

*lampa wyładowcza,  
lampa rtęciowa,  
model matematyczny*

Antoni RÓŻOWICZ<sup>1</sup>  
Mariusz DELĄG<sup>2</sup>  
Sebastian RÓŻOWICZ<sup>3</sup>

### **NISKOCIŚNIENIOWE RTĘCIOWE LAMPY WYŁADOWCZE JAKO ŹRÓDŁO ZAKŁÓCEŃ**

*Obecnie częściej niż kiedykolwiek dotąd spotkamy się z coraz nowszymi rozwiązaniami urządzeń oświetleniowych. Skupiając się na niskociśnieniowych lampach wyładowczych to zmieniają się one zarówno w rozwiązaniach technologicznych lampy wyładowczej jak i układów stabilizacyjnozapłonowych. Wszystkie te rozwiązania różnią się zasadniczo układem sprzężenia lampy z zasilaniem oraz częstotliwością prądu w obwodzie lampy, co w sposób istotny wpływa zarówno na parametry świetlne, jak i rodzaj generowanych zakłóceń. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań teoretycznych i eksperymentalnych widma prądu pobieranego z sieci przez układy lamp fluorescencyjnych.*

### **LOW PRESSURE MERCURY DISCHARGE LAMPS AS SOURCE OF DISTURBANCES**

*More often than ever much new solutions of lighting systems are used at present time. Be focused on low pressure mercury discharge lamps. They are changed in scope of technological solutions of discharge lamp and together in scope of stabilize-ignition systems. Differences are located in coupling between lamp and power source and in frequency of current in the lamp circuit. It depends on lighting parameters and kind of generated disturbances. In this paper are showed results of theoretical and experimental observations of current spectrum in fluorescent lamp systems.*

---

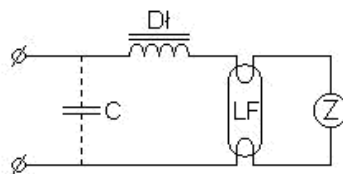
<sup>1</sup> dr hab. inż. Antoni Różowicz prof. PŚK – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

<sup>2</sup> mgr inż. Mariusz Deląg – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

<sup>3</sup> mgr inż. Sebastian Różowicz – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

## 1. WSTĘP

Najbardziej rozpowszechnioną niskociśnieniową rtęciową lampą wyładowczą jest lampa fluorescencyjna. Zasada jej działania opiera się na wyładowaniu elektrycznym w parach rtęci o małym ciśnieniu. Lampa fluorescencyjna, ma ujemną nieliniową charakterystykę napięciowo-prądową. Cecha ta nie pozwala na pracę tych lamp w obwodzie elektrycznym bez dodatkowego urządzenia, służącego do ograniczenia prądu lampy do określonej wartości. Najczęściej w tym celu stosuje się elementy indukcyjne (dławiki). W wyniku szeregowego połączenia dwóch elementów nieliniowych (dławik, źródło światła) układ całej lampy jest również nieliniowy, a więc prąd obwodu zasilania jest odkształcony. Układy zasilania tych lamp charakteryzują się niewielką wartością współczynnika mocy. Podwyższenie wartości współczynnika mocy osiąga się najczęściej, stosując na wejściu równoległe do układu zasilania kondensatory. Najprostszy układ zasilania lamp fluorescencyjnych przedstawiono na rysunku 1.

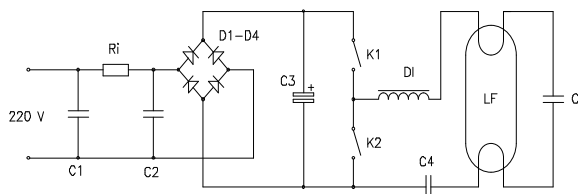


Rys. 1. Układ zasilania lampy fluorescencyjnej: *Dł* - statecznik, *LF* - lampa, *Z* – zapłonnik, *C* - kondensator

Jak wspomniano wyżej, lampa fluorescencyjna, ze względu na ujemną nieliniową charakterystykę napięciowo-prądową, musi pracować z dodatkowym urządzeniem zewnętrznym ograniczającym prąd lampy. Dlatego, uwzględniając te urządzenia, można podzielić lampy na [5]:

– fluorescencyjne pracujące ze statecznikiem elektromagnetycznym (układ przedstawiono na rysunku 1),

– lampy fluorescencyjne pracujące ze statecznikiem elektronicznym (układ przedstawiono na rysunku 2).



