

# Oddziaływanie wahań napięcia na impulsowe zasilacze diod LED

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych dotyczących oddziaływania wahań napięcia zasilającego na stan wybranych impulsowych zasilaczy diod LED z wyjściami napięciowymi i prądowymi. Badania zrealizowano na skonstruowanym stanowisku laboratoryjnym wytwarzającym napięcie zasilające o zadawanej zmienności. Do generacji wahań napięcia zastosowano prostokątną modulację amplitudy o zadawanej głębokości i częstotliwości modulacji. Wpływ wahań napięcia na stan badanych zasilaczy określono dwiema metodami: na podstawie analizy przebiegów czasowych prądu wyjściowego (zasilającego diody LED) oraz wykorzystując subiektywną ocenę postrzegania migotania światła przez obserwatora.

**Abstract.** The paper presents result of experimental research the interaction of input voltage fluctuation on the state of selected LED switching power supply with constant-voltage and constant-current outputs. Research was realized on the designed measuring system for voltage fluctuation reconstructed by amplitude modulation on rectangular signal for selected frequency modulation. The influence of voltage fluctuation on the state of tested power suppliers was determined with two methods: on the basis of output current waveforms (supplying LEDs) and using the subjective assessment observer by flicker vision. (**Voltage fluctuation interaction on LED switching power supply**).

**Słowa kluczowe:** wahanie napięcia, dioda LED, widzenie migotania światła, jakość napięcia.

**Keywords:** voltage fluctuation, light-emitting diode, flicker vision, power quality.

## Wstęp

Diody LED są szeroko stosowanymi źródłami światła. Są one przetwornikami energii elektrycznej na promieniowanie optyczne o właściwościach dynamicznych znacznie lepszych od innych powszechnie używanych źródeł światła. Tym samym są one bardziej podatne na zmienność prądu i napięcia zasilającego. Taka podatność może skutkować powstawaniem uciążliwego migotania światła (ang. flicker) [1]. Zależność mocy promieniowania optycznego od prądu zasilającego dla większości diod LED jest zbliżona do liniowej. Tym samym na podstawie zmienności prądu zasilającego można wnioskować o migotaniu światła. Do zasilania diod LED wykorzystywane są zasilacze, najczęściej impulsowe, z wyjściami napięciowymi i prądowymi. O wypadkowej podatności układu dioda LED – zasilacz na wahania napięcia w praktyce decydują właściwości zasilacza.

W pracy zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych wpływu wahań napięcia zasilającego na stan sześciu wybranych impulsowych zasilaczy diod LED z wyjściem napięciowym i prądowym. Badania przeprowadzono na zaprojektowanym i skonstruowanym stanowisku laboratoryjnym. Wahania napięcia zasilającego występujące w sieciach elektroenergetycznych zamodelowano modulacją amplitudy sygnałem prostokątnym o zadawanej głębokości i częstotliwości modulacji. Wpływ wahań napięcia zasilającego na stan badanych zasilaczy określono analizując przebiegi czasowe prądu wyjściowego (zasilającego diody LED) oraz wykorzystując subiektywną ocenę postrzegania migotania światła (z diody LED) przez obserwatora. W pracy zamieszczono zarejestrowane przebiegi czasowe prądu wyjściowego zasilaczy. W postaci graficznej pokazano postrzeganie migotania światła przez obserwatora. Na podstawie takich danych podjęto próbę oceny wpływu wahań napięcia zasilającego na stan badanych zasilaczy.

## Wahania napięcia

W Międzynarodowym Słowniku Elektrotechnicznym wahania napięcia zdefiniowano, jako serię zmian napięcia lub ciągle zmiany wartości skutecznej lub maksymalnej napięcia [2]. W literaturze (np. [5, 6, 7]) poruszającej problematykę wahań napięcia można znaleźć kilka definicji tego parametru. Na potrzeby niniejszej publikacji wahania napięcia zdefiniowano, jako zmienność wartości skutecznej napięcia, która zawiera się w przedziale od 90% do 110% wartości znamionowej napięcia  $U_n$ .

