

Lucyna HEMKA  
Krzysztof TOMCZUK

## JAKOŚĆ ENERGII W UKŁADACH ZASILANIA LAMP METALOHALOGENKOWYCH

**STRESZCZENIE** *W artykule przedstawiono wyniki pomiarów elektrycznych klasycznego statecznika do lamp wyładowczych oraz opracowanego statecznika elektronicznego. Analizie podlegała moc pobierana z sieci, moc dostarczana do lampy, zawartość harmonicznych w prądzie pobieranym z sieci energetycznej oraz sprawność stateczników.*

**Słowa kluczowe:** *lampa metalohalogenkowa, statecznik elektroniczny, krzywe harmoniczne*

### 1. LAMPY METALOHALOGENKOWE

---

Lampa metalohalogenkowa jest lampą wyładowczą, w której światło powstaje dzięki wyładowaniu elektrycznemu w mieszaninie par rtęci, argonu oraz halogenków metali (niekiedy również innych gazów szlachetnych oraz bromu lub jodu). Gazy te są pod wysokim ciśnieniem, przez co mówi się, że jest lampą wysokoprężną. Składa się z ceramicznego lub kwarcowego jarznika oraz zewnętrznej bańki szklanej, która może być pokryta powłoką rozpraszającą światło i zatrzymującą promieniowanie UV.

---

**dr inż. Lucyna HEMKA**

e-mail: l.hemka@iel.waw.pl

**dr inż. Krzysztof TOMCZUK**

e-mail: k.tomczuk@iel.waw.pl

Institut Elektrotechniki



Rys. 1. Widok lampy metalohalogenkowej

Lampy te charakteryzują się wysoką skutecznością świetlną (65-115 lm/W, podobną jak lampy sodowe), długą żywotnością (od 7500 do 20000 godzin) oraz dobrym oddawaniem barw (przy czym można uzyskać temperaturę barwową od 3000 K do 20000 K, w zależności od zastosowanej mieszanki gazowej).

Stosuje się je zarówno w oświetleniu wewnętrznym (np. w sklepach, zakładach przemysłowych, halach sportowych), jak i zewnętrznym, zwłaszcza do iluminacji obiektów architektonicznych, oświetlenia stacji benzynowych oraz plakatów reklamowych (billboardów). Mają również zastosowanie w akwarystyce, szczególnie morskiej.

## 2. EMISJA PROMIENIOWANIA Z JARZNIKA LAMPY WYŁADOWCZEJ

---

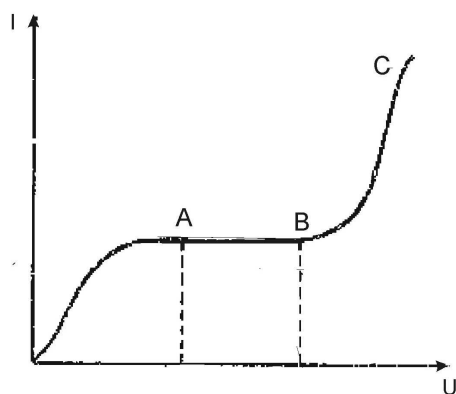
Powstawanie promieniowania w lampach wyładowczych jest efektem transformacji energii elektrycznej dostarczonej do lampy w energię kinetyczną elektronów, atomów i jonów, która z kolei przekształca się w promieniowanie w rezultacie typowych zjawisk fizycznych. Głównym źródłem przemian energetycznych w plazmie są przyśpieszone polem elektrycznym elektrony. Jony ze względu na duże masy w porównaniu z elektronami mają mniejsze znaczenie w procesach wymiany energii.

Przyśpieszone w polu elektrycznym elektrony, zwiększając swoją energię, oddziałują z innymi cząstkami plazmy (atomami, jonami i innymi elektronami) w procesach oddziaływań sprężystych oraz niesprężystych, prowadzącymi do zmian energii wewnętrznej (potencjalnej) atomów i jonów. Zderzenia sprężyste nie odgrywają większej roli w procesach powstawania promieniowania, z wyjątkiem przypadków, gdy zmiany kierunku i hamowanie szybkich elektronów w polu elektrycznym wywołują emisję widma ciągłego (głównie w obszarze podczerwieni). Główną rolę w procesie generacji promieniowania odgrywają oddziaływania niesprężyste, którym towarzyszy przemiana energii kinetycznej w potencjalną oddziaływujących cząstek, prowadząc w efekcie do wzbudzeń i jonizacji atomów.