Rys. 2. Układ zasilania lampy fluorescencyjnej ze statecznikiem elektronicznym

Elektroniczny układ stabilizacyjno - zapłonowy składa się z filtra sieciowego prostownika i ogranicznika prądu i napięcia od strony zasilania sieci oraz przekształtnika,

obwodu rezonansowego, bloku pracy i zapłonu lampy po stronie zasilania samej lampy, czyli elektroniczny układ zapłonowy spełnia rolę statecznika i zapłonika w układzie pracy lampy fluorescencyjnej - układ taki nazywa się krótko statecznikiem HF. Wmontowane na wejściu statecznika HF filtry i dodatkowo metalowa obudowa winny w znacznym stopniu minimalizować zakłócenia elektromagnetyczne.

Układy zasilania niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych, przedstawione na rys. 1 i 2 zasadniczo różnią się między sobą układem sprzężenia lampy z zasilaniem oraz częstotliwością prądu w obwodzie lampy. Konfiguracja tych układów w sposób istotny wpływa zarówno na parametry świetlne, jak i poziom oraz rodzaj generowanych zakłóceń do sieci zasilającej [1, 7].

## 2. ZAKŁÓCENIA WYNIKAJĄCE Z EKSPLOATACJI LAMP

Mówiąc o zakłóceniach wynikających z eksploatacji lamp wyładowczych trzeba rozważyć dwa przypadki;

- zapłon lampy,
- normalna praca lampy.

W chwili zapłonu (a w zasadzie do czasu rozwarcia styków przez bimetal zapłonika w układzie ze statecznikiem elektromagnetycznym, lub przejścia termistora w stan wysokiej rezystancji w układzie elektronicznym układem stabilizacyjnozapłonowym) lampa pobiera duży prąd, za pomocą którego podgrzewane są elektrody lampy. Czas podgrzewania nie jest długi (maksymalnie kilka sekund), jednak w przypadku większej liczby zaświecanych równocześnie lamp wystarczający do wyłączenia szybkiego zabezpieczenia nadprądowego lub zmniejszenia napięcia zasilania. Znacznie groźniejsze dla aparatury elektronicznej (systemów cyfrowych) są impulsy asymetryczne, które towarzyszą każdemu załączeniu obciążenia [3]. Stanowią one źródło zakłóceń ze względu na strome czoło impulsu. Takie impulsy skutecznie indukują w sąsiednich kablach i przewodach zakłócenia tym skuteczniej, że częstym obecnie przypadkiem jest układanie przewodów energetycznych (zasilających) i sygnałowych na wspólnych torach (w plastikowych listwach i korytkach, nad podwieszanym sufitem, w instalacjach podłogowych).

W czasie normalnej pracy lamp wyładowczych, z powodu nieliniowej charakterystyki napięciowo-prądowej wyładowania w gazie lampa, pobiera z sieci prąd odkształcony, zawierający nieparzyste harmoniczne. Duży odbiór nieliniowy (wiele pracujących równocześnie niskociśnieniowych rtęciowych lamp) powoduje odkształcenie napięcia. Odkształcenie sinusoidy jest proporcjonalne do odkształceń harmonicznych prądu oraz do impedancji sieci, która (z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej) zachowuje się jak impedancja wspólna obwodu zakłócanego i zakłócającego. Prądy trzeciej harmonicznej (i jej wielokrotności) stanowią szczególny problem. Nawet, gdy obciążenie fazowe układu jest symetryczne, prądy te sumują się w przewodzie neutralnym (stanowią składową zerową) [2,7]. Poprzez sumowanie się prądy 3-ciej harmonicznej w przewodzie neutralnym mogą osiągać wartości większe niż prądy w przewodach fazowych. Nagrzewanie przewodu zerowego prądem o częstotliwości 150 Hz daje większy efekt niż prądem o częstotliwości 50 Hz z powodu zjawiska naskórkowości.