W przypadku wahań napięcia można mówić o kształcie wahań napięcia (obwiednia wartości szczytowych napięcia przedstawiona w funkcji czasu) [3], amplitudzie [4] oraz częstotliwości zmian napięcia. W literaturze tematu dostępnych jest szereg różnych wskaźników określających wahania napięcia. Do najczęściej stosowanych można zaliczyć:

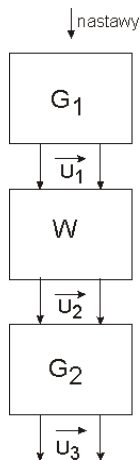
- wskaźnik krótkookresowego migotania światła  $P_{st}$ , który odwzorowuje uciążliwość migotania światła [8],
- wskaźnik długookresowego migotania światła  $P_{lt}$  – jest obliczany na podstawie dwunastu kolejnych wyników pomiarów współczynnika  $P_{st}$  [8],
- wskaźnik  $\Delta V_{10}$  [9, 10, 11]
- amplitudę  $\delta U$  oraz częstość wahań napięcia  $f$  [6,7],
- maksymalne i minimalne wartości skuteczne napięcia [7, 12].

Wahania napięcia powstają u odbiorców energii elektrycznej wskutek występowania w sieci elektroenergetycznej tzw. niespokojnych odbiorników energii elektrycznej. Pod pojęciem odbiornika niespokojnego rozumieć odbiornik elektryczny charakteryzujący się powtarzającymi się nagłymi zmianami obciążenia. Do tego typu odbiorników zaliczyć można między innymi takie urządzenia jak: piec łukowy, napędy elektryczne dużej mocy, spawarki elektryczne, pompy tłoczące, kompresory itp. Odbiornikiem niespokojnym jest taki układ/urządzenie, którego moc jest znacząca w relacji do mocy zwarciowej w punkcie przyłączenia do systemu zasilającego, oraz zmienia swój stan z częstością zakłócającą pracę innych odbiorników. Zasięg oddziaływania odbiornika niespokojnego może być od lokalnego (np. mała spawarka) do regionalnego (np. duży piec łukowy).

## Układ pomiarowy

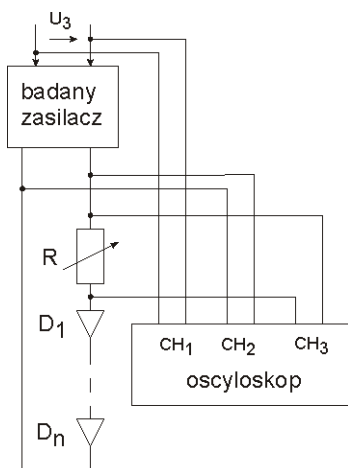
Wpływ wahań napięcia na pracę badanych impulsowych zasilaczy diod LED określono dwiema metodami: na podstawie analizy przebiegów czasowych prądu wyjściowego (zasilającego diody LED) oraz wykorzystując subiektywną ocenę postrzegania migotania światła przez obserwatora. Z tego powodu w badaniach zastosowano dwa układy laboratoryjne. Częścią wspólną obydwóch układów jest blok zasilania pokazany na rysunku 1. Składa się z generatora funkcyjnego G1 – HAMEG HMF2525, wzmacniacza napięciowego W, wzmacniacza mocy G2 – CHROMA 61502. Wymagane parametry napięcia

zasilającego zadawano poprzez odpowiednie nastawy generatora funkcyjnego. Zastosowany wzmacniacz mocy umożliwia dołączenie odbiorników o maksymalnej mocy 1 kW. Zapewniono w ten sposób prawidłowe zasilanie badanych zasilaczy (pobierających znacznie mniejsze moce).



Rys.1. Struktura bloku zasilania

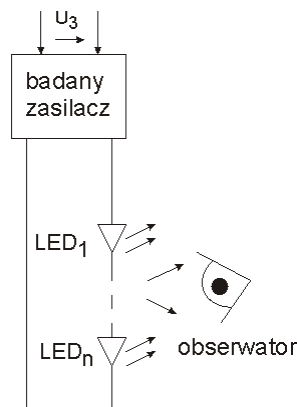
W celu rejestracji przebiegów czasowych prądu do bloku zasilania z rysunku 1 dołączono blok pomiarowy pokazany na rysunku 2.



