

Łukasz PUTZ

## GENEROWANIE WYŻSZYCH HARMONICZNYCH PRZEZ PÓŁPRZEWODNIKOWE ŹRÓDŁA ŚWIATŁA (LED) STOSOWANE W GOSPODARSTWACH DOMOWYCH

**STRESZCZENIE** *W artykule zaprezentowano zastosowania diod elektroluminescencyjnych (LED). Przedstawiono budowę oraz zasadę działania takich diod wraz z charakterystyką napięciowo-prądową. Artykuł prezentuje także pozytywne i negatywne aspekty pracy diod LED z naciskiem na niekorzystne generowanie wyższych harmonicznych. Część główną publikacji stanowi zaprezentowanie wstępnych badań na elektroluminescencyjnych źródłach światła w zakresie generacji wyższych harmonicznych. Badania dotyczą żarówki LED-GU1018-WHT firmy APOLLO lighting. Ze względu na stosunkowo niską cenę jest to jedno z najpowszechniej stosowanych diodowych źródeł światła w przeciętnych gospodarstwach domowych. Badania przeprowadzono przy użyciu analizatora jakości energii FLUKE 434. Na podstawie wyników pomiarów sporządzone zostały wykresy zawartości harmonicznych napięcia i prądu w przewodach fazowym oraz neutralnym. Następnie dokonano szerokiej analizy uzyskanych charakterystyk.*

**Słowa kluczowe:** *żarówka diodowa LED, wyższe harmoniczne, współczynnik zawartości harmonicznych napięcia  $THD_U$  i prądu  $THD_I$*

---

**mgr inż. Łukasz PUTZ**  
e-mail: [Lukasz.Putz@put.poznan.pl](mailto:Lukasz.Putz@put.poznan.pl)

Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej  
Politechnika Poznańska

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 247, 2010 r.

## 1. WSTĘP

---

Diody elektroluminescencyjne (LED – z ang. *Light Emitting Diode*) to nowoczesne źródła światła, które wprowadzane są na szeroką skalę w przemyśle oświetleniowym. Zastępują one tradycyjne żarówki, halogeny i świetlówki w oświetleniu domowym (rys. 1). Stosowane są do zewnętrznej iluminacji budynków.



**Rys. 1. Żarówka diodowa LED 230 V 50 Hz 1 W stosowana w gospodarstwach domowych**

Pojazdy samochodowe wyposażane są także w coraz większe ilości diod świecących, począwszy od oświetlania wnętrza pojazdu, aż do zewnętrznych świateł drogowych. Obecnie elektroluminescencyjne źródła światła znajdują zastosowanie w oświetleniu ulicznym, coraz skuteczniej wypierając niski- i wysokoprężne lampy wyładowcze (rys. 2).



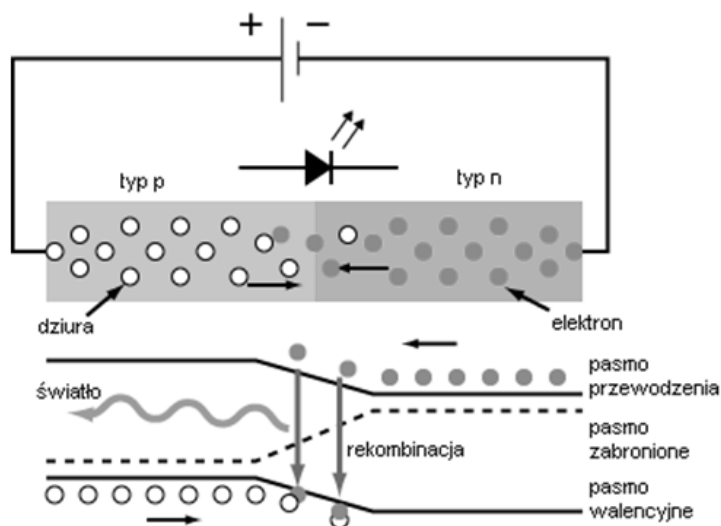
**Rys. 2. Najnowsze zastosowania diod LED – oprawy oświetlenia ulicznego**

