

Analiza wybranych czynników wpływających na stabilizację strumienia świetlnego zamienników klasycznych żarówek

Streszczenie. W pracy omówiono czynniki wpływające na czas potrzebny do uzyskania pełnej stabilizacji strumienia świetlnego źródeł światła zastępujących klasyczne żarówki. Pomiarom laboratoryjnym poddano zintegrowane świetlówki kompaktowe oraz źródła LED. Uwzględniono m.in. różne pozycje pracy źródeł światła. W odniesieniu do zintegrowanych świetlówek kompaktowych, na podstawie przeprowadzonych pomiarów eksperymentalnych, przeanalizowano wpływ zmiany wybranych parametrów w elektronicznym układzie zasilającym na czas potrzebny do uzyskania stabilizacji strumienia świetlnego. W artykule zaprezentowano także zmiany parametrów fotometrycznych dla 5-ciu świetlówek w trakcie ich eksploatacji (po 100, 500, 1000, 2000 itd. godzinach pracy).

Abstract. The paper discusses the factors affecting the time taken to achieve full stability of the luminous flux of light sources that can replace traditional bulbs. Integrated compact fluorescent and LED light sources were subjected to laboratory measurements. Different working positions of light sources have been taken into account. With regard to the integrated compact fluorescent lamps, on the basis of extensive experimental measurements, the effect of altering parameters in the electronic system on the time needed to stabilize the luminous flux have been analyzed. The article presents the changes in the photometric parameters for 5 lamps during their lifetime (100, 500, 1000, 2000 and so on. working hours). (Analysis of selected factors affecting the flux stabilization of classic light bulb replacements).

Słowa kluczowe: źródła światła, strumień świetlny, gospodarstwa domowe

Key words: light sources, luminous flux, households

Wprowadzenie

Producenci, dystrybutorzy źródeł światła, a także autorzy rozmaitych publikacji lampy, które mają zastąpić konwencjonalne źródła żarowe (nazywane potocznie żarówkami), określają mianem „zamienników”. Termin ten, zgodnie z definicją podaną w słowniku [7] oznacza to co ma zastąpić inną rzecz, coś, czego można użyć zamiast czegoś innego. Przykładowo, w tłumaczeniach dla hasła „zamiennik” czytamy, że zamiennikiem masła jest margaryna. A zatem owy zamiennik jest podobny ze względu na zastosowanie, natomiast różni się z uwagi na inną technologię wytwarzania. Inne także będą właściwości (parametry) takiego zamiennika. A zatem (zdaniem autora) określenie mianem „zamiennika” każdej lampy, którą można zainstalować w miejsce klasycznej żarówki nie powinno budzić zastrzeżeń. Poruszenie tej kwestii w publikacji o tematyce z dyscypliny elektrotechnika, w której ulokowana jest specjalność technika świetlna, może budzić pewne zdziwienie. Wynika to jednak z dyskusji, jaka wywiązała się wśród pracowników naukowych, podczas konferencji poświęconej zagadnieniom z zakresu techniki świetlnej. Poddano tam pod rozwagę słuszność stosowania terminu „zamiennik”, proponując być może operować określeniem „substytut” jako bardziej celnym. Zgodnie jednak z [8] słowo „substytut” jest synonimem terminu „zamiennik”, czyli innymi słowy określenia te są znaczeniowo równoważne.

Można zaryzykować stwierdzenie, że obecnie najbardziej rozpowszechnionymi zamiennikami klasycznych żarówek są zintegrowane świetlówki kompaktowe. Warto jednak podkreślić, że coraz większą popularność (z uwagi na m.in. oferowaną trwałość oraz energooszczędność) zyskują źródła LED. Lampy te aktualnie charakteryzują się jeszcze stosunkowo wysoką ceną jednostkową (jeśli wziąć pod uwagę produkty renomowanych producentów), jednak z roku na rok one tanieją. Tak więc należy oczekiwać, że już w niedalekiej przyszłości półprzewodnikowe źródła światła wyprą z gospodarstw domowych świetlówek kompaktowe. Z tego też względu w niniejszej pracy uwagę poświęcono tym dwóm typom źródeł światła.

Zamienniki klasycznych żarówek powinny spełniać szereg wymagań, które m.in. zostały podane w [6]. Zdarza się, że parametry techniczne eksponowane przez producentów (tj. np. strumień świetlny Φ , oddawanie barw

CRI, współczynnik mocy $\cos\phi$) wydają się być mało wiarygodne w konfrontacji z rzeczywistością. Zagadnieniom dot. zamienników konwencjonalnych lamp żarowych poświęcone są liczne publikacje [1, 2, 3, 4, 11, 10, 12, 14], jednak odczuwa się w nich brak analizy czynników wpływających na czas potrzebny do stabilizacji strumienia świetlnego. W pewnym stopniu problem ten został poruszony w pracy autora [13], w której zamieszczono wyniki ilustrujące wpływ warunków zasilania na czas potrzebny do stabilizacji strumienia świetlnego świetlówek kompaktowych. W niniejszej pracy zagadnienie to zostało rozpatrzone szerzej. A mianowicie podjęto próbę rozpoznania i przeanalizowania, na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych, pozostałych czynników decydujących o czasie rozświecania się lamp.