Po doprowadzeniu pola elektrycznego do elektrod przestrzeni wyładowczej, przez rurkę wyładowczą zaczyna przepływać prąd elektryczny. Przyczyną

powstawania prądu są cząstki naładowane. W ośrodku gazowym złożonym z obojętnych atomów znajdującym się w zamkniętej, izolowanej od otoczenia przestrzeni, naładowane cząstki mogą wytworzyć się w wyniku oddziaływania zewnętrznych czynników jonizujących, np. promieniowania kosmicznego czy radioaktywnych działań niektórych składników skorupy ziemskiej. W wyniku doprowadzenia do elektrod przestrzeni wyładowczej napięcia  $U$ , między elektrodami wytwarza się w miarę równomierne pole elektryczne. Pod jego wpływem cząstki naładowane zaczynają przemieszczać się w kierunku elektrod. Powstaje prąd elektryczny, którego natężenie zależy od wartości przyłożonego do elektrod pola elektrycznego.

Wzrost natężenia prądu na odcinku OA krzywej jest wynikiem stopniowego zmniejszania się liczby jonów podlegających rekombinacji w przestrzeni wyładowczej i na ściankach jarznika.



Rys. 2 Charakterystyka prądowo-napięciowa jarznika lampy wyładowczej

Zmniejszenie się liczby rekombinacji związane jest ze zwiększeniem się prędkości jonów poruszania się w polu elektrycznym, a co za tym idzie krótszego przebywania ładunków różnoimiennych w przestrzeni wyładowczej. Przy pewnej wartości pola elektrycznego, odpowiadającej napięciu  $U_E$  na elektrodach, rekombinacja osiąga swoje minimum, a prąd osiąga stan nasycenia (odcinek AB krzywej), przy którym wartość natężenia prądu odpowiada ilości swobodnych ładunków tworzących się w rurce wyładow-

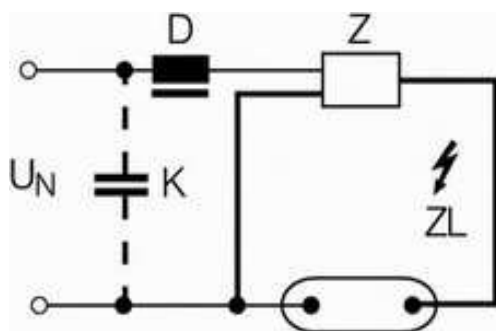
czej pod wpływem czynników zewnętrznych. Stan nasycenia trwa do momentu, przy którym natężenie pola wzrośnie do takiej wartości, przy której prędkość naładowanych cząstek staje się wystarczająca do zjonizowania atomów obojętnych, napotykanym przez nie na swojej drodze. W związku z narastaniem liczby swobodnych ładunków, natężenie prądu wzrasta (odcinek BC krzywej). Proces narastania swobodnych ładunków ma charakter lawinowy, wskutek tego wzrost natężenia prądu jest bardzo gwałtowny. Przy pewnym natężeniu prądu proces tworzenia się ładunków wtórnych staje się tak wydajny, że wyładowanie nie ulega przerwaniu po usunięciu przyczyny wywołującej powstawanie ładunków pierwotnych. Wyładowanie przechodzi w tym momencie z niesamoistnego w samoistne (odcinek BC krzywej). Prąd wyładowania rośnie w tym momencie bardzo szybko i w związku z tym koniecznym staje się ograniczenie jego wartości przez wprowadzenie szeregowo w obwód z lampą elementu stabilizującego (opornik, statecznik). W przeciwnym razie, rosnący lawinowo prąd elektryczny doprowadzi do uszkodzenia jarznika lampy.

### 3. KLASYCZNY UKŁAD STABILIZACJI LAMPY

W tradycyjnym układzie zasilania, lampy wyładowcze pracują z układami stabilizacyjno-zapłonowymi, złożonymi ze statecznika indukcyjnego oraz układu zapłonowego. Klasyczny statecznik (statecznik elektromagnetyczny) jest to cewka indukcyjna o dużej indukcyjności i niskiej rezystancji z rdzeniem magnetycznym, zapobiegająca nagłym zmianom natężenia prądu elektrycznego lub służąca do ograniczenia prądu elektrycznego. Straty mocy w stateczniku wiążą się m.in. z rezystancją uzwojeń, prądami wirowymi i innymi źródłami strat w rdzeniu.