Odkształcenie krzywej napięcia zasilającego (zawartość harmonicznych) od sinusoidy liczbowo określa się współczynnikiem zawartości harmonicznych:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^n (U_n)^2}}{U_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:  $U_1$  – wartość skuteczna harmonicznnej podstawowej napięcia  
 $U_n$  – wartość skuteczna n harmonicznnej napięcia  
 $n$  - rząd harmonicznnej

Natomiast przesunięcie współczynnika mocy ( $\cos\phi$ ) definiuje się jako stosunek wartości mocy rzeczywistej do wartości mocy pozornej w odniesieniu dla podstawowej harmonicznnej,

$$DPF = \frac{\text{Moc czynna (kW)}}{\text{Moc pozorna (V}_{rms} \times I_{rms})} \quad (2)$$

a współczynnik mocy, jako stosunek wartości mocy rzeczywistej do wartości mocy pozornej zawierającej wszystkie harmoniczne

$$PF = \frac{\text{Moc czynna (kW)}}{\text{Moc pozorna (V}_{rms} * I_{rms})} \quad (3)$$

### 3. DOPUSZCZALNE POZIOMY ZAKŁÓCEŃ WEDŁUG PN

Polskie Normy [5, 6], będące tłumaczeniami norm Europejskich w dziedzinie kompatybilności elektromagnetycznej przewidują dla sprzętu oświetleniowego maksymalne wartości harmonicznnych wyrażonych w procentach podstawowej harmonicznnej prądu zasilającego (tabela 1). Norma nie obejmuje lamp samostatecznikowych (świelówek kompaktowych, elektronicznnych świelówek kompaktowych) o mocy  $\leq 25$  W, które obecnie stają się coraz bardziej popularne.

Tab.1. Dopuszczalne poziomy zakłóceń dla sprzętu oświetleniowego

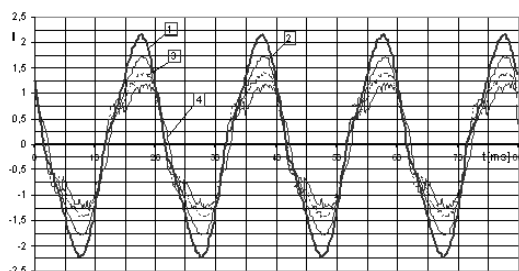
Rząd harmonicznnej n	Maksymalny dopuszczalny prąd harmonicznnej wyrażony w procentach podstawowej harmonicznnej prądu zasilającego %
2	2
3	30 $\lambda$
5	10
7	7
9	5
11 $\leq$ n $\leq$ 39 (tylko harmoniczne nieparzyste)	3
$\lambda$ jest współczynnikiem mocy obwodu	

#### 4. ANALIZA WIDMOWA PRĄDU POBIERANEGO Z SIECI PRZEZ LAMPY WYŁADOWCZE

Jak wspomniano w rozdziale 2, układ niskociśnieniowej rtęciowej lampy wyładowczej ze statecznikiem elektromagnetycznym składa się z szeregowo połączonych dwóch elementów nieliniowych, natomiast w przypadku kompensacji z trzech elementów nieliniowych połączonych szeregowo-równolegle. W każdym z tych przypadków całe układy lamp są także nieliniowe. W takim przypadku każdy układ pracy lampy wyładowczej pobiera prąd niesinusoidalny tj. zawiera składową podstawową o częstotliwości 50Hz oraz harmoniczne o częstotliwościach będących krotnościami podstawowej. Najwyższy rząd harmonicznych, branych pod uwagę wynosi 40 (2kHz w sieciach o częstotliwości 50Hz). Przebiegi czasowe prądu pobieranego przez układ lampy charakteryzują się odwrotną zgodnością półokresów, w rezultacie czego w rozkładzie Furiera występują tylko harmoniczne nieparzyste.