Powszechnie wiadomo, że pewną niedogodnością związaną z eksploatacją energooszczędnych zamienników klasycznych żarówek jest stosunkowo długi czas stabilizacji strumienia świetlnego. W przypadku konwencjonalnych żarówek problem rozgrzewania się lamp i stabilizacji strumienia świetlnego w zasadzie nie występuje albowiem zaraz po załączeniu, źródła te uzyskują znamionowy strumień świetlny. Upowszechnienie się zamienników klasycznych żarówek (świetlówek kompaktowych oraz źródeł LED) spowodowało zainteresowanie się problemem związanym z rozgrzewaniem się lamp, a co za tym idzie – stabilizacją strumienia świetlnego. Proces rozgrzewa się zamienników żarówek przebiega znacznie dłużej. Najbardziej zauważalne jest to w przypadku świetlówek kompaktowych. W wymogach w zakresie funkcjonalności kompaktowych lamp fluorescencyjnych [6] podano parametr, który nazwano „czasem nagrzewania się lampy do 60% Φ ”. Jest to czas (podawany w [s]) jaki musi upłynąć od zapłonu lampy, po upływie którego będzie ona emitowała 60% swojego stabilnego strumienia świetlnego. W tym samym akcie prawnym zdefiniowano „czas zapłonu lampy” czyli czas (czytamy w [6]), jaki musi upłynąć od załączenia napięcia zasilającego, po upływie którego nastąpi pełen zapłon lampy i będzie ona stabilnie świeciła. W objaśnieniach obu tych terminów występuje pojęcie „stabilny”, które zgodnie z [7, 8] rozumiane jest jako coś, co jest niezmiennie, coś, co charakteryzuje się stałością przez dłuższy czas. Szczegółowa analiza tego terminu rodzi

pewne wątpliwości natury technicznej, albowiem nasuwają się następujące pytania: kiedy będzie można uznać, że dana wielkość jest stabilna? Przecież w praktyce pomiarowej zarejestrowane wartości nigdy nie będą stałe, niezmiennie w czasie. Zawsze wystąpi pewien rozrzut. A zatem należałoby określić dopuszczalną (wyrażoną w %) różnicę pomiędzy zarejestrowanymi wynikami z pomiarów, a np. obliczoną wartością średnią.

Operując pojęciem wartości średniej powstaje kolejne pytanie, a mianowicie z jakiego przedziału czasu należałoby ją wyznaczyć? Czy np. okres ostatnich 10-ciu minut z godzinnej pracy lampy jest wystarczający? Niestety przywołane rozporządzenie [6], a także krajowa literatura dotycząca terminologii z zakresu techniki świetlnej [9] nie dostarczają informacji na ten temat. Wymienione parametry są bardzo istotne z punktu widzenia poruszanego w pracy problemu, stąd (zdaniem autora) przygotowując opracowanie na ten temat, zachodzi potrzeba pewnego uporządkowania i doprecyzowania nazewnictwa.

Pewnych informacji na temat terminologii związanej ze stabilizacją źródła światła dostarcza norma [5]. Czytamy w niej, że w celu określenia czasu stabilizacji źródła światła, należy dokonać pomiaru światłości co najmniej raz na minutę, a każda para odczytów nie powinna różnić się od minimum więcej niż 1%. O ile pomiary światłości z określonym krokiem nie budzą jakichkolwiek zastrzeżeń, tak zapis dotyczący pary odczytów, których różnica względem minimum powinna być utrzymana w granicach $\pm 1\%$ wydaje się być nie do końca oczywisty. Nasuwa się bowiem pytanie co przyjąć za tzw. „minimum”? Należy przypuszczać, że odniesieniem powinny być wartości ustalone, względem których zarejestrowane wielkości fotometryczne powinny być utrzymane w granicy $\pm 1\%$. W tak sformułowanym zapisie brakuje także informacji na temat czasu, przez który odczytane wielkości powinny zawierać się w podanej granicy. Można bowiem wyróżnić okresy chwilowej stabilizacji parametrów świetlnych, których uznanie za pełną stabilizację, będzie źródłem błędów systematycznych, na co zwrócono uwagę w literaturze [15].

Wymagania związane z określeniem czasu po upływie którego lampa uzyska 60% ustabilizowanego strumienia świetlnego nie mają zastosowania w odniesieniu do źródeł LED, z uwagi na inną specyfikę pracy lampy. Nie oznacza to jednak, że nie jest potrzebny czas jaki musi upłynąć w celu uzyskania ustabilizowanego strumienia świetlnego.

Informacja na temat czasu, po którym następuje stabilizacja strumienia świetlnego lamp, wydaje się być istotna nie tylko z punktu widzenia użytkowników świetlówek kompaktowych oraz źródeł LED, ale także osób przeprowadzających pomiary fotometryczne (np. weryfikacyjne pomiary natężenia oświetlenia we wnętrzu, czy pomiary strumienia świetlnego). Danych tych nie dostarczają producenci źródeł światła, wynika to z faktu, że parametr ten nie figuruje w wymaganiach dotyczących ekoprojektu dla bezkierunkowych lamp do użytku domowego.

Przedmiot i zakres badań

Pomiaram eksperymentalnym poddano kilka zintegrowanych świetlówek kompaktowych oraz źródeł LED różnych producentów. Ogólne informacje na temat badanych lamp zestawiono w tabeli 1. Wszystkie źródła światła posiadały klasę energetyczną A i były przewidziane do zasilania napięciem sieciowym. Źródła światła kupiono w detalicznej sieci sprzedaży (zarówno w dużych marketach, jak i małych dyskontach handlowych). Większość źródeł światła (lampy o numerach: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10 – patrz tabela 1.) zostały wyprodukowane przez ogromnych potentatów na rynku oświetleniowym. Wszystkie lampy

przewidziane były do zasilania napięciem sieciowym o wartości skutecznej 230 V.