W lampach wyładowczych z elektrodą zapłonową, tak jak w lampach rtęciowych, do zainicjowania wyładowania nie jest potrzebne żadne dodatkowe urządzenia zapłonowe.

W lampach wyładowczych o zapłonie impulsowym, statecznik wraz z zapłonikiem elektronicznym tworzą układ stabilizacyjno-zapłonowy, dostarczający impulsu zapłonowego potrzebnego do zapłonu wyładowania w jarzniku.

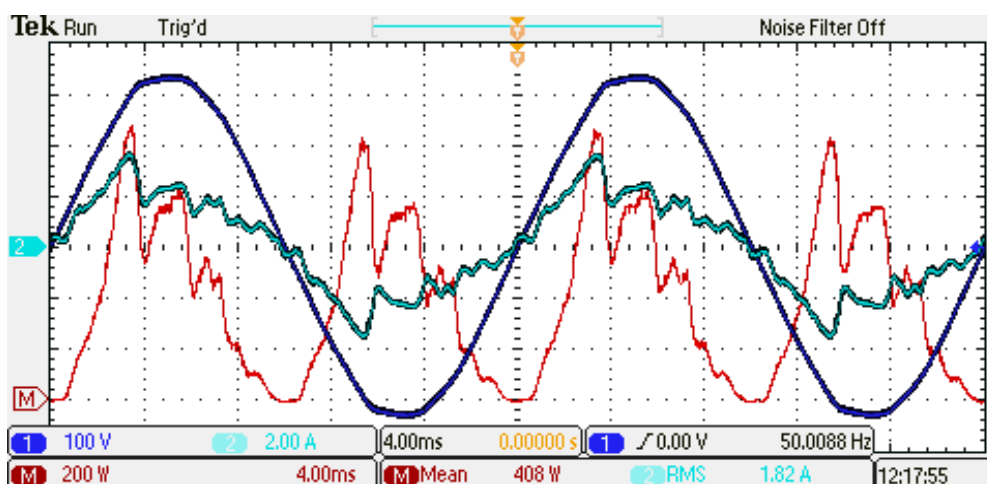


Rys. 3. Układ pracy lampy metalohalogenkowej z zapłonem impulsowym

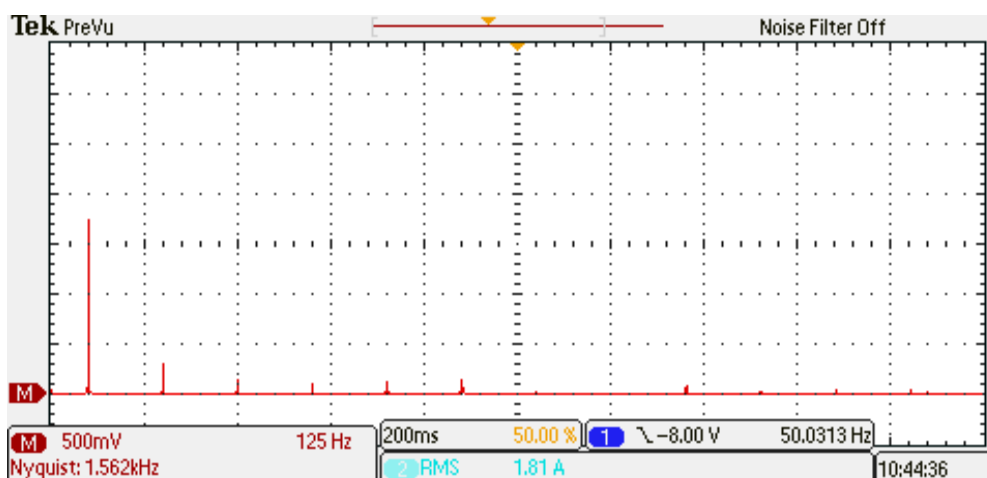
Stateczniki elektromagnetyczne stosowane w lampach wyładowczych zasilają źródło światła bezpośrednio z linii energetycznej. W następstwie tego przepływa przez lampę prąd przemienny o częstotliwości 50 Hz. Powoduje on migotanie światła lampy, co ma bezpośredni wpływ na samopoczucie człowieka. Przebywanie przez dłuższy czas przy takim oświetleniu powoduje szybsze zmęczenie, gorsze samopoczucie, senność i spadek efektywności pracy. Dodatkowo stanowi to problem w przemyśle. Oświetlenie części wirujących z tą samą częstotliwością, co pulsujący strumień lampy, stwarza złudzenie, że część ta jest nieruchoma, co może spowodować poważne wypadki. W przypadku stateczników elektronicznych problem ten został wyeliminowany poprzez zastosowanie częstotliwości pracy lampy powyżej 40 kHz.

