

doi:10.15199/48.2017.06.16

## Tętnienie światła wytwarzanego przez lampy LED – zamienniki żarówek tradycyjnych i halogenowych

**Streszczenie.** W artykule przedstawiona jest ogólna informacja dotycząca opisu tętnienia światła. Podstawą oceny i analiz są pomiary zmian wartości strumienia świetlnego w czasie, wytwarzanego przez wybrane typy lamp LED stanowiące zamienniki żarówek tradycyjnych i halogenowych. Pomiary zmian wartości strumienia świetlnego w czasie były wykonane w laboratorium Zakładu Techniki Świetlnej Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. Na podstawie wykonanych pomiarów wykonano obliczenia współczynników tętnienia światła oraz interpretację ich wartości.

**Abstract.** This article presents a generally information of the description of the ripple of light. The basis for the evaluation and analysis of measurements of changes in the value of the luminous flux over time, produced by selected types of LED lamps which are replacements for classic and halogen lamps. Measurements of the flux at the time were in the laboratory of the Department of Technology Institute of Power light Warsaw University of Technology. On the basis of measurements, calculations were made of light ripple factors and interpretation of their value . (Ripple of light emitting by the LED lamps – replacements of traditional incandescent lamps and halogen lamps).

**Słowa kluczowe:** oświetlenie, źródła światła, żarówki, żarówki halogenowe, lampy LED, tętnienie światła.

**Keywords:** lighting, light sources, LED lamps, incandescent lamps, halogen lamps, ripple of luminous flux.

### Wstęp

W artykule przedstawione są wyniki pomiarów tętnienia światła wytwarzanego przez lampy LED, które stosowane są jako zamienniki żarówek tradycyjnych i żarówek halogenowych. Pojęcie tętnienia światła zostało szerzej wyjaśnione w artykule zamieszczonym w numerze 7/2015 Przeglądu Elektrotechnicznego [1]. Z tego względu zostanie ono w tym artykule przedstawione w ujęciu skróconym. Wyniki pomiarów tętnienia światła wytwarzanego przez lampy LED stanowiące zamienniki świetlówek liniowych (tuby LED) [1] wskazują jednoznacznie na potrzebę rozszerzenia podjętych badań pod tym względem na inne typy źródeł światła LED. Ze względu na fakt, że lampy LED, które stanowią zamienniki żarówek tradycyjnych i żarówek halogenowych są powszechnie stosowane w oświetleniu prywatnym (gospodarstw domowych) postanowiono wykonać pomiary tętnienia światła tego typu źródeł światła. Dość często lampy LED stosuje się w instalacjach domowych, które wyposażone są w regulatory fazowe do żarówek, potocznie zwanych ściemniaczami. Współpraca lamp LED z tego typu regulatorami jest dość ograniczona i z tego powodu postanowiono zbadać również wpływ pracy regulatora fazowego na lampy LED pod względem tętnienia światła wytwarzanego przez te źródła. Elektryczne źródła światła, stosowane w oświetleniu zasilane są głównie napięciem sieciowym, czyli prądem przemiennym o częstotliwości 50 Hz. Zmiany napięcia zasilającego w czasie mają wpływ na zmiany wartości wytwarzanego strumienia świetlnego. Wpływ ten jest różny i zależy od typu źródła światła oraz układu zasilającego. Na przykład w przypadku żarówek, zasilanie ich prądem przemiennym o częstotliwości 50 Hz ma stosunkowo mały wpływ na zmiany (tętnienie) wartości wytwarzanego strumienia świetlnego w czasie. Spowodowane jest to względnie wolnymi zmianami temperatury żarnika, powodowanymi przepływem prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz. Wahania temperatury żarnika są na tyle małe, że wytwarzane przez żarówki światło uważa się za prawie pozbawione efektu tętnienia, przy czym tętnienie światła jest najmniejsze w żarówkach wyższych mocy. W przypadku stosowania lamp LED, które stanowią bezpośrednie zamienniki tradycyjnych żarówek efekt tętnienia światła nie może być pomijany. Cechą charakterystyczną LED jest wytwarzanie pełnego strumienia świetlnego natychmiast po włączeniu zasilania. Lampy LED, które stanowią zamienniki żarówek

wyposażone są w elektroniczny układ zasilający. Konstrukcja układów zasilających LED jest bardzo zróżnicowana, niektóre typy układów zasila diody prądem stałym. Wiele konstrukcji układów zasilających zasila diody prądem przemiennym, który również dość często ma charakter impulsowy.