Tabela 1. Podstawowe parametry badanych lamp, które podali w specyfikacji producenci/dystrybutorzy

L.p.	I [mA]	P [W]	Φ [lm]	T_{cn} [K]	CRI [-]	Trwałość [h]	$t_{0,6\phi}$ [s]
:: Zintegrowane świetlóvky kompaktowe ::							
1.	x	8	500	2 700	≥ 80	8 000	x
2.	x	11	630	2 500	≥ 80	10 000	x
3.	x	12	741	2 700	≥ 80	6 000	x
4.	135	18	1 200	2 500	≥ 80	8 000	135
5.	170	23	1 500	2 700	≥ 80	12 000	170
:: Źródła LED ::							
6.	x	7	x	x	x	x	x
7.	x	9	750-800	3 000	≥ 80	40 000	x
8.	58	11	850	3 000	≥ 80	30 000	x
9.	x	12	810	2 700	≥ 80	25 000	0
10.	70	12	806	2 700	≥ 80	25 000	x
<i>Objaśnienia: $t_{0,6\phi}$ - czas po upływie którego lampa uzyskuje 60% Φ, x - brak informacji, t^* - czas po którym następuje emisja strumienia świetlnego po załączeniu lampy pod napięcie (wielkość podawana przez wybranych producentów)</i>							

Zakres badań obejmował zarejestrowanie m.in. strumienia świetlnego oraz wybranych parametrów elektrycznych (tj. moc czynna, natężenie prądu, współczynnik mocy), podczas „rozruchu” poszczególnych lamp. Usiłując określić, który z elementów ma istotny wpływ na czas stabilizacji strumienia świetlnego źródeł światła zastępujących klasyczne żarówki, w badaniach laboratoryjnych uwzględniono następujące czynniki:

- pozycję pracy (w odniesieniu do wszystkich źródeł z wyłączeniem lampy nr 2 - świetlówka o mocy 11 W),
- zmiany parametrów wybranych elementów w obwodzie lampy (w odniesieniu do źródła światła nr 2),
- czas eksploatacji (w przypadku 5-ciu identycznych świetlówek o parametrach jak lampa nr 2 w tabeli 1).

Każdemu procesowi wytwarzania światła przez lampy elektryczne towarzyszą zjawiska cieplne. Innymi słowy każda z lamp podczas pracy nagrzewa się. W zależności od usytuowania źródła światła ustali się określony rozkład temperatur. Z uwagi na olbrzymią różnorodność opraw oświetleniowych używanych w gospodarstwach domowych (a co za tym idzie różnorodność usytuowania w nich źródeł światła), podczas przeprowadzania pomiarów uwzględniono dwie typowe (zdaniem autora) pozycje pracy lamp. A mianowicie pozycję pionową trzonkiem do dołu oraz trzonkiem go góry. Pomiary uzupełniono rejestrując temperaturę w czterech miejscach na powierzchni lampy. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono czasy uzyskania przez poszczególne lampy:

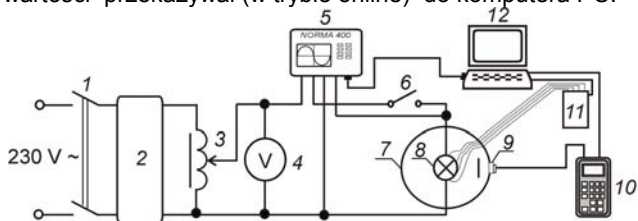
- 0,6 stabilnego strumienia świetlnego (w przypadku świetlówek) oraz
- stabilnego strumienia świetlnego.

Metodyka badań eksperymentalnych

Opis sposobu przeprowadzenia badań

Pomiary przeprowadzono w układzie o strukturze pokazanej na rysunku 1. Napięcie sieciowe podawane jest na wyłącznik (1), a po jego zamknięciu na stabilizator napięcia (2), zapewniający stałą wartość skuteczną napięcia z dokładnością 0,02%. Napięcie to kontrolowane jest woltomierzem (4) i doregulowywane autotransformatorem (3) do wartości 230 V. Parametry elektryczne rejestruje analizator mocy firmy FLUKE (5). Poszczególne badane źródła światła (8) usytuowano we wnętrzu kuli całkującej (7), a w jej okienku pomiarowym ulokowano ogniwo fotoelektryczne (9) współpracujące z jednostką sterującą luksomierza L100 (10). Dodatkowo przy rejestrowaniu

parametrów w odniesieniu do lamp, które poddano pomiarom w dwóch pozycjach pracy, do wnętrza kuli wprowadzono cztery termopary (typu K), rozlokowane w różnych miejscach na powierzchni badanych lamp. Po uruchomieniu aparatury pomiarowej zamknięto wyłącznik sieciowy (6) doprowadzając w ten sposób napięcie do zainstalowanego w kuli źródła światła. Rejestracje wybranych wielkości w odniesieniu do poszczególnych lamp przeprowadzono przez 60 min. Temperatura otoczenia panująca w laboratorium wynosiła $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Przy badaniu tej samej lampy ale w np. w zmienionej pozycji pracy lub po wprowadzeniu zmian w elektronicznym układzie zasilającym, kolejne pomiary przeprowadzono po czasie nie krótszym niż jedna godzina. Doświadczalnie stwierdzono, że po około 45 minutach (licząc od chwili wyłączenia źródła światła) lampa uzyskuje temperaturę sprzed rozpoczęcia pomiarów. Każdy z przyrządów pomiarowych (analogizator mocy, lukso mierz, miernik temperatury) zarejestrowane wartości przekazywał (w trybie online) do komputera PC.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego: 1 – wyłączniki sieciowe, 2 – stabilizator napięcia, 3 – autotransformator, 4 – woltomierz, 5 – analizator mocy, 6 – wyłącznik czasowy, 7 – kula całkująca, 8 – badane źródło światła, 9 – głowica fotometryczna, 10 – jednostka sterująca lukso mierza, 11 – miernik temperatury, 12 – komputer PC