Rys.2. Struktura bloku pomiarowego

Zastosowany oscyloskop cyfrowy TPS 2024 z izolowanymi kanałami pomiarowymi umożliwia bezpieczny pomiar napięcia zasilającego  $u(t)$  i pośredni pomiar prądu wyjściowego  $i_R(t)$ . Badane zasilacze przeznaczone są do zasilania diod LED. Jednak dla ułatwienia realizacji zadań laboratoryjnych diody LED zastąpiono odbiornikiem składającym się z szeregowo połączonych rezystora  $R$  oraz diod prostowniczych  $D_1$  do  $D_n$ . Dobierając liczbę diod prostowniczych i rezystancji  $R$  uzyskano możliwość zadawania odpowiedniego napięcia na wyjściu badanego zasilacza i dopasowanie odbiornika do mocy badanego zasilacza.

Ocenę postrzegania migotania światła przeprowadzono obserwując powierzchnię (białą kartkę papieru) oświetlaną przez białe diody LED dołączone do badanego zasilacza. Liczbę diod LED dopasowano do maksymalnego obciążenia zasilacza. Dla przeprowadzenia tych badań do bloku zasilania z rysunku 1 dołączono blok obserwacyjny przedstawiony na rysunku 3. Zadaniem obserwatora uczestniczącego w badaniach było wykrycie migotania światła.



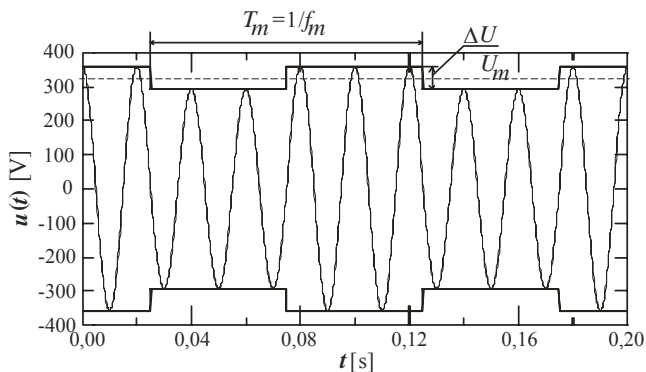
Rys.3. Struktura bloku obserwacyjnego

Jak już wspomniano wahania napięcia odtworzono wykorzystując modulację amplitudy sygnałem prostokątnym zgodnie z zależnością (1):

$$(1) \quad u(t) = \sqrt{2}U_n \cos(2\pi f_c t) \cdot \left[ 1 + \left( \frac{\Delta U}{U} \right) \frac{1}{2} \text{sign}(\cos(2\pi f_m t)) \right]$$

gdzie  $U_n$  – znamionowa wartość skuteczna napięcia,  $f_c$  – wartość znamionowa częstotliwości napięcia,  $(\Delta U/U)$  – głębokość modulacji amplitudy,  $f_m$  – częstotliwość sygnału modulującego amplitudę napięcia  $u(t)$ .

Na rysunku 4 przedstawiono graficzną interpretację modulacji amplitudowej sygnału sinusoidalnego sygnałem prostokątnym, zgodnie z zależnością (1), gdzie  $U_m$  oznacza wartość maksymalną. Przy dużych wartościach głębokości modulacji  $\Delta U/U$  regulowano napięcie wyjściowe z generatora  $G_1$  w taki sposób ażeby maksymalne napięcie na zaciskach wejściowych zasilacza impulsowego nie przekraczało wartości 250 V.



Rys.4. Przebieg czasowy sygnału harmonicznego modulowanego amplitudowo sygnałem prostokątnym

W badaniach wykorzystano 6 powszechnie dostępnych handlowo impulsowych zasilaczy diod LED, trzy z wyjściem napięciowym i trzy z wyjściem prądowym. Zestawienie użytych zasilaczy zamieszczono w Tabeli 1. Na rysunku 5 zaprezentowano widoki przykładowych zasilaczy impulsowych z wyjściem stałonapięciowym oraz stałoprądowym.

### Wyniki badań eksperymentalnych

Jak już wspomniano w przeprowadzonych badaniach zastosowano dwa sposoby oceny wpływu wahań napięcia na działanie zasilaczy diod LED. Pierwszy ze sposobów polegał na analizie zarejestrowanych przebiegów czasowych prądu  $i_R(t)$  zasilającego diody LED. Drugi

sposób polegał na obserwacji migotania światła emitowanego przez diody LED zasilanych z badanych zasilaczy impulsowych. Ten sposób oceny wpływu wahań napięcia jest ze swojej istoty subiektywny, ponieważ uwzględnia osobniczą wrażliwość obserwatora na migotanie światła [13].

