

Charakterystyki wysokoprężnej lampy sodowej przy różnych sposobach zasilania

Streszczenie. W artykule przedstawiono charakterystyki prądowo – napięciowe oraz przebiegi czasowe wysokoprężnej lampy sodowej przy zasilaniu z sieci elektroenergetycznej ze statecznikiem indukcyjnym oraz przy zasilaniu poprzez falownik wymuszający prostokątny przebieg prądu. Przedstawione wyniki mogą być przydatne przy projektowaniu nowych konstrukcji układów zasilających wysokoprężne lampy sodowe.

Słowa kluczowe: wysokoprężna lampa sodowa, statecznik energoelektroniczny,

Wstęp

W ostatnich latach nastąpił dynamiczny rozwój źródeł światła, w szczególności źródeł LED. Zwykle skuteczność świetlna lamp LED nie przekracza 100 lm/W, choć osiągnięto już (w 2014 r.) skuteczność ok. 300 lm/W [1]. Jednak sodowe oraz metalohalogenkowe wysokoprężne lampy wyładowcze pozostają nadal atrakcyjnymi i wysokosprawnymi źródłami światła. Według [2, 3] skuteczność świetlna wysokoprężnych lamp sodowych (HPS) dochodzi do 150 lm/W i jest porównywalna ze skutecznością świetlną powszechnie stosowanych diod LED.

Literatura dotycząca wysokoprężnych lamp wyładowczych (sodowych i metalohalogenkowych) oraz ich sposobów sterowania jest bogata. Przegląd powszechnie stosowanych metod i układów sterowania przedstawiony jest m.in. w następujących pozycjach literatury [4 - 12]. W ostatnim czasie szczególną uwagę poświęca się układom, w których lampa wysokoprężna (HID) zasilana jest prostokątną falą prądu [6 - 12]. Zazwyczaj taki układ zasilania składa się z podzespołów: PFC kształtującego sinusoidalny prąd sieci zasilającej [7 - 12], przekształtnika step-down pracującego jako źródło prądu stałego oraz falownika generującego na wyjściu prostokątną falę prądu o częstotliwości kilkuset (zwykle ok. 200) Hz. Niektóre z układów sterowania mają możliwość regulacji strumienia świetlnego za pomocą zmian wartości prądu [13].

Sposoby zasilania wysokoprężnych lamp sodowych

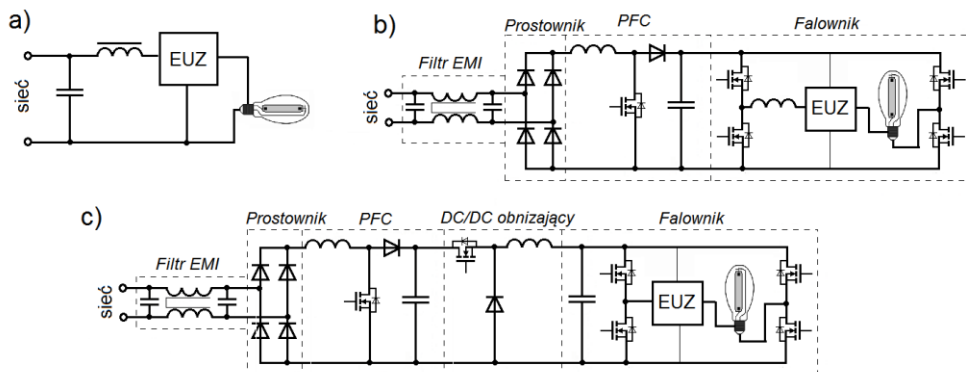
Na rysunku 1 przedstawiono schematy ilustrujące sposoby zasilania wysokoprężnych lamp sodowych. W układzie klasycznym (rys. 1a) do ograniczenia prądu lampy stosuje się tzw. statecznik indukcyjny (dławik o rdzeniu z blachy transformatorowej). Ze względu na obecność dławika konieczna staje się kompensacja mocy biernej, za pomocą kondensatora dołączonego od strony sieci zasilającej.

Na rysunkach 1b i 1c przedstawione są schematy ilustrujące zasilanie lamp wysokoprężnych (HID) sodowych lub metalohalogenkowych [9 – 12]. W skład układów wchodzi takie podzespoły jak: filtr EMI (zaburzeń o częstotliwościach radiowych), układ PFC, falownik. W układzie z rysunku 1b prostokątna fala prądu wyjściowego kształtowana jest za pomocą falownika. Mimo, że przez falownik kształtowana jest fala prądu o częstotliwości kilkuset Hz, tranzystory tego falownika przełączają się

z częstotliwością rzędu kilkudziesięciu kiloherców. Ponadto cewka ograniczająca stromości narastania i opadania prądu lampy znajduje się na wyjściu falownika.