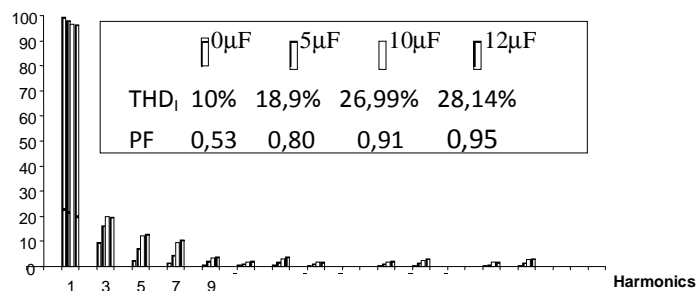
Przykładową analizę prądu dla układu pracy niskociśnieniowej rtęciowej lampy wyładowczej (fluorescencyjnej) ze statecznikiem elektromagnetycznym przedstawiono na rys.3, 4.

Badania zawartości wyższych harmonicznych prądu dla powyższych układów przeprowadzono, przy zawartości harmonicznych w napięciu zasilającym mniejszym niż 2%. Odształcenie napięcia nie było spowodowane obecnością badanych lamp. Pomiar wykazały iż brak jest znaczących różnic w widmach prądu w tej grupie układów, a cechą charakterystyczną jest dominacja trzeciej i piątej harmonicznej i stosunkowo szybkie zanikanie harmonicznych wyższych rzędów. w przypadku gdy w układach nie stosuje się dodatkowych kondensatorów do poprawy współczynnika mocy. Niewielkie różnice procentowe zawartości poszczególnych harmonicznych w poszczególnych układach pracy wynikają z typu lampy lub statecznika (różnice nie przekraczały 5%). Natomiast w układach o większej wartości PF dominują trzecia, piąta, siódma harmoniczna. Wartość współczynnika  $THD_1\%$  jest proporcjonalna do wartości PF. Podwyższenie wartości współczynnika mocy osiąga się najczęściej, stosując na wejściu równolegle do układu pracy kondensatory rys.3. Zastosowanie dodatkowych kondensatorów zwiększa w istotny sposób wartość współczynnika  $THD_1$ .



Rys.3. Przebieg prądu niskoprężnych lamp rtęciowych ze statecznikiem elektromagnetycznym w zależności od stopnia skompensowania, gdzie: 1- krzywa prądu lampy przy braku kompensacji, 2- krzywa prądu przy zastosowaniu kondensatora  $5\mu F$ , 3--

krzywa prądu przy zastosowaniu kondensatora  $9\mu\text{F}$ , 4 - krzywa prądu przy zastosowaniu kondensatora  $12\mu\text{F}$

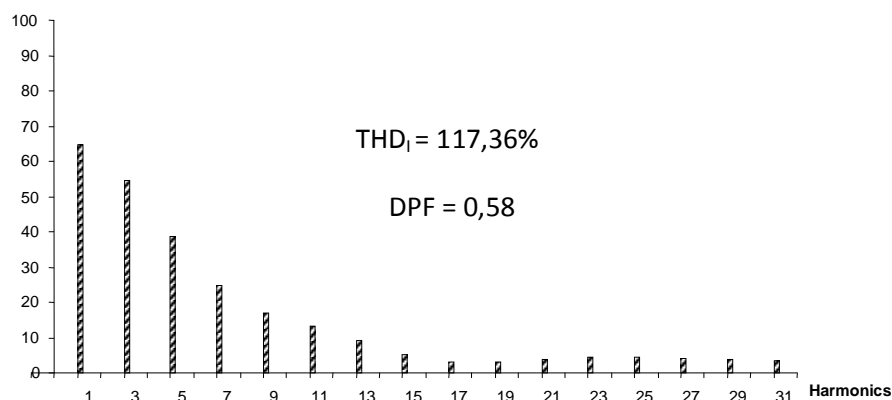


Rys. 4. Widmo częstotliwościowe prądu lampy ze statecznikiem elektromagnetycznym w zależności od pojemności kondensatora zastosowanego do poprawy współczynnika mocy: THDI – procent całkowitych odkształceń w odniesieniu do podstawy, PF – współczynnik mocy

W najnowszych rozwiązaniach układów pracy niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych ze statecznikiem elektronicznym stosuje się dwa typowe rozwiązania:

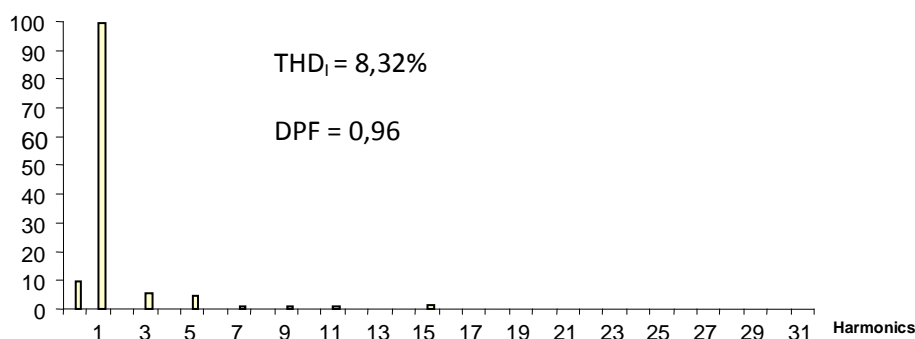
- elektroniczny układ stabilizacyjno-zapłonowy,
- elektroniczny układ stabilizacyjno-zapłonowy z linearyzacją charakterystyki napięciowo-prądowej.

Pierwsze rozwiązanie stosuje się do lamp fluorescencyjnych, których moc nie przekracza  $25\text{W}$ . W układach tych wykorzystuje się zasilacze wysokiej częstotliwości, w których stosuje się pośredni obwód napięcia stałego, czyli prostowniki diodowe z filtrem pojemnościowym. Wadą tych układów jest to, iż zasilanie przewodzi prąd tylko w przedziałach kątowych, w których chwilowe napięcie przemiennie jest wyższe od napięcia kondensatora skierowane wstecznie do kierunku przewodzenia diod. Jeśli przyjąć napięcie kondensatora równe napięciu wyprostowanemu, to kąt przewodzenia jest niewielki, oznacza to, że prąd ma przebieg impulsowy o dużej wartości szczytowej i zawiera harmoniczne wyższych rzędów. Na rys. 5 przedstawiono widmo częstotliwościowe prądu pobieranego z sieci przez układ zasilania lampy fluorescencyjnej ze statecznikiem elektronicznym. W prądzie lampy występują harmoniczne nieparzyste do trzydziestej pierwszej, z istotnym udziałem powyżej 10% do trzynastej harmonicznej.



Rys. 5. Widmo częstotliwościowe prądu zasilania lampy ze statecznikiem elektronicznym

Minimalizację współczynnika  $THD_1$  można osiągnąć stosując np. metody linearyzacji charakterystyki prądowo-napięciowej przekształtnika, nazywanej w języku angielskim „dithering technique” [7, 8]. Technika ta polega na wprowadzeniu do wejścia członu nieliniowego ze strefą martwą sygnału wysokiej częstotliwości, który dodaje się do sygnału sterującego. Sygnał wysokiej częstotliwości przewyższa nieznacznie sygnał strefy martwej. W efekcie takiego rozwiązania uzyskuje się odkształcenie od sinusoidy prądu lampy  $THD_1 = 8,32\%$ , co raczej jest niemożliwe w układach pracy bez zastosowania linearyzacji.



Rys.6. Widmo częstotliwościowe prądu lampy z elektronicznym układem stabilizacyjno-zapłonowym.

Elektroniczny układ stabilizacyjno-zapłonowy (zwanym powszechnie HF) lampy jest wyposażony w przekształtnik o odpowiedniej konstrukcji zapewniającej uzyskanie współczynnika mocy o dużej wartości. W efekcie takiego rozwiązania uzyskuje się odkształcenie od sinusoidy prądu lampy nawet  $THD_1 = 8,32\%$ , (rys.6) co raczej jest niemożliwe w innych układach pracy. Analizę widmową prądu układu niskoprężnej

rtęciowej lampy wyładowczej z elektronicznym układem stabilizacyjno-zapłonowym przedstawiono na rys.6.