W celu zagwarantowania pracy poszczególnych lamp przez ściśle określony czas, opracowano a następnie wykonano autorski układ wyłącznika czasowego opartego na przekaźniku, którym steruje 8-bitowy mikrokontroler AVR firmy Atmel (mikrokontroler Atmega8). Program napisany dla mikrokontrolera umożliwia ustawienie żądanego czasu pracy układu, z przedziału od 1 do 1000 godzin (z krokiem 1 godziny), po upływie którego następuje wyłączenie odbiornika. Czas pozostały do wyłączenia jest wyświetlany na bieżąco na wyświetlaczu wyłącznika czasowego. Dostępne na rynku programatory czasowe nie oferują możliwości nastawienia tak długiego czasu pracy odbiornika (przekraczającego okres kilku dni), stąd zaszła potrzeba skonstruowania wyłącznika czasowego.

Przyjęte założenia

Rejestrując zmiany strumienia świetlnego podczas „rozruchu” lamp przyjęto, że okres godziny czasu jest wystarczający do ustabilizowania się parametrów fotometrycznych źródła światła. Założono także, że chwila czasowa (wartość chwilowa napięcia), w której następuje załączenie lampy nie wpływa na proces stabilizacji strumienia świetlnego.

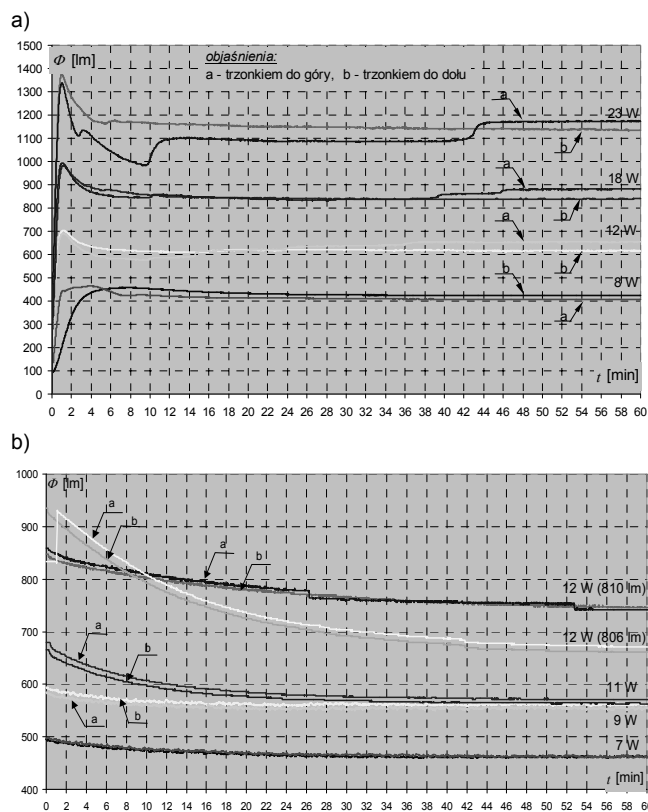
Wyniki badań eksperymentalnych

Z uwagi na mnogość danych pomiarowych, w opracowaniu całą uwagę skupiono na jednym z podstawowych parametrów fotometrycznych charakteryzujących lampy, a mianowicie strumieniu świetlnym. A zatem pozostałe parametry, które także będą ulegały zmianie podczas rozruchu lamp nie będą prezentowane w tej pracy.

Zmiana usytuowania świetlówek kompaktowych i źródeł LED

W praktyce źródła światła instalowane w oprawach oświetleniowych do mieszkań, mogą pracować w różnych pozycjach. W zależności od sposobu ich zainstalowania, podczas pracy ustali się określony rozkład temperatury wewnątrz lampy. Zdaniem autora, interesującym wydaje się być wpływ pozycji źródła światła na czas stabilizacji strumienia świetlnego. Warto podkreślić, że w przypadku źródeł światła przewidzianych do użytku w gospodarstwach domowych, producenci nie podają oznaczeń informujących o dozwolonej pozycji pracy. Należałoby zatem przypuszczać, że pozycja pracy lampy nie będzie miała istotnego wpływu na poszczególne jej parametry, w tym także na czas potrzebny do ustabilizowania się strumienia świetlnego. Wiadomo jednak, że najmniej korzystny rozkład temperatur ma miejsce przy usytuowaniu energooszczędnych zamienników klasycznych żarówek w pozycji pionowej trzonkiem do góry. Na skutek konwekcji najwyższa temperatura będzie się ustalać w najwyższym położonym miejscu lampy. W praktyce oznacza to, że elektroniczny układ zasilający czy to rurki wyładowcze (w przypadku świetlówek), czy to elementarne diody LED (w przypadku „lodówek”) będzie dodatkowo podgrzewany. Fakt ten może wpłynąć na skrócenie ich trwałości.

Na rysunku 2 przedstawiono krzywe ilustrujące zmiany strumienia świetlnego w funkcji czasu dla dwóch pozycji pracy kilku zintegrowanych świetlówek kompaktowych (rys. 2a) oraz źródeł LED (rys. 2b).