## 2. DIODY LED – BUDOWA I DZIAŁANIE

---

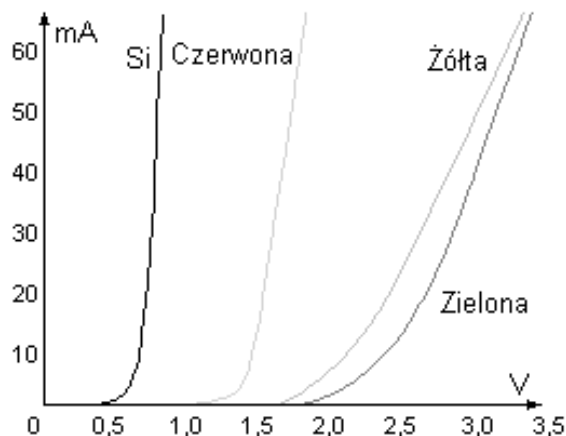
Diody elektroluminescencyjne wykonane są w postaci złącza p-n składającego się z dwóch typów półprzewodnika: z nadmiarem elektronów (*N-egative*) oraz z nadmiarem dziur (*P-ositive*). W momencie przepływu prądu przez złącze elektrony rekombinują, przechodząc z wyższego stanu energetycznego do

stanu podstawowego. Podczas przejścia do niższego stanu energetycznego nadmiar energii zostaje zamieniony na kwanty promieniowania elektromagnetycznego, które dalej obserwowane jest jako światło o określonej barwie – – zależnie od rodzaju zastosowanego półprzewodnika. Budowę i działanie diod elektroluminescencyjnych przedstawiono na rysunku 3 [5, 7].



Rys. 3. Budowa i działanie diod elektroluminescencyjnych [7]

Diody o barwach zimnych (biała, niebieska, zielona) uzyskuje się przez odpowiednie domieszkowanie czterech składników: glinu, galu, indu i azotu. Barwy ciepłe (czerwona, pomarańczowa, żółta) można uzyskać podobnie jak zimne, stosując zamiast azotu fosfor. Kolor diody ma wpływ na kształt cha-



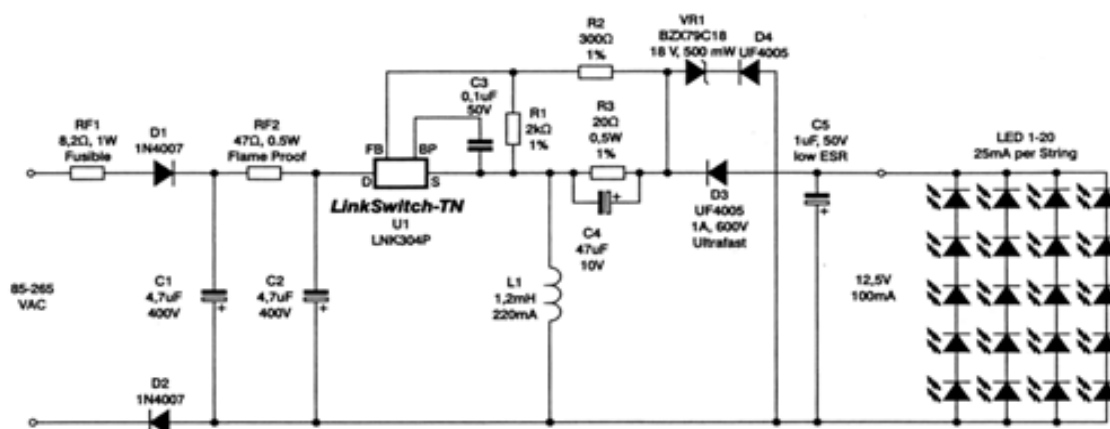
Rys. 4. Charakterystyki napięciowo-prądowe diod LED [6]

rakterystyki napięciowo-prądowej w kierunku przewodzenia, który zbliżony jest do krzemowej diody prostowniczej. Diody zaczynają przewodzić prąd przy różnych wartościach napięcia przewodzenia (rys. 4) [5, 6]:

- 0,5 - 0,7 V – dioda prostownicza krzemowa,
- 1,3 - 1,5 V – dioda czerwona,
- 1,8 - 2,0 V – dioda żółta,
- 2,0 - 2,2 V – dioda zielona.