## 4. PRZEBIEGI PRĄDU I NAPIĘĆ W KLASYCZNYM STATECZNIKU INDUKCYJNYM

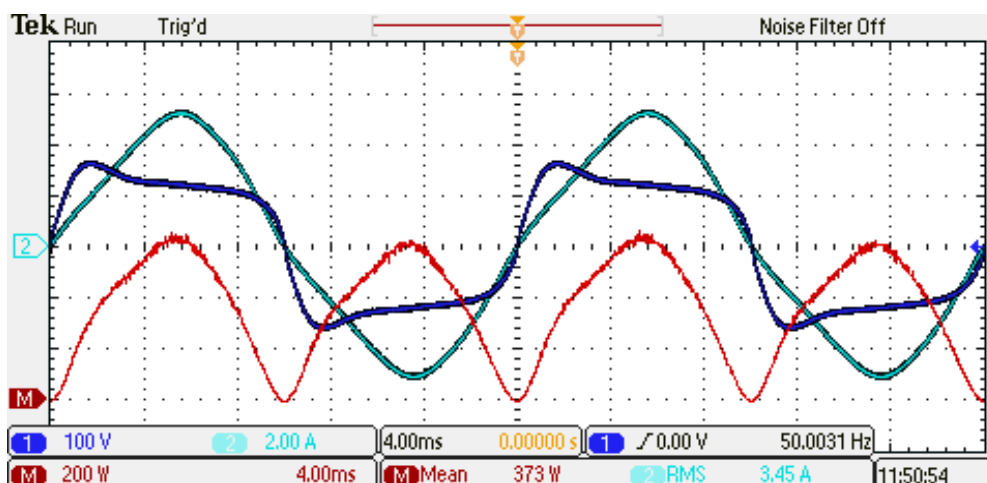
Na rysunku 4 przedstawiono przebiegi napięcia i prądu zasilającego statecznik oraz mocy chwilowej po rozgrzaniu lampy. Średnia wartość mocy chwilowej jest mocą czynną, która wyliczona była bezpośrednio w oscyloskopie i wynosiła  $P_{we} = 408 \text{ W}$ . Na rysunku 5 przedstawiono wyniki analizy Fouriera zawartości harmonicznych w przebiegu prądu zasilania statecznika pobieranego z sieci energetycznej.



Rys. 4. Przebiegi napięcia, prądu oraz mocy pobieranej z sieci energetycznej



Rys. 5 Analiza Fouriera zawartości harmonicznych w prądzie pobieranym z sieci energetycznej

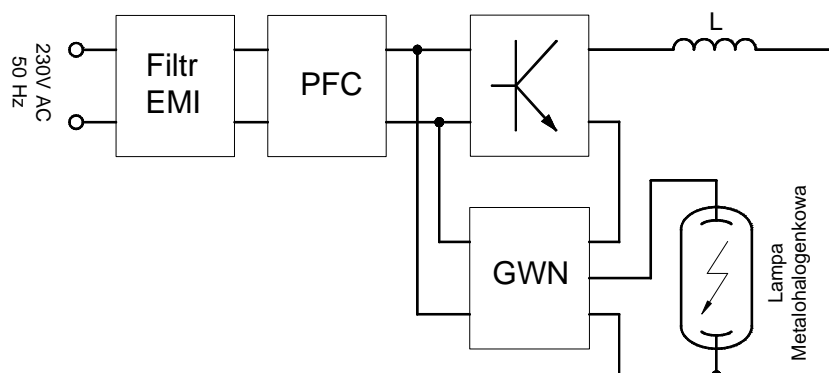


Rys. 6. Przebiegi napięcia, prądu oraz mocy mierzonej bezpośrednio na zaciskach lampy

Rysunek 6 przedstawia przebiegi napięcia, prądu oraz mocy chwilowej dostarczanej bezpośrednio do lampy po jej rozgrzaniu. Moc czynna mierzona na zaciskach lampy wynosiła  $P_{wy} = 370 \text{ W}$ , natomiast natężenie prądu  $I_{RMS} = 3.45 \text{ A}$ . Na podstawie zmierzonych wartości mocy określić można sprawność dławikowego statecznika do lamp wyładowczych, która wynosi  $\eta = (P_{wy}/P_{we}) \cdot 100\% = 90.7\%$ .