Rys. 2. Zmiany strumienia świetlnego podczas „rozruchów” a) zintegrowanych świetlówek kompaktowych różnych mocy, b) źródeł LED pracujących w dwóch pozycjach: a - trzonkiem do góry, b - trzonkiem do dołu

W oparciu o zarejestrowane zmiany strumienia świetlnego podczas „rozruchu” lamp, w tabeli 2 zestawiono wartości liczbowe informujące o czasie nagrzewania się zintegrowanych świetlówek do 60% strumienia świetlnego oraz o czasie, po którym strumień świetlny można uznać za ustabilizowany. Pod pojęciem czasu po którym strumień świetlny jest stabilny, autor rozumie taki czas, po upływie którego zarejestrowane wartości nie różnią się więcej niż „x”

procent od średniej arytmetycznej wyznaczonej na podstawie pomiarów z 10-ciu ostatnich minut pracy lampy. W tabeli 2 podano czasy dla następujących wartości: $x = 1\%$ ($\Phi_{1\%}$), $x = 2\%$ ($\Phi_{2\%}$), $x = 5\%$ ($\Phi_{5\%}$) oraz $x = 10\%$ ($\Phi_{10\%}$) dla świetlówek kompaktowych oraz źródeł LED. Oczywiście zaproponowana metodologia wyznaczania czasu, po którym strumień świetlny uzyskuje wartość ustaloną, nie może mieć zastosowania do wszystkich lamp, które poddano

pomiarom. Analizując krzywe zamieszczone na

rysunku 2 można stwierdzić, że dla kilku źródeł światła okres godziny czasu okazał się być niewystarczający do uzyskania przez nie ustalonej wartości strumienia świetlnego.

Tabela 2. Zestawienie czasów stabilizacji strumienia świetlnego zintegrowanych świetlówek kompaktowych oraz źródeł LED

Moc świetlówki:		8 W		12 W		18 W		24 W			
Pozycja pracy		a	b	a	b	a	b	a	b		
Czas po upływie którego lampy uzyskuje	$0,6 \cdot \Phi$	23 s	82 s	13 s	12 s	15 s	18 s	15 s	14 s		
	$1,0 \cdot \Phi_{1\%}$	1993 s	1733 s	2183 s	764 s	2751 s	764 s	2630 s	1687 s		
	$1,0 \cdot \Phi_{2\%}$	1298 s	1271 s	2123 s	593 s	2708 s	593 s	2603 s	878 s		
	$1,0 \cdot \Phi_{5\%}$	576 s	397 s	1425 s	271 s	132 s	271 s	2574 s	220 s		
	$1,0 \cdot \Phi_{10\%}$	336 s	153 s	864 s	149 s	94 s	149 s	627 s	146 s		
Moc lampy LED:		7 W		9 W		11 W		12 W (810 lm)		12 W (806 lm)	
Pozycja pracy		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Czas po upływie którego lampy uzyskuje	$1,0 \cdot \Phi_{1\%}$	1800 s	1376 s	834 s	876 s	1668 s	1837 s	3164 s	2547 s	2590 s	2590 s
	$1,0 \cdot \Phi_{2\%}$	1072 s	940 s	387 s	437 s	1348 s	1319 s	2096 s	2082 s	2491 s	2491 s
	$1,0 \cdot \Phi_{5\%}$	331 s	201 s	19 s	66 s	717 s	742 s	1491 s	1083 s	1699 s	1515 s
	$1,0 \cdot \Phi_{10\%}$	0 s	0 s	0 s	0 s	281 s	335 s	454 s	260 s	1180 s	1050 s

a – trzonkiem do góry, b – trzonkiem do dołu

Tabela 3. Zestawienie czasów stabilizacji strumienia świetlnego w zależności od pojemności kondensatorów C4 i C5 z rysunku 3

Pojemność C4:		2,2 μ F	2,7 μ F	4,7 μ F	10 μ F	22 μ F	47 μ F
Czas po upływie którego lampy uzyskuje	$0,6 \cdot \Phi$	23 s	28 s	74 s	81 s	79 s	26 s
	$1,0 \cdot \Phi_{1\%}$	299 s	995 s	2626 s	1658 s	1159 s	333 s
	$1,0 \cdot \Phi_{2\%}$	264 s	284 s	1601 s	964 s	762 s	279 s
	$1,0 \cdot \Phi_{5\%}$	205 s	247 s	892 s	369 s	331 s	250 s
	$1,0 \cdot \Phi_{10\%}$	37 s	40 s	131 s	134 s	135 s	70 s
Przy: C6 = 40 μ F i następujących pozycjach łączników: P4 – zamknięty, P5 i P6 – otwarte							
Pojemność C6:		33 μ F	35 μ F	37 μ F	40 μ F	44 μ F	49 μ F
Czas po upływie którego lampy uzyskuje	$0,6 \cdot \Phi$	37 s	20 s	26 s	25 s	67 s	26 s
	$1,0 \cdot \Phi_{1\%}$	2736 s	541 s	998 s	829 s	1500 s	1067 s
	$1,0 \cdot \Phi_{2\%}$	2361 s	331 s	285 s	341 s	786 s	294 s
	$1,0 \cdot \Phi_{5\%}$	1893 s	38 s	243 s	41 s	280 s	250 s
	$1,0 \cdot \Phi_{10\%}$	106 s	35 s	39 s	38 s	131 s	41 s
Przy: C4 = 2,7 μ F i następujących pozycjach łączników: P4 – zamknięty, P5 i P6 – otwarte							

Tabela 4. Zestawienie czasów stabilizacji strumienia świetlnego w zależności od pojemności kondensatorów C7, C8 oraz pozycji łącznika P4 z rysunku 3