Biorąc pod uwagę fakt, że diody elektroluminescencyjne wytwarzają natychmiast pełny strumień świetlny po włączeniu zasilania, wpływ zmian napięcia zasilającego ma bardzo duży wpływ na zmiany strumienia świetlnego w czasie, a tym samym na tętnienie wytwarzanego strumienia świetlnego. Ze względu na fakt, że lampy LED są powszechnie stosowane w gospodarstwach domowych postanowiono zmierzyć również zmiany wartości strumienia świetlnego w czasie, wytwarzanego przez wybrane typy tych źródeł światła. Do pomiarów zmian wartości strumienia świetlnego wybrano lampy LED, które stosowane są jako zamienniki tradycyjnych żarówek i reflektorowych żarówek halogenowych. Dodatkowo dla wybranych typów lamp LED wykonano pomiary tętnienia światła przy zastosowaniu regulatora fazowego (ściemniacza).

### Pojęcie tętnienia światła

Fakt zmian strumienia świetlnego wytwarzanego przez źródła światła zasilane prądem przemiennym (w rytm zmian prądu przemiennego), od wartości minimalnej do maksymalnej, nazwano tętnieniem światła [2].

Tętniący strumień świetlny może być przyczyną męczenia wzroku, nierzadko bólów głowy oraz dostrzegania ruchów pozornych w przypadku obserwowania przedmiotów znajdujących się w ruchu posuwistym lub obrotowym [3]. Światło tętniące może powodować mylne dostrzeganie ruchu różniącego się od rzeczywistego prędkością, kierunkiem przesuwny czy też wirowaniem (zjawisko stroboskopowe) [3].

Tętnienie światła charakteryzuje przede wszystkim głębokość tętnienia, określaną poprzez wskaźniki różne definiowane [4]

$$(1) \quad W_1 = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max} + \Phi_{\min}}$$

$$(2) \quad W_2 = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max}}$$

$$(3) \quad W_3 = \frac{\Phi_{\max} - \Phi}{\Phi}$$

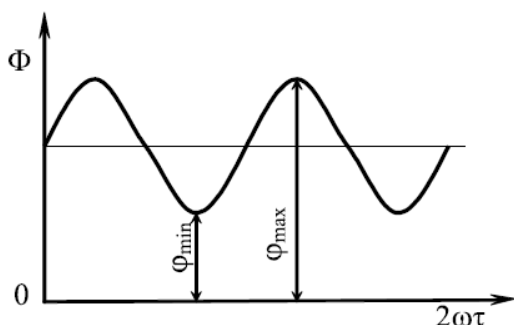
$$(4) \quad W_4 = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi}$$

$$(5) \quad W_5 = \frac{\Phi_{\min}}{\Phi}$$

$$(6) \quad W_6 = \frac{1}{2} \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi}$$

gdzie:  $\Phi_{\max}$ ,  $\Phi_{\min}$ ,  $\Phi$  - maksymalna, minimalna i średnia wartość strumienia świetlnego

Przykładowy przebieg teoretyczny strumienia świetlnego w czasie z naniesionymi wartościami strumienia świetlnego maksymalnego ( $\Phi_{\max}$ ) i minimalnego ( $\Phi_{\min}$ ) przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykładowy przebieg strumienia świetlnego w czasie wraz z naniesionymi wartościami strumienia minimalnego i maksymalnego [5]

Pomimo, tego że tętnienie światła jest zaliczane jedynie do czynników uciążliwych, niemniej jednak wymaga ograniczenia, ponieważ może niekorzystnie wpływać na samopoczucie człowieka [2,3]. W przypadku lamp LED stosowanych w oświetleniu ogólnym pomieszczeń prywatnych (gospodarstw domowych) szczególnego znaczenia nabiera fakt, że użytkownik bardzo często może być narażony na działanie światła o dużym współczynniku tętnienia bez wiedzy o jego negatywnym wpływie. Indywidualny użytkownik nie ma możliwości dokładnego sprawdzenia poziomu tętnienia światła wytwarzanego przez lampę LED ani jego ograniczenia.

Znane są i przytaczane w literaturze przedmiotu wartości współczynników tętnienia światła wytwarzane przez różne typy źródeł światła [2, 5, 6]. Dla strumienia świetlnego o stałej wartości w czasie (nietętniącego) wartość współczynnika tętnienia jest równa zero. Im większe są zmiany wartości strumienia świetlnego w czasie (większe tętnienie) tym wyższa jest wartość współczynnika tętnienia światła. Współczynnik tętnienia światła  $W$  przyjmuje wartości od 0 do 1. Wartość współczynnika tętnienia światła zależy od typu źródła światła oraz od sposobu jego zasilania (typu układu zasilającego). Typowe wartości współczynnika tętnienia światła  $W$  wytwarzanego przez żarówki podano w tabeli 1 [4, 6].