## 5. STATECZNIK ELEKTRONICZNY

Statecznik elektroniczny do lampy metalohalogenkowej zasilany jest z sieci energetycznej o napięciu 230 VAC i częstotliwości 50 Hz. Zawiera on układ korekcji współczynnika moc (PFC – *Power Factor Correction*), który powoduje że prąd zasilania jest zbliżony do sinusoidy i jest w fazie z napięciem sieci.

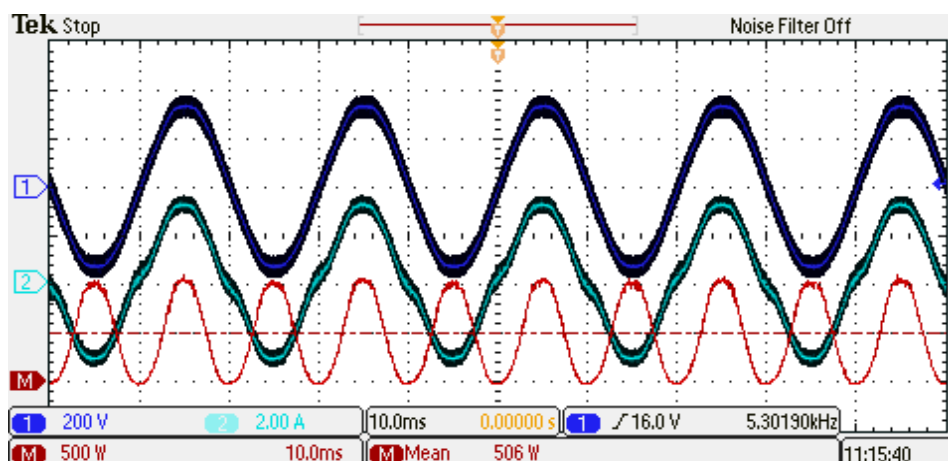


Rys. 7. Schemat blokowy statecznika elektronicznego

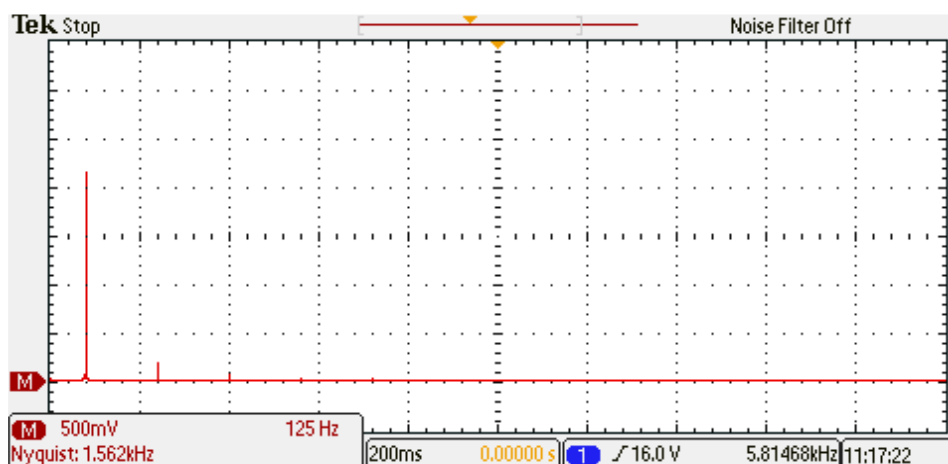
Na rysunku 7 przedstawiono schemat blokowy opracowanego statecznika elektronicznego, którego elementami są:

- filtr EMI – filtr przeciwzakłóceńowy;
- PFC – układ korekcji współczynnika mocy;
- mostek tranzystorowy;
- GWN – układ generowania impulsów wysokiego napięcia;
- L – dławik prądowy;
- lampa metalohalogenkowa.

