wartości skutecznej napięcia zasilającego badany układ, a następnie po przekroczeniu $U_{weRMS} = 140$ V wartość skuteczna prądu wejściowego maleje. Wartość napięcia wyjściowego U_{wy} w całym zakresie zmian wartości skutecznej napięcia wejściowego jest stała i wynosi 114 V.



Rys. 4. Zależność wartości skutecznej prądu zasilającego I_{weRMS} , prądu wyjściowego I_{wy} oraz napięcia wyjściowego U_{wy} od wartości skutecznej napięcia zasilającego

Na rysunku 5 przedstawiono zmierzone i obliczone zależności współczynnika zawartości harmonicznych prądu zasilającego THD_1 od wartości skutecznej napięcia zasilającego zmieniającego się w zakresie od 100 V do 230 V. Wyniki pomiarów oznaczono punktami, natomiast wyniki obliczeń – linią ciągłą.

Można zauważyć, że wyniki badań eksperymentalnych posiadają minimum dla wartości skutecznej napięcia zasilającego równej 140 V, natomiast dla wyników obliczeń ta wartość zmienia się i wynosi 160 V. Wartość współczynnika THD_1 dla znamionowej wartości skutecznej napięcia zasilającego równej 230 V wynosi jedynie 10,18 %. Należy zauważyć uzyskaną dobrą zgodność między wynikami obliczeń i pomiarów.

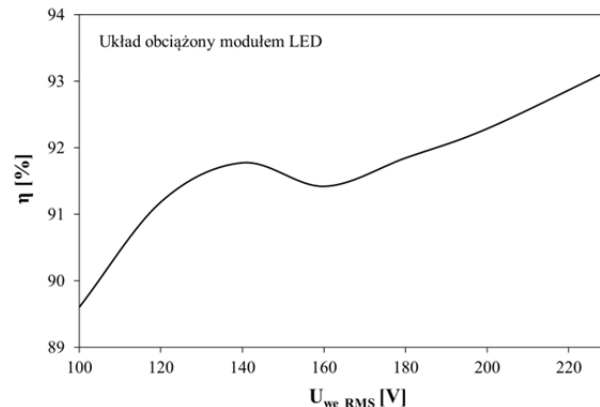


Rys. 5. Zmierzone i obliczone wartości współczynnika zawartości harmonicznych prądu wejściowego THD_1 od wartości skutecznej napięcia zasilającego

Na rysunku 6 przedstawiono zależność wartości sprawności energetycznej η badanego układu zasilacza ulicznej lampy LED od wartości skutecznej napięcia zasilającego zmieniającego się w zakresie od 100 V do 230 V.

Można zauważyć, że otrzymana zależność jest funkcją rosnącą posiadającą w swoim przebiegu minimum oraz

maksimum widoczne dla odpowiednich wartości skutecznych napięcia zasilającego, równych odpowiednio 160 V i 140 V. Wartości sprawności energetycznej η badanego układu zasilacza lampy ulicznej LED zawierają się w zakresie od 89,6 % do 93,17 % w całym zakresie zmian wartości skutecznych napięcia zasilającego.



Rys. 6. Zależność sprawności energetycznej η badanego zasilacza od wartości skutecznej napięcia zasilającego

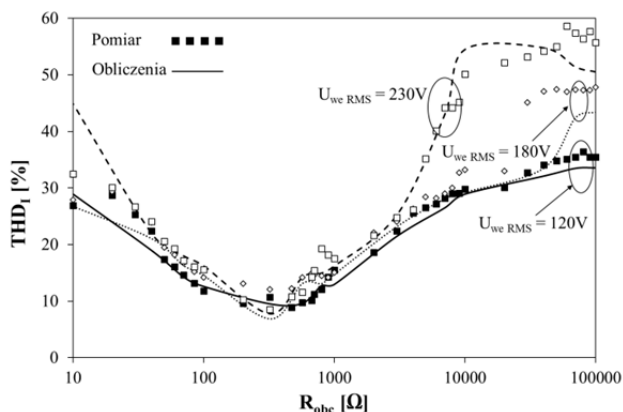
Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono wpływ rezystancji obciążenia badanego układu zasilacza w zakresie od 10 Ω do 100 k Ω na jego charakterystyki statyczne. Taki zakres zmian wartości rezystancji obciążenia został dobrany w celu sprawdzenia zakresu stabilizacji prądu wyjściowego I_{wy} badanego układu zasilacza. Badania eksperymentalne zostały przeprowadzone dla trzech różnych wartości skutecznych napięcia zasilającego U_{weRMS} równych odpowiednio 120 V, 180 V oraz 230 V, zawierających się w zakresie napięć pracy wspomnianego układu zasilacza.