Tabela 1. Typowe wartości wskaźnika tętnienia światła wytwarzanego przez żarówki

Moc [W]	25	40	60	75	100	300	1000
$W$ [-]	0,36	0,33	0,28	0,23	0,20	0,10	0,00

Świetlówki liniowe w zależności od częstotliwości prądu zasilającego wytwarzają światło o wskaźniku tętnienia w zakresie od 0,63 do 0,001 [7]. Dla częstotliwości prądu

zasilającego wynoszącej 50 Hz (tradycyjny układ zasilający, dławik magnetyczny) wskaźnik tętnienia światła przyjmuje wartość na poziomie 0,63. W przypadku zasilania świetlówek prądem o wyższej częstotliwości (statecznik elektroniczny) wartość wskaźnika tętnienia światła jest znacznie niższa i osiąga wartość 0,001 (częstotliwość prądu 35 kHz). Światło wytwarzane przez dwie świetlówki połączone w układzie DUO ma wskaźnik tętnienia wynoszący 0,2 [4].

Aby tętnienie światła uznać za nieszkodliwe wartość wskaźnika tętnienia światła musi być równa  $W = 0$  (strumień świetlny stały w czasie). W warunkach praktycznych, przy zasilaniu źródeł światła prądem przemiennym wartość wskaźnika tętnienia światła jest większa. Przyjmuje się [4], że wskaźnik tętnienia światła źródeł, które stosowane są do oświetlenia miejsc, w których wykonywana jest dokładna praca nie powinien być większy od  $W = 0,05$ . W oświetleniu miejscowym zaleca się aby jego wartość zawierała się w granicach  $0,1 < W < 0,15$  natomiast w pozostałych obszarach oświetlenia nie był większy niż 0,2.

### Pomiary tętnienia światła

Pomiary tętnienia światła wykonano dla 23 lamp LED, 8 różnych typów. Wybrane do testów lampy LED stanowią zamienniki tradycyjnych (klasycznych) żarówek z trzonkami E27 i E14 oraz reflektorowych żarówek halogenowych z trzonkiem GU10 (typ PAR16), zasilanych napięciem sieciowym 230 V. Przykłady konstrukcji badanych lamp LED przedstawione są na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Kształt lamp LED stanowiących zamienniki tradycyjnych żarówek z trzonkami E14 i E27

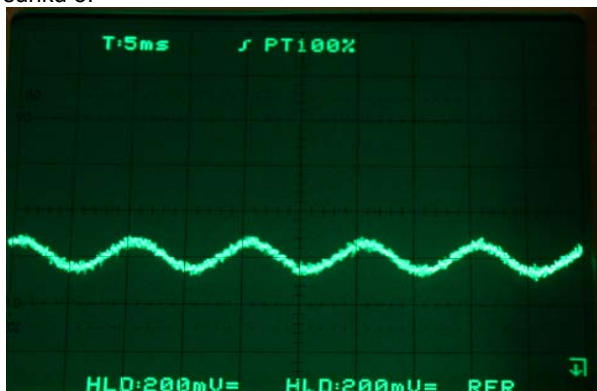


Rys. 3. Kształt lampy LED stanowiącej zamienniki reflektorowej żarówki halogenowej z trzonkiem GU10 (typ PAR16)

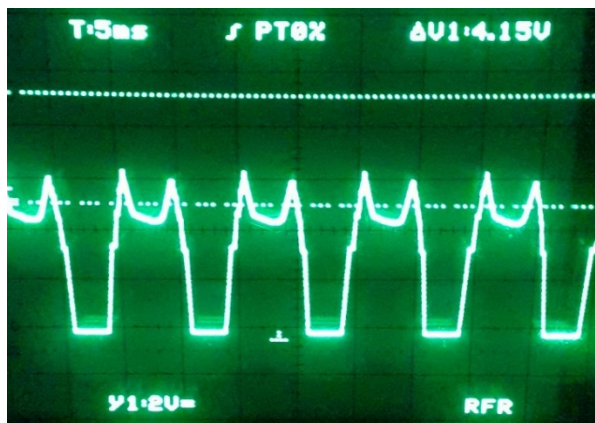
Do pomiarów tętnienia światła wybrano również tradycyjną żarówkę o mocy 100 W, która posłużyła jako odniesienie pod względem wartości wskaźnika tętnienia wytwarzanego światła.