W układzie z rysunku 1c kształtowanie fali prądu odbywa się za pomocą dodatkowego przekształtnika DC/DC obniżającego napięcie. Tranzystory falownika przełączają się jedynie z częstotliwością kilkuset Hz (np. 200Hz) natomiast tranzystor przekształtnika DC/DC przełącza się z częstotliwością kilkudziesięciu kiloherców. W tym układzie dławik ograniczający stromości narastania / opadania prądu znajduje się na wyjściu przekształtnika DC/DC (na wejściu falownika). Układ z rysunku 1b ma prostszą strukturę w stosunku do układu z rysunku 1c, natomiast nieco bardziej skomplikowany algorytm sterowania. Z uwagi na szeroką gamę dostępnych na rynku specjalizowanych układów scalonych, przeznaczonych do sterowania elementarnymi przekształtnikami składowymi (PFC, DC/DC, falownik), często do realizacji wybierany jest układ z rysunku 1c.

Każdy z układów zasilania wysokoprężnych lamp wyładowczych wyposażony jest w elektroniczny układ zapłonowy (EUZ), przy czym konstrukcja układu zapłonowego z rysunku 1a różni się od konstrukcji układów EUZ z rysunków 1b i 1c.

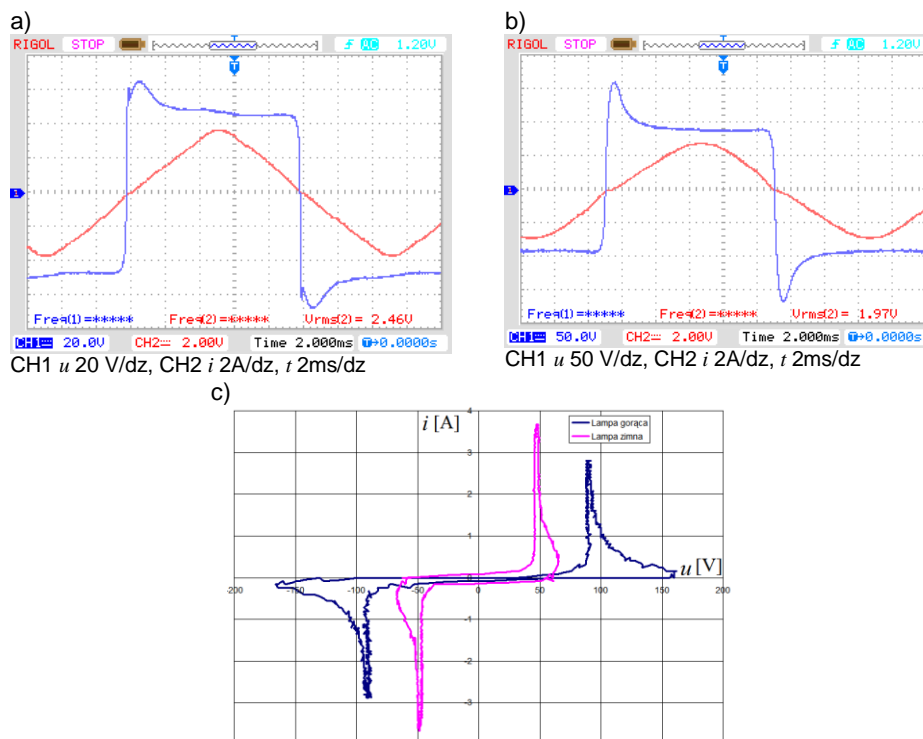


Rys. 1. Schematy ilustrujące sposoby zasilania wysokoprężnych lamp sodowych: a) układ klasyczny, ze statecznikiem indukcyjnym, b) , c) układy z przekształtnikiem energoelektronicznym; EUZ – elektroniczny układ zapłonowy.

Wybrane wyniki badań wysokoprężnej, sodowej lampy wyładowczej

Na rysunku 2 przedstawiono oscylogramy prądu i napięcia lampy Philips, *Master Son-T, PIA Plus*, o mocy znamionowej 150 W ($I_N=1,8$ A, 17500 lm, 110 Lm/W, 2000K) przy zasilaniu z sieci elektroenergetycznej ze statecznikiem indukcyjnym. Oscylogramy oraz odpowiadające im trajektorie prądowo napięciowe pokazują, że w każdym półokresie prądu płynącego przez lampę, po zapłonie, zachowuje się ona jak źródło napięciowe. Przebieg napięcia ma stałą wartość (dodatnią lub ujemną) od chwili zapłonu do chwili zgaśnięcia wyładowania. Wartość tego napięcia zależy od temperatury lampy, będącej funkcją mocy.