Tabela 1. Zestawienie zasilaczy diod LED wykorzystanych w badaniach

Lp.	Typ wyjścia	Symbol
1	napięciowe	A1012Y
2		JAH-A015-12/TRA-M-15W-T
3		TR-25-12
4	prądowe	APC-12-700
5		LPC-35-700
6		ACL-CC-05-350



(a) zasilacz z wyjściem napięciowym



(b) zasilacz z wyjściem prądowym

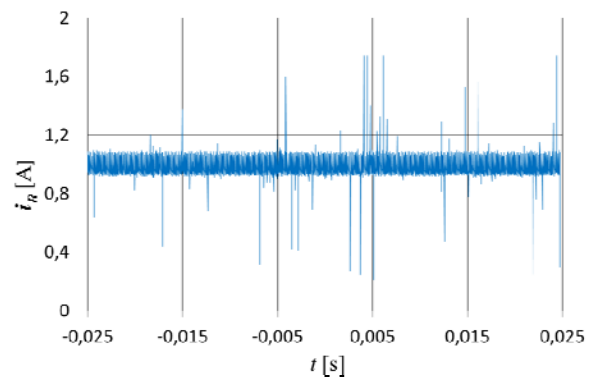
Rys.5. Widoki przykładowych impulsowych zasilaczy diod LED

Na rysunku 6(a) przedstawiono przebieg czasowy prądu wyjściowego  $i_R=f(t)$  wybranego zasilacza diod LED z wyjściem napięciowym bez modulacji napięcia zasilającego, natomiast na rysunku 6(b) przebieg z modulacją sygnałem prostokątnym o głębokości modulacji  $\Delta U/U = 10\%$  oraz  $f_m = 10$  Hz.

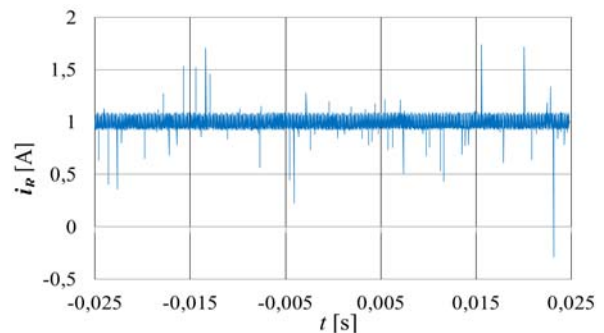
Widoczne na rysunku 6 „szpilki” najprawdopodobniej są skutkiem komutacji w badanym zasilaczu impulsowym.

Na rysunku 7 przedstawiono przebiegi czasowe prądu wyjściowego  $i_R=f(t)$  wybranego zasilacza z wyjściem prądowym. Stan podczas zasilania napięciem bez wahań napięcia przedstawia rysunek 7(a) a podczas występowania wahań napięcia ( $\Delta U/U = 10\%$ ,  $f_m = 10$  Hz) rysunek 7(b).

Porównując przebiegi czasowe przedstawione na rysunku 6, oraz uwzględniając wyniki badań pozostałych zasilaczy, można sformułować wniosek, że zasilacze z wyjściem napięciowym okazały się niepodatne na wpływy wahań napięcia zasilającego. Analiza przebiegów przedstawionych na rysunku 7 uzasadnia konkluzję, że zasilacze z wyjściem prądowym są podatne na wahań napięcia.