Zmiany wartości strumienia świetlnego w czasie były mierzone za pomocą ogniwa rejestrującego szybkie zmiany strumienia świetlnego firmy LMT, typ (LMT SF 100) i rejestrowane za pomocą oscyloskopu. Badane źródła światła umieszczone były w kuli Ulbrichta.

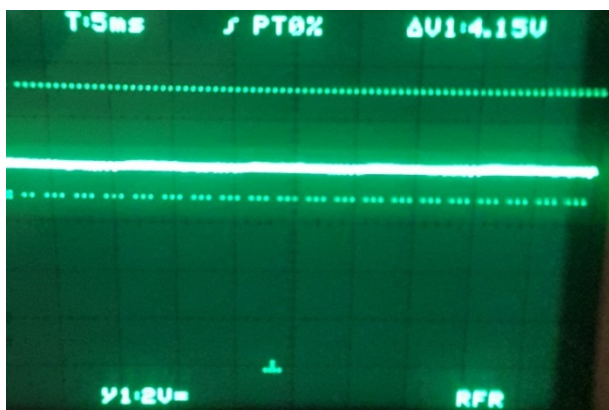
Przykład rejestracji przebiegu strumienia świetlnego w czasie dla żarówki przedstawiono na rysunku 4. Przykładowe rejestracje przebiegu strumienia świetlnego w czasie dla lampy LED emitującej światło o bardzo wysokim wskaźniku tętnienia światła ( $W = 1$ ) przedstawiony jest na rysunku 5.



Rys. 4. Przykład zarejestrowanych zmian wartości strumienia świetlnego dla żarówki klasycznej o mocy 100 W



Rys. 5. Przykład zarejestrowanych zmian wartości strumienia świetlnego dla lampy LED o mocy 6 W, zamiennika klasycznej żarówki



Rys. 6. Przykład zarejestrowanych zmian wartości strumienia świetlnego dla lampy LED o mocy 9 W, zamiennika klasycznej żarówki

Przykładowa rejestracja przebiegu strumienia świetlnego dla lampy LED emitującej światło o bardzo niskim wskaźniku tętnienia światła przedstawiona jest na rysunku 6.

### Wyniki obliczeń współczynnika tętnienia światła wybranych typów lamp LED

W wyniku rejestracji zmian wartości strumienia świetlnego w czasie określono wartość maksymalną, minimalną i średnią strumienia świetlnego. Na podstawie otrzymanych danych, obliczono współczynniki tętnienia światła dla 23 badanych lamp LED, 8 różnych typów oraz jednej żarówki klasycznej o mocy 100 W. Podstawowe dane techniczne 8 typów lamp LED podane są w tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowe dane techniczne badanych lamp LED

Źródło	Moc [W]	Strumień świetlny [lm]	Trzonek [-]
Lampa 1	6	450	E14
Lampa 2	10	800	E27
Lampa 3	7	500	GU10
Lampa 4	3	230	GU10
Lampa 5	14	1521	E27
Lampa 6	9	806	E27
Lampa 7	5	470	E27
Lampa 8	5	470	GU10

Wyniki obliczeń współczynnika tętnienia światła  $W = W_2$  wytwarzanego przez badane lampy LED oraz żarówkę klasyczną o mocy 100 W przedstawione są w tabeli 3. Wyniki współczynników tętnienia światła podane są dla 8 typów lamp LED, ponieważ lampy tego samego typu emitowały światło o takiej samej wartości współczynnika tętnienia światła. Wynikało to z zastosowania takiej samej konstrukcji układu zasilającego LED.

Tabela 3. Wyniki obliczeń wskaźników tętnienia światła, badanych źródeł światła

Źródło	W [-]
Żarówka	0,19
Lampa 1	1,00
Lampa 2	0,00
Lampa 3	1,00
Lampa 4	0,00
Lampa 5	0,00
Lampa 6	0,00
Lampa 7	0,00
Lampa 8	0,00