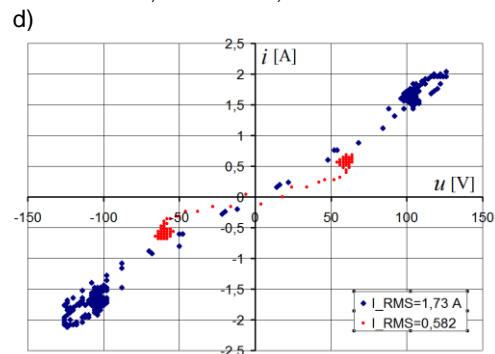
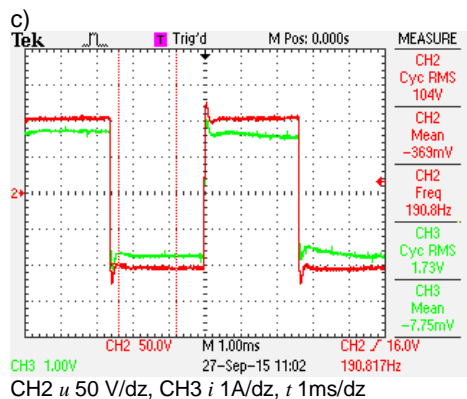
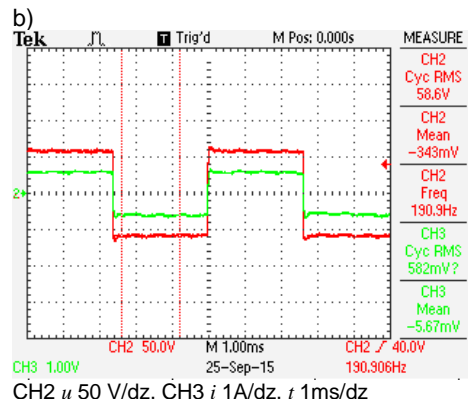
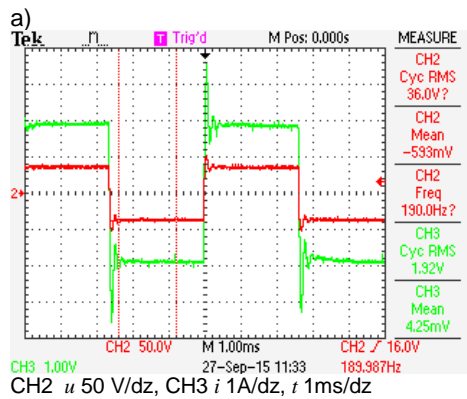
IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016



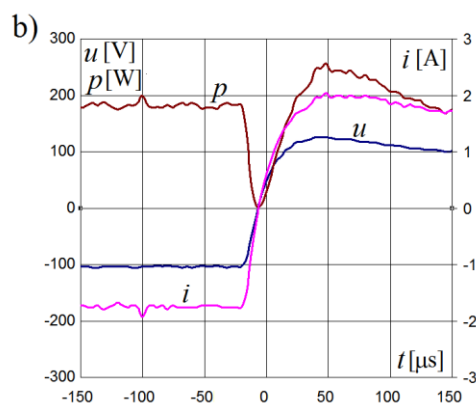
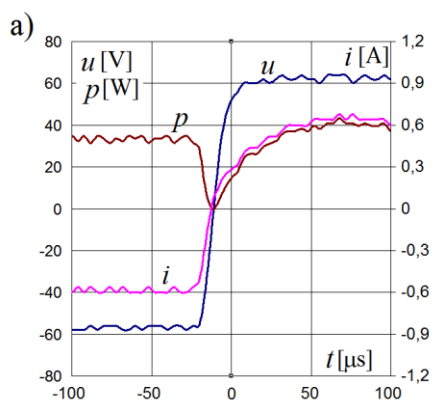
Rys. 2. Przebiegi prądu i napięcia lampy *Master Son-T, PIA Plus 150 W* przy zasilaniu z sieci elektroenergetycznej ze statecznikiem indukcyjnym: a) lampa zimna, kilka sekund po włączeniu, b) lampa gorąca, w stanie ustalonym, c) trajektorie $i=f(u)$ dla przebiegów z rysunków a) i b); ustalenie wartości napięcia następuje po ok. 2 ms od chwili zmiany kierunku prądu.