Na rysunku 7 przedstawiono zmierzone i obliczone wartości współczynnika THD_1 w funkcji rezystancji obciążenia, dla trzech różnych wartości skutecznych napięcia zasilającego równych odpowiednio 120 V, 180 V oraz 230 V. Wyniki pomiarów zostały oznaczone punktami, natomiast wyniki obliczeń linią ciągłą.

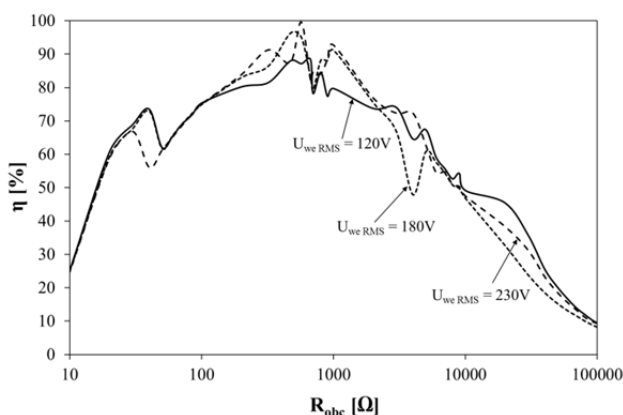
Można zauważyć, że najmniejszą wartość współczynnika zawartości harmonicznych prądu THD_1 uzyskuje się dla rezystancji obciążenia R_o równej 320 Ω oraz dla wartości skutecznej napięcia zasilającego równej 230 V. Można również zauważyć, że dla rezystancji obciążenia zmieniającej się w zakresie od 320 Ω do około 100 k Ω wartość współczynnika zawartości harmonicznych prądu wejściowego wzrasta oraz silnie zależy od wartości skutecznej napięcia zasilającego. Najmniejsze wartości współczynnika THD_1 w całym zakresie zmian rezystancji obciążenia R_o uzyskuje się dla wartości skutecznej napięcia zasilającego $U_{weRMS} = 120$ V.

Na rysunku 8 przedstawiono zależność sprawności energetycznej η zasilacza lampy ulicznej LED od rezystancji obciążenia R_o dla trzech wartości skutecznych napięcia zasilającego równych odpowiednio 120 V, 180 V oraz 230 V.

Analizując zależność zaprezentowaną na rysunku 8 można zauważyć, że sprawność energetyczna η układu osiąga maksimum dla rezystancji obciążenia równej 570 Ω oraz wartości skutecznej napięcia zasilającego $U_{weRMS} = 230$ V i wynosi 99,55 %. Po przekroczeniu tej wartości rezystancji obciążenia R_o sprawność energetyczna η maleje do około 9% bez względu na wartość skuteczną napięcia zasilającego przy maksymalnej rezystancji obciążenia $R_o = 100$ k Ω . Należy również zauważyć, że obserwuje się bardzo mały wpływ wartości skutecznej napięcia zasilającego na wartości uzyskiwanej sprawności energetycznej η w całym zakresie zmian rezystancji obciążenia R_o .



Rys. 7. Zmierzone i obliczone zależności współczynnika THD₁ od rezystancji obciążenia dla trzech wartości skutecznych napięcia zasilającego



Rys. 8. Zależność sprawności energetycznej η zasilacza lampy ulicznej LED od rezystancji obciążenia R_0 dla trzech wartości skutecznych napięcia zasilającego równych odpowiednio 120 V, 180 V oraz 230 V

Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów charakterystyk statycznych układu zasilacza wybranej lampy ulicznej LED typu TECEO1. Przedstawiono wpływ wartości skutecznej napięcia zasilającego oraz obciążenia o charakterze liniowym jak i nieliniowym na parametry eksploatacyjne badanego układu zasilacza. Zwrócono szczególną uwagę na parametry opisujące jakość energii elektrycznej pobieranej przez badany układ pracujący jako stabilizator prądu wyjściowego.

Badania eksperymentalne zostały przeprowadzone z użyciem autorskiego układu pomiarowego. Zmierzone podczas badań eksperymentalnych charakterystyki statyczne potwierdzają znikomy wpływ badanego układu zasilacza impulsowego na jakość energii elektrycznej pobieranej z sieci elektroenergetycznej, ponieważ zarejestrowane wartości współczynnika zawartości harmonicznego prądu wejściowego THD₁ dla znamionowej wartości skutecznej napięcia zasilającego $U_{weRMS} = 230$ V nie przekraczają 11 %, co może być wynikiem zastosowania aktywnego układu współczynnika korekcji mocy PFC (Power Factor Correction). Należy również zauważyć znikomy wpływ wartości skutecznej napięcia zasilającego na wartość współczynnika zawartości harmonicznego prądu wejściowego THD₁ dla rezystancji obciążenia nie przekraczającej 4 k Ω .