### 3. UKŁADY ZASILANIA I STABILIZACJI DIOD LED

Poprawna praca lamp diodowych wymaga zastosowania odpowiedniego zasilacza. Obecnie zasilacze takie opiera się na specjalizowanych układach scalonych. Przykład układu sterująco-zasilającego opartego na układzie scalonym LNK304P firmy Power Integrations przedstawiono na rysunku 5. Tego typu sterowniki znacznie poprawiają parametry pracy lamp diodowych, poprawiając ich sprawność energetyczną oraz współczynnik mocy, uodparniając jednocześnie od zakłóceń elektromagnetycznych [1].



Rys. 5. Zasilacz LED na układzie scalonym LNK304P [1]

### 4. POJĘCIE WYŻSZYCH HARMONICZNYCH

Wyższymi harmonicznymi nazywa się sinusoidalne przebiegi napięcia lub prądu, których częstotliwości są wyższe od częstotliwości podstawowej

(50 Hz w polskiej sieci energetycznej). Przebiegi te sumują się, powodując w efekcie odkształcenie od sinusoidy przebiegu wyjściowego.  $K$ -tą harmoniczną napięcia (prądu) określa się jako stosunek krotności częstotliwości danego przebiegu do częstotliwości podstawowego przebiegu sinusoidalnego [4]:

$$k = \frac{f_k}{f_1} \quad (1)$$

gdzie:

- $f_k$  – częstotliwość harmonicznycch,
- $f$  – częstotliwość podstawowa sieci.

Przyłączenie odbiorników nieliniowych do sieci energetycznej powoduje odkształcenia w przebiegu prądu. Z kolei spadek napięcia na impedancji sieci wywołuje odkształcenie napięcia w punkcie przyłączenia odbiornika. Zniekształcone napięcie (prąd) wpływa niekorzystnie na inne odbiorniki przyłączone do tej samej sieci, powodując [4]:

- wzrost strat mocy czynnej w transformatorach i silnikach,
- zakłócenia w pracy elektroenergetycznych układów zabezpieczeniowych,
- błędne wskazania liczników energii elektrycznej,
- przeciążenia baterii kondensatorów,
- trudności w gaszeniu łuku elektrycznego w przypadku zwarć doziemnych,
- dodatkowe straty ciepłne w linii zasilającej.

Przebiegi odkształcone o okresie  $T$  wywołane wyższymi harmonicznymi można przedstawić w postaci rozwinięcia w szereg Fouriera [4]:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} a_h \cos h\omega t + \sum_{h=1}^{\infty} b_h \sin h\omega t \quad (2)$$

lub

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} c_h \sin(h\omega t + \varphi_h) \quad (3)$$

gdzie:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (4)$$

$$a_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos h\omega t dt \quad (5)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin h\omega t dt \quad (6)$$

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (7)$$

$$\varphi_n = \arctg \frac{a_n}{b_n} \quad (8)$$

Do oceny stopnia zniekształcenia przebiegu stosuje się wskaźniki syntetyczne zwane współczynnikiem zniekształceń harmoniczných napięcia  $THD_U$  lub prądu  $THD_I$  (z ang. *Total Harmonic Distortion*) [4]:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_k^2}}{U_1} 100\% \quad (9)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1} 100\% \quad (10)$$

gdzie:

$U_1$  – wartość skuteczna napięcia podstawowej harmoniczných,

$U_k$  – wartość skuteczna napięcia kolejnych harmoniczných,

$I_1$  – wartość skuteczna natężenia prądu podstawowej harmoniczných,

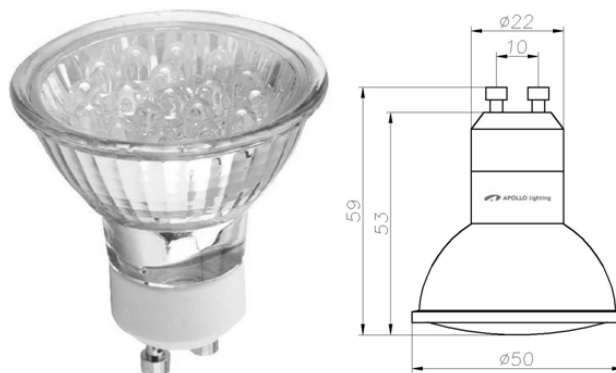
$I_k$  – wartość skuteczna natężenia prądu kolejnych harmoniczných.