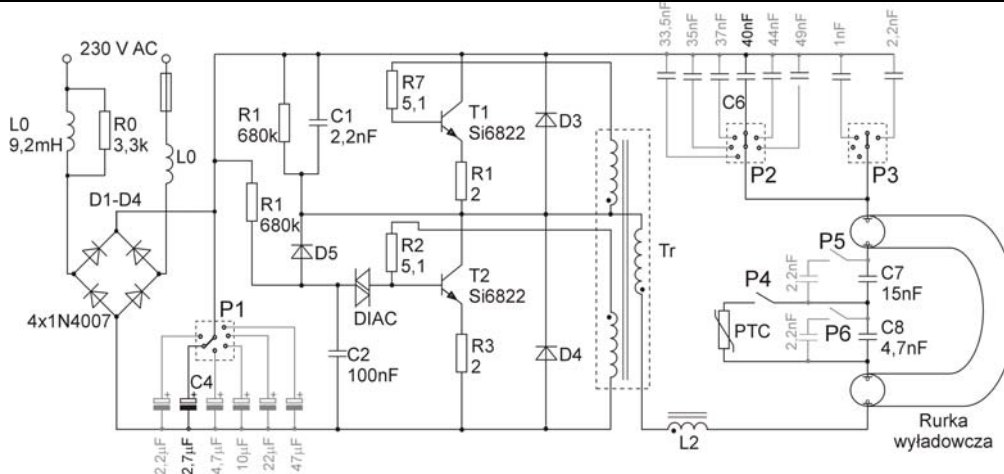
Pojemność C7:		15 nF	15 nF	17,2 nF	17,2 nF	15 nF	15 nF	17,2 nF	17,2 nF
Pojemność C8:		4,7 nF	6,9 nF	4,7 nF	6,9 nF	4,7 nF	6,9 nF	4,7 nF	6,9 nF
Łącznik P4:		otwarty	otwarty	otwarty	otwarty	zamknięty	zamknięty	zamknięty	zamknięty
Czas po upływie którego lampy uzyskuje	$0,6 \cdot \Phi$	38 s	64 s	77 s	72 s	26 s	28 s	18 s	20 s
	$1,0 \cdot \Phi_{1\%}$	363 s	965 s	833 s	934 s	1067 s	2466 s	2907 s	1029 s
	$1,0 \cdot \Phi_{2\%}$	348 s	636 s	576 s	889 s	922 s	2226 s	2685 s	927 s
	$1,0 \cdot \Phi_{5\%}$	307 s	211 s	376 s	691 s	1029 s	345 s	2199 s	810 s
	$1,0 \cdot \Phi_{10\%}$	84 s	131 s	146 s	178 s	807 s	252 s	290 s	238 s
Przy: C4 = 2,4 μ F, C6 = 40 nF									

Tabela 5. Ilustracja metodyki prowadzonych badań wraz z harmonogramem

Pomiar 1	Czas pracy	Pomiar 2	Czas pracy	Pomiar 3	Czas pracy	Pomiar 4	Czas pracy	Pomiar 5	Czas pracy	Pomiar 6	Czas pracy
1 h 26.09.13	100 h	1 h 03.10.13	400 h	1 h 22.10.13	500 h	1 h 14.11.13	1000 h	1 h 06.12.13	1000 h	1 h 18.01.14	1000 h
Pomiar 7	Czas pracy	Pomiar 8	Czas pracy	Pomiar 9	Czas pracy	Pomiar 10	Czas pracy	Pomiar 11	Czas pracy	Pomiar 12	Czas pracy
1 h 04.03.14	1000 h	1 h 17.04.14	1000 h	1 h 31.05.14	1000 h	1 h 17.07.14	1000 h	1 h 27.08.14	1000 h	1 h 26.09.14	Pomiary w toku

Tabela 6. Zestawienie czasów stabilizacji strumienia świetlnego świetlówek w zależności od liczby przepracowanych godzin

Pomiar:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Czas eksploatacji w [h]:	0	101	502	1003	2004	3005	4006	5007	6008	7009	8010	9011	
Czas w [s] po upływie którego lampa uzyskuje	$0,6 \cdot \Phi$	22	33	69	38	51	53	54	63	96	101	127	117
	$1,0 \cdot \Phi_{1\%}$	2595	2182	2187	1973	2175	2588	2055	2199	2699	2069	697	2158
	$1,0 \cdot \Phi_{2\%}$	2498	1906	1787	1169	1847	1165	1052	1777	2176	2187	610	1731
	$1,0 \cdot \Phi_{5\%}$	2312	856	980	1053	960	1056	940	886	802	747	479	624
	$1,0 \cdot \Phi_{10\%}$	2100	57	808	864	783	881	675	396	168	159	187	159



Rys. 3. Schemat elektronicznego układu zapłonowo-stabilizacyjnego świetlówki kompaktowej o mocy 11 W

Zmiany parametrów wybranych elementów w obwodzie lampy FCL

Na rysunku 3 przedstawiono klasyczny elektroniczny schemat zasilania świetlówki kompaktowej.