Na rysunku 3 przedstawiono oscylogramy tej samej lampy przy zasilaniu z falownika (zaprojektowanego i zbudowanego przez autora w oparciu o schemat z rys. 1c), wymuszając prostokątny przebieg prądu. Na rysunku 4 przedstawiono chwilowe wartości prądu, napięcia i mocy lampy w rozciągniętej skali czasu, odpowiadające przebiegom z rysunku 3b i 3c. Napięcie i prąd mają kształt fali prostokątnej, przy czym ustalenie się napięcia następuje już po czasie kilkudziesięciu mikrosekund (rys. 3b, 3c, 4a, 4b), a więc po czasie kilkadziesiąt razy krótszym w stosunku do przebiegów z rysunku 1. Wyładowanie w lampie praktycznie nie gaśnie co pokazuje trajektoria z rysunku 3d. Uwzględniając powyżej opisane zjawiska należy stwierdzić, że przy zasilaniu lampy wyładowczej za pomocą przekształtnika efekt stroboskopowy jest niezauważalny.

Zasilanie lampy HID za pomocą przekształtnika umożliwia łatwą regulację mocy lampy, za pomocą modulacji szerokości impulsów (PWM). Przebiegi z rysunku 3 uzyskano zmieniając współczynnik wypełnienia sygnału sterowania (o częstotliwości kilkudziesięciu kiloherców) tranzystora przekształtnika DC/DC. Uzyskano zakres regulacji mocy od ok. 34W (rys. 3b) do ok. 180 W (rys. 3c) przy napięciu i prądzie lampy 104 V, 1,73 A < $I_N=1,8$ A. Podczas rozruchu lampy moc, napięcie i prąd wynosiły: ok. 21 W, 36 V, 1,92 A (rys. 3a).



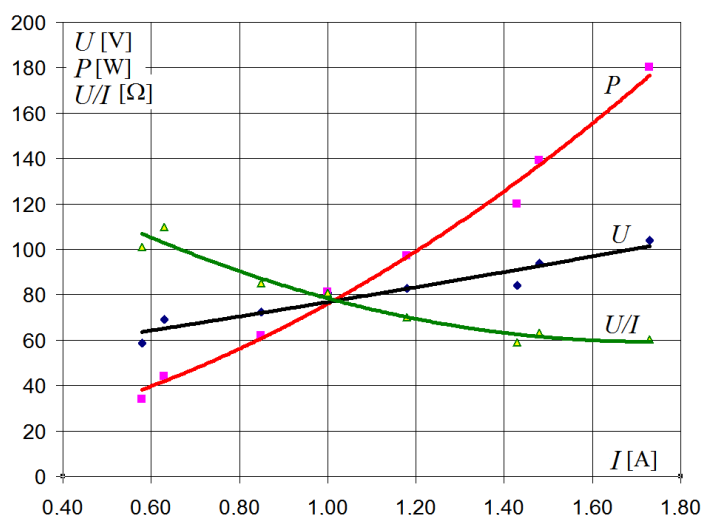
Rys. 3. Przebiegi prądu i napięcia lampy przy zasilaniu z falownika prądem o przebiegu prostokątnym: a) lampa zimna, b) lampa gorąca w stanie ustalonym $I_{RMS}=0,58$ A, c) lampa gorąca w stanie ustalonym $I_{RMS}=1,73$ A, d) trajektorie $i=f(u)$ dla przebiegów z rysunków b), c).



Rys. 4. Przebiegi wartości chwilowych prądu, napięcia i mocy lampy przy zasilaniu z falownika prądem o przebiegu prostokątnym, lampa gorąca w stanie ustalonym: a) $I_{RMS}=0,58$ A, b) $I_{RMS}=1,73$ A.

IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

Rysunek 5 przedstawia charakterystyki wartości skutecznej napięcia lampy U , mocy P oraz ilorazu U/I (rezystancji statycznej) w funkcji wartości skutecznej prądu lampy o przebiegu prostokątnym. Należy zwrócić uwagę na zmienność rezystancji statycznej lampy w funkcji jej prądu (lub w funkcji mocy). Dla badanej lampy rezystancja statyczna zmienia się w granicach od ok. 110 do 60 Ω wraz ze wzrostem prądu (mocy). Rezystancja dynamiczna (du/di) pozostaje natomiast dużo mniejsza dla danej mocy, co pokazują np. oscylogramy z rysunku 2 (przebiegi prądu i napięcia po zapłonie lampy).



Rys. 5. Charakterystyki wartości skutecznej napięcia lampy U , mocy P oraz ilorazu U/I (rezystancji statycznej) w funkcji wartości skutecznej prądu lampy I przy wymuszeniu prądu lampy o kształcie prostokątnym.