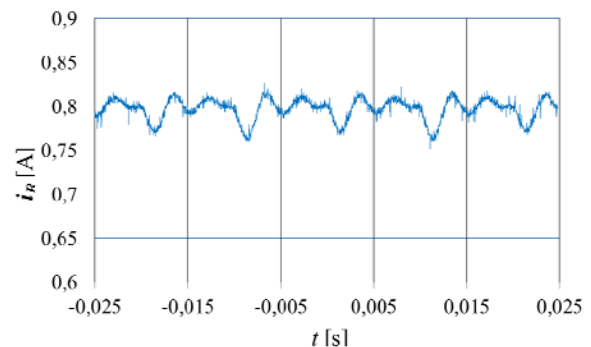


(a) bez modulacji napięcia zasilającego

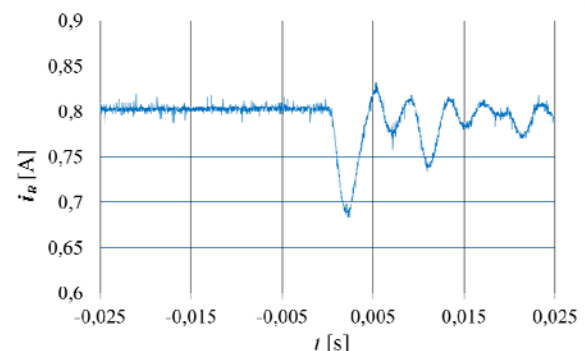


(b) z modulacją napięcia zasilającego

Rys. 6. Przebieg czasowy prądu  $i_R=f(t)$  zasilacza diod LED z wyjściem napięciowym



(a) bez modulacji napięcia zasilającego



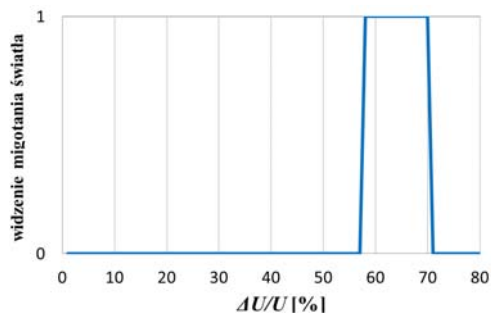
(b) z modulacją napięcia zasilającego

Rys.7. Przebieg czasowy prądu  $i_R=f(t)$  zasilacza diod LED z wyjściem prądowym

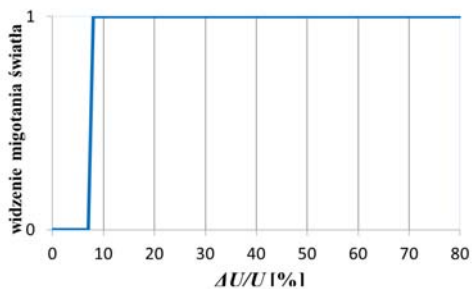
Kolejnym etapem badań była obserwacja migotania światła emitowanego przez diody LED dołączonych do badanych zasilaczy. Odczuwanie migotania światła przez

obserwatora, w tym wywołanego wahaniami napięcia zasilającego źródło światła, jest złożonym procesem [14, 15]. Zależy od cech osobniczych i stanu obserwatora, warunków środowiskowych, właściwości źródła światła i rodzaju wahań napięcia [16].

Na rysunku 8 zamieszczono charakterystyki widzenia migotania światła w funkcji głębokości modulacji ( $\Delta U/U$ ) dla tych samych zasilaczy, których przebiegi czasowe zaprezentowano na rysunkach 6 i 7. Widzenie migotania światła wyrażono w formie binarnej, gdzie „0” oznacza brak widzenia migotania światła, natomiast „1” widzenie migotania światła (niezależnie od intensywności widzenia).



(a) zasilacz z wyjściem napięciowym



(a) zasilacz z wyjściem prądowym

Rys.8. Widzenie migotania światła diod LED dołączonych do zasilaczy z wyjściem napięciowym i prądowym

Analizując charakterystyki przedstawione na rysunku 8, można sformułować wniosek, że zasilacz z wyjściem stałonapięciowym jest odporny na wahanie napięcia w przeciwieństwie do zasilacza z wyjściem stałoprądowym, dla którego widzialne migotanie światła wystąpiło dla ( $\Delta U/U$ ) > 8%. Należy zauważyć, że dla poszczególnych modeli zasilaczy z wyjściem prądowym widzenie migotania światła stwierdzono dla różnych wartości głębokości modulacji ( $\Delta U/U$ ).

### Podsumowanie

W pracy zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych zależności widzenia migotania światła od wahań napięcia zasilającego na pracę impulsowych zasilaczy diod LED z wyjściami napięciowymi i prądowymi. Oceny wpływu wahań napięcia na badane zasilacze dokonano na podstawie przebiegów czasowych prądu wyjściowego zasilacza oraz poprzez obserwację migotania światła emitowanego przez badane diody. Stosując obydwa sposoby oceny sformułowano wniosek, że testowane zasilacze impulsowe z wyjściem prądowym są nieodporne na wahanie napięcia w odróżnieniu od zasilaczy z wyjściem napięciowym. Powyższe wnioski sformułowano na podstawie badań sześciu zasilaczy, dlatego nie można uogólniać tych wniosków na inne dostępne typy zasilaczy impulsowych. Dlatego zasadne jest rozszerzenie zakresu badań eksperymentalnych dla liczniejszej populacji tych

podzespołów, które pozwolą na sformułowanie bardziej ogólnych wniosków.