Zdaniem autora, parametry niektórych elementów w układzie elektronicznym lampy (rys. 3), mogą wpływać na czas stabilizacji strumienia świetlnego. Do tych elementów mogą należeć: kondensator elektrolityczny C4 podłączony do układu prostującego (mostek Greatza), kondensator C6, oraz elementy włączone pomiędzy elektrody lampy czyli kondensatory C7, C8 oraz pozytor PTC. W celu umożliwienia dokonania zmian parametrów w obwodzie lampy wprowadzono dodatkowe kondensatory oraz przełączniki, za pośrednictwem których regulowana będzie pojemność. Za pośrednictwem przełącznika P1 można wpływać na pojemność kondensatora filtrującego. Dostępne są następujące wartości: 2,2 μ F, 2,7 μ F, 4,7 μ F, 10 μ F, 22 μ F, 47 μ F (przy czym wartością zaproponowaną przez producenta to 2,7 μ F). Korzystając z przełączników P2 i P3 można regulować pojemność kondensatora C6, z tym że ten pierwszy pozwala na regulację zgrubną (33,5 nF, 35 nF, 37 nF, 40 nF, 44 nF, 49 nF), natomiast ten drugi umożliwia zwiększenie pojemności o 0,1 lub 0,2 nF. Wartość „fabryczna” tej pojemności wynosi 40 nF. W obwodzie lampy pomiędzy elektrodami także można dokonać zmian. Łączniki P5 oraz P6 pozwalają na zwiększenie pojemności odpowiednio kondensatorów C7 oraz C8. Natomiast korzystając z łącznika P4 można odłączyć pozytor (element, który nie jest stosowany w tańszych rozwiązaniach układów świetlówek).

W tabeli 3, dla różnych wartości pojemności kondensatorów odpowiednio C4 i C5, zestawiono czasy, po upływie których świetlówka uzyskuje 60% strumienia świetlnego oraz zarejestrowane wartości strumienia świetlnego utrzymywane są w założonych granicach (wyrażonych w %) względem wartości ustalonej. Wyróżnione kolumny (w tab. 3) zawierają wartości uzyskane dla pojemności zastosowanych przez producenta.

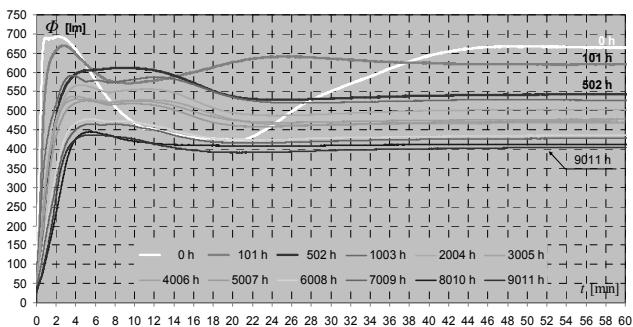
Natomiast w tabeli 4 zestawiono czasy dla różnych kombinacji elementów: C7, C8 i pozycji łącznika P4.

Czas eksploatacji

W celu określenia jak eksploatacja (czas użytkowania) świetlówek kompaktowych wpływa na czas stabilizacji emitowanego przez nie strumienia świetlnego, dokonano zakupu pięciu identycznych lamp wyprodukowanych przez jednego z renomowanych producentów. Przed przystąpieniem do eksploatacji tych lamp, w odniesieniu do każdej z nich osobna (korzystając z kuli całkującej oraz grupowego wzorca roboczego strumienia świetlnego) przez okres jednej godziny, zarejestrowano zmiany strumienia świetlnego z częstotliwością co 1 s. Po „przebadaniu” wszystkich lamp, zasilono je napięciem sieciowym (ze źródła gwarantowanego). Po nieprzerwanej pracy lamp przez okres 100 godzin, powtórzono pomiary. Kolejne rejestracje strumienia świetlnego (przed okres godziny) przeprowadzono po 400 godzinach ciągłej pracy, a następnie po 500 i wreszcie po 1000 godzinach. Czynność ta będzie kontynuowana do momentu zakończenia „czasu życia” przez poszczególne lampy. Harmonogram prowadzonych pomiarów zestawiono w tabeli 5.

Z uwagi na znaczną (z punktu widzenia realizowanych pomiarów laboratoryjnych) trwałość lamp, wynoszącą 10 tys. godzin, w celu zminimalizowania czasu trwania eksperymentu, zdecydowano się na nieprzerwaną pracę lamp pomiędzy poszczególnymi pomiarami. W praktyce zazwyczaj lampy pracują kilka godzin w ciągu doby, można jednak przywołać przykłady z życia codziennego, w których oświetlenie użytkowane jest 24 godziny w ciągu doby, przez 365 dni w roku.

Na rysunku 4 przedstawiono charakterystyki czasowe świetlówek kompaktowych, ilustrujące zmiany strumienia świetlnego zarejestrowane podczas godzinnej ich pracy, w różnych etapach ich „czasu życia”.



Rys. 4. Charakterystyki czasowe zmiany strumienia świetlnego świetlówek kompaktowych o mocy 11 W zarejestrowane po różnym czasie eksploatacji

Oczywiście pomiary przeprowadzono dla każdej z lamp z osobno, z uwagi jednak na mnogość danych pomiarowych, zamieszczone krzywe na rysunku 4 są średnią arytmetyczną (wartości na osiach rzędnych uzyskanych dla poszczególnych lamp). Czas po upływie którego lampy uzyskują określoną wartość strumienia świetlnego zestawiono w tabeli 6.

Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników z pomiarów laboratoryjnych wynikają następujące wnioski praktyczne:

1. Wszystkie świetłówki kompaktowe, które poddano badaniom, przy pracy w pozycji pionowej trzonkiem do dołu, uzyskały w krótszym czasie stabilny strumień świetlny (biorąc jako granicę 1%, 2% i 5% różnicy wartości ustalonej). Natomiast jeśli wziąć pod uwagę czas nagrzewania się lamp do 60% nominalnego strumienia świetlnego, to za wyjątkiem świetłówki o mocy 8 W, uzyskane wartości są podobne (różnią się zaledwie o 1-2 s). A zatem jeśli uznać, że losowo wybrane do badań świetłówki o mocach 12 W, 18 W i 24 W są reprezentatywne, to można zaryzykować stwierdzenie, że pozycja pracy nie przekłada się w istotny sposób na czas nagrzewania się lamp do 60% Φ .