### Wnioski

Wykonane pomiary zmian strumienia świetlnego w czasie, wytwarzanego przez żarówkę o mocy 100 W, oraz obliczona na ich podstawie wartość współczynnika tętnienia światła  $W$  ( $W = W_2$ ), potwierdzają dane zawarte w literaturze przedmiotu [2, 4]. Wartość współczynnika tętnienia światła wytwarzanego przez żarówkę klasyczną o mocy 100 W jest zgodna z wartością podawaną w literaturze [4], lecz należy zwrócić uwagę, że wartość  $W = 0,19$  klasyfikuje stosowanie żarówek o mocy niższej niż 100 W w oświetleniu miejsc pracy, w których nie jest wykonywana dokładna praca oraz nie powinno się ich stosować w oświetleniu miejscowym. Badane lampy LED wytwarzają światło o współczynniku tętnienia światła o wartości od  $W = 0,00$  do  $W = 1,00$ . Według danych literaturowych zaleca się, aby źródła stosowane w oświetleniu nie wytwarzały światła o współczynniku tętnienia wyższym niż  $W = 0,2$  [2, 3]. Na podstawie przedstawionych w tabeli 3 danych, można stwierdzić, że tylko dwa typy lamp LED z ośmiu wybranych do testów nie spełniają wymagań pod względem tętnienia światła. Przy

czym należy zauważyć, że wartość współczynnika tętnienia  $W = 1,00$  jest wartością maksymalną, oznacza to, że strumień świetlny lampy LED uzyskuje w pewnym okresie czasu wartość  $\Phi = 0$ . Taka sytuacja jest wynikiem zastosowania układu zasilającego, który zasila LED prądem impulsowym. Lampy LED wytwarzające światło o tak dużym tętnieniu nie powinny być stosowane w oświetleniu. Dobrym przykładem są pozostałe lampy LED, które wytwarzają stabilny, nietętniący strumień świetlny. Jest to spowodowane zastosowaniem odpowiednio skonstruowanego układu zasilającego, który zasila LED prądem stałym. Wybrane typy lamp LED 8 różnych konstrukcji, zasilano przez układ regulatora fazowego (ściemniacza). Regulacja strumienia świetlnego wybranych lamp nie spowodowała istotnych zmian w wartości wskaźnika tętnienia światła w porównaniu do wskaźnika tętnienia światła przy zasilaniu lamp mocą znamionową. Z tego powodu nie prezentowano bardziej szczegółowo wyników tych pomiarów.

Dobre parametry pod względem tętnienia światła, jakie uzyskało 19 lamp spośród 23 wybranych do testów (8 różnych konstrukcji), mogą napawać optymizmem, lecz należy wziąć pod uwagę, że liczba wybranych lamp LED do badań reprezentuje małą grupę lamp LED oferowanych na rynku europejskim. Oznacza to, że w rzeczywistości mogą pojawiać się konstrukcje lamp LED, które wytwarzają światło o wysokim wskaźniku tętnienia światła. Stosowanie lamp LED, które stanowią zamienniki tradycyjnych żarówek i reflektorowych żarówek halogenowych, przynosi oszczędności w zużyciu energii elektrycznej, lecz pod

względem tętnienia światła należy zachować odpowiednią ostrożność przy wyborze odpowiedniego źródła światła. Efekt tętnienia światła i jego ocena znany jest od wielu lat. Dla tradycyjnych źródeł światła, opracowano sposoby eliminacji efektu tętnienia światła, natomiast w przypadku źródeł LED zjawisko tętnienia światła otwiera dalszy proces w jego ocenie i eliminacji.

**Autor:** dr inż. Andrzej Wiśniewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: [Andrzej.Wisniewski@ien.pw.edu.pl](mailto:Andrzej.Wisniewski@ien.pw.edu.pl)

#### LITERATURA

- [1] Wiśniewski A : Tętnienie światła wytwarzanego przez tuby LED – zamienniki świetlówek liniowych, *Przegląd Elektrotechniczny* 7/2015
- [2] Banach M.: Tętnienie światła, WNT Warszawa 1970
- [3] Wolska A. Pawlak A: Oświetlenie stanowisk pracy, CIOP PIB, Warszawa 2007
- [4] Banach M.: Podstawy techniki oświetlania, PWN Warszawa 1982
- [5] Różowicz A.: Wpływ wybranych właściwości luminoforów stosowanych w niskociśnieniowych rtęciowych lampach wyładowczych na tętnienie światła, *Wiadomości Elektrotechniczne*, nr 11, 2008, s. 17-20
- [6] Różowicz A.: Wpływ częstotliwości prądu zasilającego lampy fluorescencyjne na ich wybrane parametry eksploatacyjne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Kielce 2004
- [7] Różowicz A.: Materiały fluorescencyjne stosowane w niskoprężnych lampach wyładowczych i ich wpływ na tętnienie światła, *Przegląd Elektrotechniczny*, R 80 NR 5/2004, s. 451-455