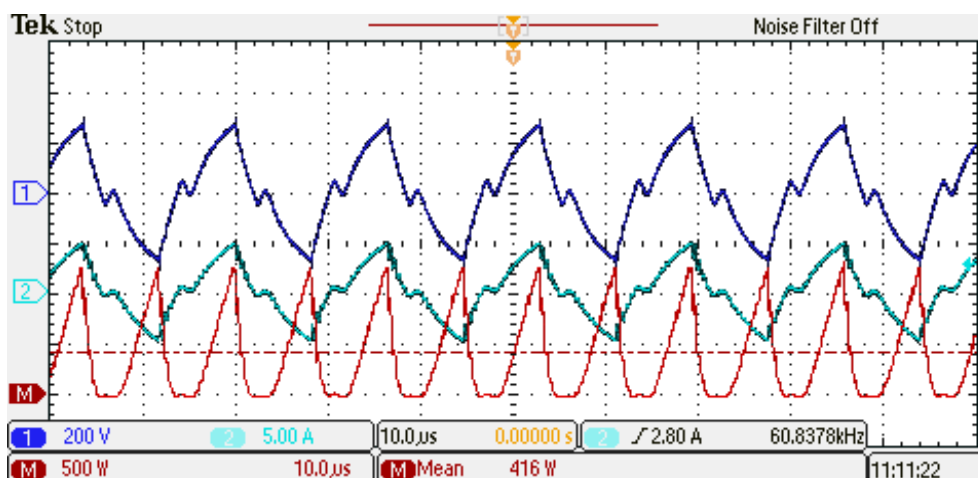
Na rysunku 8 przedstawiono przebiegi napięcia, prądu oraz mocy chwilowej pobieranej z sieci energetycznej. Rozwiązanie takie powoduje, że ilość zniekształceń wprowadzanych do sieci energetycznej jest znacznie mniejsza, niż w przypadku układu dławikowego. Wyniki analizy Fouriera zawartości harmonicznych w przebiegu pobieranego prądu z sieci energetycznej przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 8. Przebiegi napięcia, prądu oraz mocy pobieranej z sieci energetycznej



Rys. 9. Analiza Fouriera zawartości harmonicznych w prądzie pobieranym z sieci energetycznej



Rys. 10. Przebiegi napięcia, prądu oraz mocy mierzonej bezpośrednio na zaciskach lampy

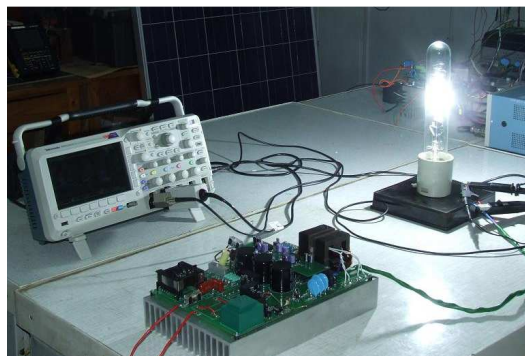
Na podstawie zmierzonych wartości mocy określić można sprawność prototypowego statecznika do lamp metalohalogenkowych, która wynosi  $\eta = (P_{wy}/P_{we}) \cdot 100\% = 82.2\%$ . Otrzymana wartość sprawności może być zwiększona poprzez zastosowanie zmodyfikowanego algorytmu sterowania w układzie zasilania lampy. Wnioski takie otrzymano po opracowaniu i przebadaniu prototypowego układu statecznika elektronicznego.

## 6. PORÓWNANIE OTRZYMANYCH WYNIKÓW POMIAROWYCH

Na rysunkach 11 i 12 przedstawiono widoki stanowiska podczas badania klasycznego statecznika dławikowego oraz statecznika elektronicznego, natomiast w tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów.



Rys. 11. Widok stanowiska do badania statecznika dławikowego (klasycznego)



Rys. 12. Widok stanowiska do badania statecznika elektronicznego



**TABELA 1**

Porównanie otrzymanych wyników pomiarów

| Parametr mierzony   | Statecznik dławikowy | Statecznik elektroniczny |
|---|----------------------|--------------------------|
| Moc czynna dostarczana do statecznika                         | 408 W                | 506 W                    |
| Moc czynna dostarczana do lampy                               | 373 W                | 416 W                    |
| Sprawność statecznika   | 90.7%                | 82.2%                    |
| Zawartość harmonicznych (THD) w prądzie zasilania statecznika | 22.7%                | 9.7%                     |