Wnioski

W artykule przedstawiono przebiegi czasowe prądu i napięcia oraz trajektorie $i = f(u)$ wysokoprężnej lampy sodowej przy różnych sposobach zasilania. Pokazano istotne różnice w wynikające ze sposobu sterowania, jak np. praktycznie nie występujący efekt stroboskopowy przy zasilaniu prostokątną falą prądu. Jest to związane z ciągłą, silną jonizacją gazu. W tych warunkach zapłon i ustalenie się wartości chwilowej napięcia w gorącej lampie następuje w czasie kilkadziesiąt razy krótszym niż przy zasilaniu z sieci elektroenergetycznej poprzez statecznik dławikowy (rys. 2 i 3).

Opisany układ zaprojektowano i zbudowano zgodnie z rysunkiem 1c, wykorzystując komercyjne, łatwo dostępne specjalizowane układy scalone. Każdy z podzespołów przekształtnika zasilającego lampę miał oddzielny, scalony układ sterujący. Zadawanie wartości prądu lampy odbywać się mogło za pomocą nastaw wewnętrznych lub zewnętrznego, separowanego sygnału PWM.

Zasilanie lampy wyładowczej poprzez przekształtnik umożliwiło regulację mocy lampy w szerokim zakresie, od ok. 34 W do 180 W (przy mocy znamionowej 150W), bez przekroczenia prądu znamionowego lampy. W tym przypadku zadawano wartość prądu lampy o prostokątnym kształcie przebiegu. Przy wykorzystaniu zewnętrznego, nadrzędnego układu sterującego wartością zadawaną i kontrolowaną mogła być np. moc.

W najbliższej przyszłości autor planuje wykonanie dalszych badań porównawczych (np. natężenia oświetlenia oraz widma różnego typu lamp) przy wykorzystaniu stateczników magnetycznych oraz energoelektronicznych.

Artykuł napisany został przy wykorzystaniu badań finansowanych z projektu GEKON nr 214093 „Inteligentne systemy sterowania oświetleniem ulicznym” realizowanych w latach 2014-2015.

Literatura

1. Cree Inc., <http://www.cree.com/News-and-Events/Cree-News/Press-Releases/2014/March/300LPW-LED-barrier>
2. RapidTables Online Reference & Tools
<http://www.rapidtables.com/calc/light/how-lumen-to-watt.htm>
3. Wikipedia
https://pl.wikipedia.org/wiki/Skuteczno%C5%9B%C4%87_%C5%9Bwietlna
4. KF. Kwok, K W. Eric Cheng, Dong Ping, *General study for design the HID ballasts*, 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications, 2006, pp 182 -185.
5. OSRAM GmbH, *Metal halide lamps - Instructions for the use and application*, document nr 106T020GB, 2007, pp 1- 53, www.osram.com.
6. Mhrcio A. C6, Cassius Z. Rezende, *Microcontrolled Electronic Gear for HID Lamps – Comparisons with Electromagnetic Ballast*, 28th Annual Conference of Industrial Electronics Society, IEEE, 2002, pp 468 – 472.
7. Marchesan, T.B.; Cervi, M.; Campos, A.; do Prado, R.N., *A Family of Electronic Ballasts Integrating Power Factor Correction and Power Control Stages to Supply HPS Lamps*, 41st IAS Annual Meeting Industry Applications Conference, IEEE, 2006, pp 1107 – 1112.
8. T. Ribarich, *How To Control and Reap the Benefits of HID Lamps – Design Feature*, Lighting Systems, International Rectifier, www.powerselectronics.com, 2010, pp 36 – 39.
9. STMicroelectronics, *250 W HID metal halide electronic ballast*, AN2747 Application note, 2008, pp 1- 44.
10. STMicroelectronics, *70 W HID lamp ballast based on the L6569, L6385E and L6562A*, AN2835 Application note, 2010, pp 1- 21.
11. T. Ribarich, *How To Design a 250-W HID Electronic Ballast*, How2Power, 2010, pp 1 – 6.
12. International Rectifier, *HID Ballast for 70W Lamp Using the IRS2573D*, Reference Design IRPLHID2, www.irf.com, 2010, pp 1 – 30.
13. P. Dong, K. W. E. Cheng, and others, *General Discussion on Dimming Control Method Used for Discharge Lamp*, 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications, 2006, pp 178 – 181.

Autor: dr hab. inż. Jan Mućko, prof. UTP; Instytut Inżynierii Elektrycznej, Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, ul. Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: mucko@utp.edu.pl