2. W przypadku źródeł LED dla trzech spośród pięciu lamp, (podobnie jak przy świetłówkach) bardziej optymistyczne wyniki uzyskano przy usytuowaniu ich trzonkiem do dołu.

3. Regulując wartością kondensatora filtrującego C4, w pewnym stopniu można wpływać na czas stabilizacji strumienia świetlnego świetłówki. Zwiększenie pojemności C4 z 2,7 μF na 10 μF znacznie (ponad dwukrotnie) wydłużyło czas rozgrzewania się lampy, a co za tym idzie, czas uzyskania pełnej stabilizacji strumienia świetlnego. Najbardziej optymistyczne rezultaty (najkrótszy czas stabilizacji) uzyskano przy pojemności 2,2 μF .

4. Zmieniając pojemność kondensatora C6, ulokowanego w bliskim sąsiedztwie rurek wyładowczych, także można wpływać na czas potrzebny do uzyskania ustabilizowanego strumienia świetlnego. Zwiększenie pojemności z 40 μF zaledwie o 4 μF wydłużyło czas rozświecania się lampy (ponad dwukrotnie) oraz stabilizacji strumienia świetlnego. Zmniejszenie natomiast pojemności o 5 μF pozwoliło na skrócenie tych czasów. Warto zauważyć, że zależność pomiędzy pojemnością kondensatora C6 a czasem stabilizacji strumienia świetlnego nie jest liniowa.

5. Odłączenie w układzie lampy pozytora przyspiesza proces nagrzewania się lampy do uzyskania 60% Φ wydłuża jednak czas potrzebny do ustabilizowania się

strumienia świetlnego (co potwierdzają wartości zamieszczone w tabeli 4).

6. W miarę upływu czasu użytkowania świetlówek zmieniają się przebiegi czasowe strumienia świetlnego. Najdłuższy czas stabilizacji strumienia świetlnego odnotowano dla nowo zakupionych lamp, które nie były poddane wcześniejszej eksploatacji. Ciekawym zjawiskiem jest wydłużenie się, w miarę wzrostu liczby przepracowanych godzin, czasu nagrzewania się lamp do 60% Φ .

7. Przedstawiona w pracy tematyka nie może być uznana za wyczerpaną i zakończoną. Uzyskane wyniki zachęcają do kontynuowania badań w tej dziedzinie.

Podziękowanie

Druk artykułu jest sponsorowany przez Oddział Łódzki Stowarzyszenia Elektryków Polskich, za co składam podziękowanie Zarządowi Oddziału, który wspiera młodych pracowników naukowych w ich dalszym rozwoju.

LITERATURA

- [1] Bąk J.: O stosowaniu zamienników żarówek w istniejącej sytuacji – raz jeszcze, *Elektroinstalator* 3/2013 s. 50-54
- [2] Bąk J.: O wynikach badań dotyczących bezpieczeństwa fotobiologicznego zamienników żarówek, *Elektroinstalator* 7-8/2012 s.54-61
- [3] Bąk J.: Jeszcze raz o stosowaniu zamienników żarówek, *Elektroinstalator* 11/2012, s. 56-61
- [4] Czyżewski D.: Zamienniki LED klasycznych żarówek, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 11a/2012, s. 123-127
- [5] PN-EN 13032-1:2010 Światło i oświetlenie – Pomiar i prezentacja danych fotometrycznych lamp i opraw oświetleniowych – Część 1: Pomiar i format pliku
- [6] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 244/2009 z dnia 18 marca 2009 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla bezkierunkowych lamp do użytku domowego
- [7] Słownik języka polskiego, pod red. M. Szymczak, Warszawa 1999, s. 868
- [8] Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych pod red. Wł. Kopalińskiego
- [9] Słownik techniki świetlnej pod red. Wł. Ferholskiego, wdane przez Biuro Badawcze do Spraw Jakości Stow. Elektryków Polskich, Warszawa 1976
- [10] Strzyżewski J.: Zagrożenia związane z użytkowaniem zamienników żarówek, *Elektroinstalator* 1/2013, s. 68-71
- [11] Tabaka P.: Jak wybrać zamiennik tradycyjnej żarówki? *Przegląd Elektrotechniczny*, R.87 12a/2011, s. 88-93
- [12] Tabaka P.: Badania porównawcze zamienników tradycyjnych żarówek, *Przegląd Elektrotechniczny*, R86 nr 9/2010, s.
- [13] Tabaka P.: Wpływ wybranych parametrów napięcia zasilającego na właściwości elektryczne, fotometryczne i kolorymetryczne zintegrowanych świetlówek kompaktowych – *artykuł zgłoszony na konferencję LUMEN V4'2014*
- [14] Zalesińska M.: Analiza porównawcza parametrów fotometrycznych i elektrycznych źródeł światła do użytku domowego, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, zeszyt 255, 2012, s. 161-173
- [15] Zaremba K., Szymaniak A.: Charakterystyki czasowe opraw ze świetłówkami T5, *Przegląd Elektrotechniczny* R.90 nr 4/2014, s.203-205

Autor: dr inż. Przemysław Tabaka, Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki, ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, E-mail: przemyslaw.tabaka@wp.pl tel.: (42) 631 26 10