## 7. WPŁYW ELEKTRONICZNEGO UKŁADU STABILIZACYJNO-ZAPŁONOWEGO NA WARUNKI EKSPLOATACJI WYSOKOPRĘŻNEJ LAMPY WYŁADOWCZEJ

Lampy metalohalogenkowe pracujące w układzie stabilizacyjno-zapłonowym charakteryzują się trzynastoprocentowym wzrostem natężenia napromienienia w stosunku do lamp pracujących w układach klasycznych, stabilną pracą łuku wyładowczego, brakiem pylenia wolframu z elektrod, łatwym i szybkim zapłonem – również dla lampy gorącej. W tabeli 2 przedstawiono porównanie wartości natężenia napromienienia dla kilku wybranych lamp odpowiednio pracujących z układem stabilizacyjno-zapłonowym: indukcyjnym i elektronicznym.

Pomiary parametrów spektrometrycznych (natężenia napromienienia w odległości 0,5 m) wykonano na spektrometrze Monospek 600 metodą porównawczą, stosując jako wzorzec żarówkę halogenową EV-74/1000 W, posiadającą aktualne świadectwo wzorcowania.

**TABELA 2**

Wartości natężenia napromienienia dla kilku lamp pracujących ze statecznikiem indukcyjnym i elektronicznym obliczone na odległości 0,5 m

| Nr lampy | Statecznik indukcyjny                                 |  | Statecznik elektroniczny                              |  |
|----------|---|--|---|--|
|          | $E$ [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] przy prądzie 2,98 A | $E$ [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] przy prądzie 3,5 A | $E$ [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] przy prądzie 2,98 A | $E$ [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] przy prądzie 3,5 A |
| 9313     | 4049,06   | 5632,19  | 4673,31   | 6514,0   |
| 9173     | 2531,07   | 4216,34  | 2903,89   | 4898,09  |
| 9251     | 3821,0  | 5222,27  | 4269,15   | 5847,03  |

## 8. WNIOSKI

---

Każdy z badanych stateczników ma swoje cechy charakterystyczne, które go odróżniają od innych konstrukcji. Statecznik dławikowy charakteryzuje prosty układ połączeń, natomiast przebieg pobieranego prądu charakteryzuje się sporą zawartością zniekształceń. Statecznik elektroniczny wprowadza znacznie mniej zniekształceń ze względu na zastosowanie układu korekcji współczynnika mocy, natomiast ma niższą sprawność. Spowodowane jest to głównie częstotliwością zasilania lampy, która wynosi 60 kHz. Straty mocy, jakie powstają przy takim zasilaniu, szczególnie w elementach indukcyjnych, są znaczne, co wpływa na ogólną sprawność układu, która może być podniesiona przez modyfikację algorytmu sterowania.

## LITERATURA

1. Cholewicki T.: Elektrotechnika teoretyczna, tom 1, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1973.
2. Hemka L.: Zmiany parametrów eksploatacyjnych lamp wyładowczych w zależności od napięcia sieci, Referat wygłoszony na XI Konferencji Oświetleniowej, 2003.
3. Waymouth J.F.: Electric discharge lamps, Energija Moskwa, 1977.
4. Wichmann E.H.: Fizyka kwantowa, PWN, Warszawa, 1975.
5. Kordus A.: Plazma. Właściwości i zastosowania w technice, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1985.
6. Rafałowski M., Hemka L., Piotrowski L., Łukasiak R.: Modyfikacja rozkładów widmowych lamp wyładowczych – metalohalogenkowych pod kątem zwiększonego oddziaływania na procesy fotosyntezy upraw szklarniowych, Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 245, 2010.
7. Hemka L., Piotrowski L., Łukasiak R.: Parametry ilościowe i jakościowe symulatora D65 zbudowanego na bazie wysokoprężnej lampy wyładowczej – metalohalogenkowej, Przegląd Elektrotechniczny Nr 8, 2008.

*Rękopis dostarczono dnia 08.12.2011 r.*

### POWER QUALITY IN POWER SYSTEMS, METAL HALIDE LAMPS

Lucyna HEMKA, Krzysztof TOMCZUK

**ABSTRACT** *The results of electrical measurements classical ballast for discharge lamps and electronic ballast developed. Analysis of the subject taken from the mains power, the power supplied to the lamps, the harmonic content of current drawn from the grid and the efficiency of ballasts.*

**Keywords:** *metal halide lamp, electronic ballast, harmonic curves*