Przedstawione na rys. 5 wyniki analizy zawartości wyższych harmonicznych prądu niskoprężnej rtęciowej lampy wyładowczej z członem elektronicznym, wykazują iż w prądzie lampy występują harmoniczne nieparzyste do trzydziestej pierwszej, z istotnym udziałem powyżej 10% do trzynastej harmonicznej. Współczynnik zawartości harmonicznych prądu lampy wynosi  $THD_I=117,36\%$ . Przy stosowaniu dużej ilości świetlówki kompaktowe z członem elektronicznym na obiekcie istnieje możliwość ciepłego przeciążenia przewodu neutralno-ochronnego instalacji, gdyż algebraicznie sumują się składowe kolejności zerowej prądu (trzecia i dziewiąta harmoniczna).

Natomiast lampy fluorescencyjne pracujące z elektronicznymi układami stabilizacyjno-zapłonowymi które w większości wyposażone są w przekształtniki i filtry o odpowiedniej konstrukcji zapewniają uzyskanie współczynnika mocy o dużej wartości  $PF=0,95$  przy odkształceniu od sinusoidy prądu lampy  $THD_I = 8,32\%$ , (rys.6) co raczej jest niemożliwe w innych układach pracy.

## 5. WNIOSKI

Niezależnie od rodzaju stosowanego układu stabilizacyjno-zapłonowego w układach niskoprężnych lamp wyładowczych prąd zasilania zawiera wyższe harmoniczne. z tym że w układach ze statecznikiem elektromagnetycznym posiada bardzo silną tendencję zanikania harmonicznych powyżej piątej (w układach ze statecznikiem elektronicznym obserwuje się jeszcze większy trend zanikania wyższych harmonicznych nawet trzeciej i piątej przy istnieniu dość znacznej zawartości DC).

Wyniki badań i analiz wskazują dość jednoznacznie, iż przy masowym stosowaniu lamp z; zapłonnikami elektromagnetycznymi lub elektronicznymi układami stabilizacyjno-zapłonowymi (znaczne moce zainstalowane) harmoniczne prądu pobieranego przez układ lampy powodują odkształcenie krzywej napięcia.

Mechanizm odkształcenia krzywej napięcia przez harmoniczne prądu polega na tym, że harmoniczne prądu wywołują na impedancji układu zasilania harmoniczne spadki napięć, a te nakładając się na przebieg napięcia zasilania powoduje jego odkształcenie. W konsekwencji odkształcenie krzywej napięcia prowadzi do: wzrostu strat mocy czynnej, występowania momentów pasożytniczych w silnikach, trudności w zapewnieniu skuteczności ochrony przeciwporażeniowej, zakłóceń w obwodach sygnalizacji i sterownia [2] i wielu innych niekorzystnych zjawisk.

## 6. LITERATURA

- [1] Durgan R. C., MacGranaghain M. F. and Beaty H. W.: *Electrical Power System Quality*, New York: McGraw-Hill. 1996.
- [2] Hanzelka Z.: *Energooszczędne oświetlenie gospodarstw domowych. Konferencja „nowoczesna technika oświetleniowa”*, Gliwice'97.
- [3] Key T.: *Costs and benefits of harmonic current reduction for switch-mode power supplies in a commercial office buildings*, Conf. Orlando'95.



- [4] Polska Akademia Nauk, ekspertyza. *Kierunki rozwoju energetyki kompleksowej w Polsce do 2010r*, Warszawa 1994.
- [5] PN-EN 61000-3-2, PN-IEC 1000-3-2: *Kompatybilność elektromagnetyczna. Dopuszczalne poziomy. Dopuszczalne poziomy emisji harmonicznego prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika  $\leq 16A$ )*.
- [6] IEC 1000-3-2/95 *Kompatybilność elektromagnetyczna*.
- [7] Różowicz A., Różowicz S.: *Układy pracy niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych jako źródła i odbiorniki zakłóceń*, Przegląd Elektrotechniczny, 8/2008, s. 224-227.
- [8] Różowicz A.: *Wpływ częstotliwości prądu zasilającego lampy fluorescencyjne na ich wybrane parametry eksploatacyjne*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004, s.107