Oprócz oceny wpływu wahań napięcia zasilającego na prace zasilaczy przeprowadzono badania dotyczące oddziaływania badanych zasilaczy na sieć zasilającą zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie PN-EN-55022 [17]. Pomiary wykonano w zakresie częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz, przy czym badany zasilacz znajdował się w ekranowanej komorze w celu zminimalizowania wpływu zewnętrznych pól elektromagnetycznych na wynik badań. Uzyskane wyniki pozwoliły na sformułowanie konkluzji, że dwa spośród badanych zasilaczy impulsowych przekraczały w znaczący sposób dopuszczalne wartości poziomów zakłóceń, pomimo, że są to powszechnie dostępne w sprzedaży zasilacze impulsowe.

**Autorzy:** mgr inż. Sławomir Nowicki, Urząd Komunikacji Elektronicznej, ul. Kasprzaka 54, 60-245 Poznań, email: [sławomir.nowicki@op.pl](mailto:sławomir.nowicki@op.pl), dr inż. Przemysław Otomański, dr hab. inż. Grzegorz Wiczyński, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, email: [przemyslaw.otomanski@put.poznan.pl](mailto:przemyslaw.otomanski@put.poznan.pl); email: [gwicz@et.put.poznan.pl](mailto:gwicz@et.put.poznan.pl).

### LITERATURA

- [1] International Electrotechnical Vocabulary number 161-08-13: Flicker
- [2] International Electrotechnical Vocabulary number 161-08-05: Voltage fluctuation
- [3] International Electrotechnical Vocabulary number 161-08-06: Voltage fluctuation waveform
- [4] International Electrotechnical Vocabulary number 161-08-07: Magnitude of a voltage fluctuation
- [5] PN-EN 50160: Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2002
- [6] Kowalski Z., Jakość energii elektrycznej, Monografie Politechniki Łódzkiej, 2007
- [7] Wiczyński G., Badanie miar wahań napięcia w sieciach elektrycznych, Rozprawa nr 438, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2010
- [8] PN-EN 61000-4-15: Metody badań i pomiarów – Miernik migotania światła – Specyfikacja funkcjonalna i projektowa, 2011
- [9] Aoki M.: Standard metod for measurement of voltage fluctuations, proc. Of 9<sup>th</sup> Int. Congress UIE, Cannes, (1980), pp. 3-12
- [10] Flicker measurement metod in Japa, Tech. rep. UIE, DSC Japanese Shadow Committee
- [11] Hong Y.-Y., Lee L. H.: Analysis of equivalent 10 Hz voltage flicker in power systems, IEE Proc. – Generation, Transmission and Distribution 16(5), May 1999, pp. 447-452
- [12] Otomański P., Wiczyński G.: The usage of voltage and current fluctuation for localization of disturbing loads supplied from power grid, Przegląd Elektrotechniczny 87(1), (2010), pp. 107-111
- [13] Nowicki S., Otomański P., Wiczyński G.: Podatność impulsowych zasilaczy diod LED na wahanie napięcia zasilającego, Materiały konferencyjne XI Konferencji Naukowej Systemy Pomiarowe w badaniach naukowych i w przemyśle SP'2016, (2016), 117-120
- [14] Emanuel A.E., Peretto L.: A simple lamp-eye-brain model for flicker observations, IEEE Trans. On Power Delivery 19(3), (2004), pp. 1308-1313
- [15] Peretto L., Emanuel A.E.: Theoretical study of the incandescent filament lamp performance under voltage flicker, IEEE Trans. On Power Delivery, 12(1), (1997), pp. 279-288
- [16] Walker M.K.: Electric utility flicker limitations, IEEE Trans. On Industry Applications, IA-15(6), (1979), pp. 644-655
- [17] PN-EN 55022 Urządzenia informatyczne – Charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych – Poziomy dopuszczalne I metody pomiarów, 2011