Badany układ zasilacza impulsowego ma bardzo dużą sprawność w zakresie małych rezystancji obciążenia i wynosi ona aż 99,55 % dla rezystancji obciążenia R_0 równej 570 Ω przy wartości skutecznej napięcia zasilającego równej 230 V.

Wyniki badań eksperymentalnych przedstawione w pracy mogą być użyteczne dla projektantów systemów oświetleniowych, których moc pobierana z sieci elektroenergetycznej jest większa niż 50 W i nie przekracza 100 W. Celem dalszych badań będzie przygotowanie modelu wybranej klasy układów energoelektronicznych pracujących w szerokim zakresie zmian wartości skutecznej napięcia zasilającego przy obciążeniu liniowym i nieliniowym.

Podziękowania: Autor serdecznie dziękuje inż. Michałowi Fili za pomoc w przeprowadzeniu części badań eksperymentalnych.

Autor: dr inż. Przemysław Ptak, prof. UMG, Uniwersytet Morski w Gdyni, Katedra Elektroniki Morskiej, ul. Morska 83, 81-225 Gdynia, E-mail: p.ptak@we.umg.edu.pl

LITERATURA

- [1] Lasance C. J., Poppe A., Thermal management for LED applications, Springer Science + Business Media, New York (2014)
- [2] Shubert E. F., Light emitting diodes. Second edition, Cambridge University Press, New York (2008)
- [3] Górecki K., Półprzewodnikowe źródła światła, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia (2010)
- [4] Chung Y. C., Lee K. M., Choe H. J., Sung C. H., Kang B., Low-cost drive circuit for AC-direct LED lamps, *IEEE Trans. on Power Electr.*, 30 (2015), n.10, 5776-5782
- [5] Pollock A., Pollock H., Pollock C., High efficiency LED power supply, *IEEE Jour. of Emerg. and Selec. Top. in Pow. Elec.*, 3 (2015), n.3, 617-623
- [6] Poppe A., Siegal B., Farkas G., Thermal testing of AC LEDs, *27th Annuals IEEE Semi. Ther. Meas. and Manag. Symp. SEMI-THERM*, San Jose, CA (2011), 297-304
- [7] Poppe A., Farkas G., Temesvolgyi T., Katona B., Molnar G., Borna C., Thermal testing of retrofit AC LEDs, *27th Sess. of the Inter. Comis. on Illum. CIE*, 1 (2011), 962-972
- [8] Górecki K., The influence of power supply voltage on exploitive parameters of the selected lamps, *Infor. Midem Jour. of Micro. Compon. and Mater.*, 43 (2013), n.3, 193-198
- [9] Ptak P., Górecki K., Heleniak J., Orlikowski M., Investigations of electrical and optical parameters of some LED luminaires – A study case, *Energies*, 14 (2021), n.11, 1612
- [10] Nota katalogowa lampy ulicznej LED typu TECEO1: <https://pl.schreder.com/pl/products/teceo> (15.06.2021)
- [11] Nota katalogowa autotransformatora ATS-REG1.2: <https://www.sklep.cyfronika.com.pl/pl/p/ATS-REG1.2-Autotransformator-z-regulowanym-napieciem-moc-1.25-kW/15527> (15.06.2021)
- [12] Nota katalogowa multimetru Unit UT804: <https://www.tme.eu/Document/6174128b3b793e2c6df2dfa7e151712e/INSTR-UT804.pdf> (16.06.2021)
- [13] Nota katalogowa sondy prądowej TCPA300: <https://docs.rs-online.com/b719/0900766b8139eb29.pdf> (15.06.2021)
- [14] Nota katalogowa różnicowej sondy napięciowej P5200A: <http://www.farnell.com/datasheets/2028500.pdf> (15.06.2021)
- [15] Nota katalogowa oscyloskopu GDS2104a: <https://www.merazet.pl/wp-content/uploads/img/16be5064.pdf> (15.06.2021)
- [16] Nota katalogowa analizatora PA1000: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001195421DS01/karta-katalogowa-1195421-analizator-mocy-tektronix-pa1000.pdf> (15.06.2021)
- [17] Winder S., Power supplies for LED driving. Second edition, Elsevier (2017)