## 5. BADANIA

W celu sprawdzenia poziomu generacji wyższych harmoniczných emitowanych przez diodowe źródła światła, stosowane w gospodarstwach domowych, zbadano żarówkę LED firmy APOLLO lighting (rys. 6). Badana żarówka oznaczona została przez producenta symbolem LED-GU1018-WHT. Jest to żarówka na trzonku GU10 zasilana napięciem przemiennym 230 V 50 Hz, o mocy 1,1 W, emitująca światło białe [3].

Badania zostały przeprowadzone w laboratorium elektrotechniki teoretycznej Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej. Jako urządzenie pomiarowe zastosowano dobrej klasy analizator harmoniczných FLUKE 434 Power Quality Analyzer. Miernik pozwala zmierzyć procentową zawartość poszczególnych harmoniczných H (aż do 50-tej), współczynnik zawartości harmoniczných  $THD$  oraz składową stałą DC napięcia lub

prądu. Dokładność, jaką można uzyskać przy pomocy analizatora FLUKE 434, to  $\pm 2,5\%$  w zakresie pomiarowym  $0 \div 100\%$  (dla  $THD$ ,  $DC$ ,  $H1 \dots H50$ ) [2].

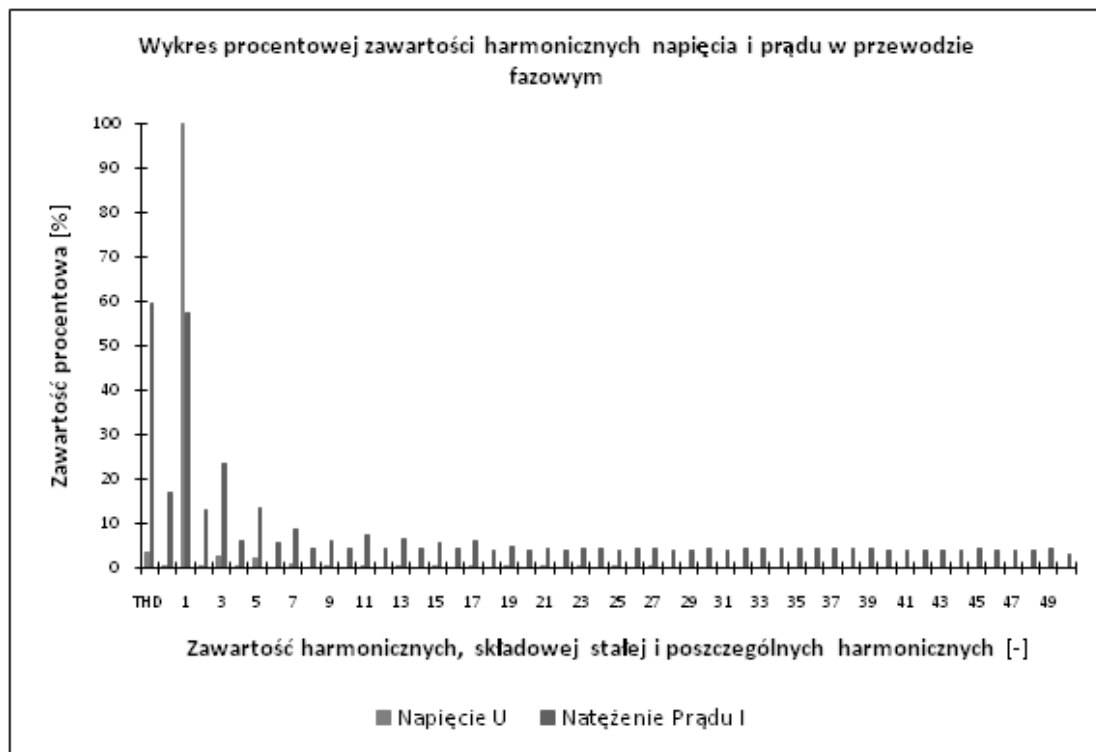


Rys. 6. Badana żarówka LED-owa firmy APOLLO lighting [3]

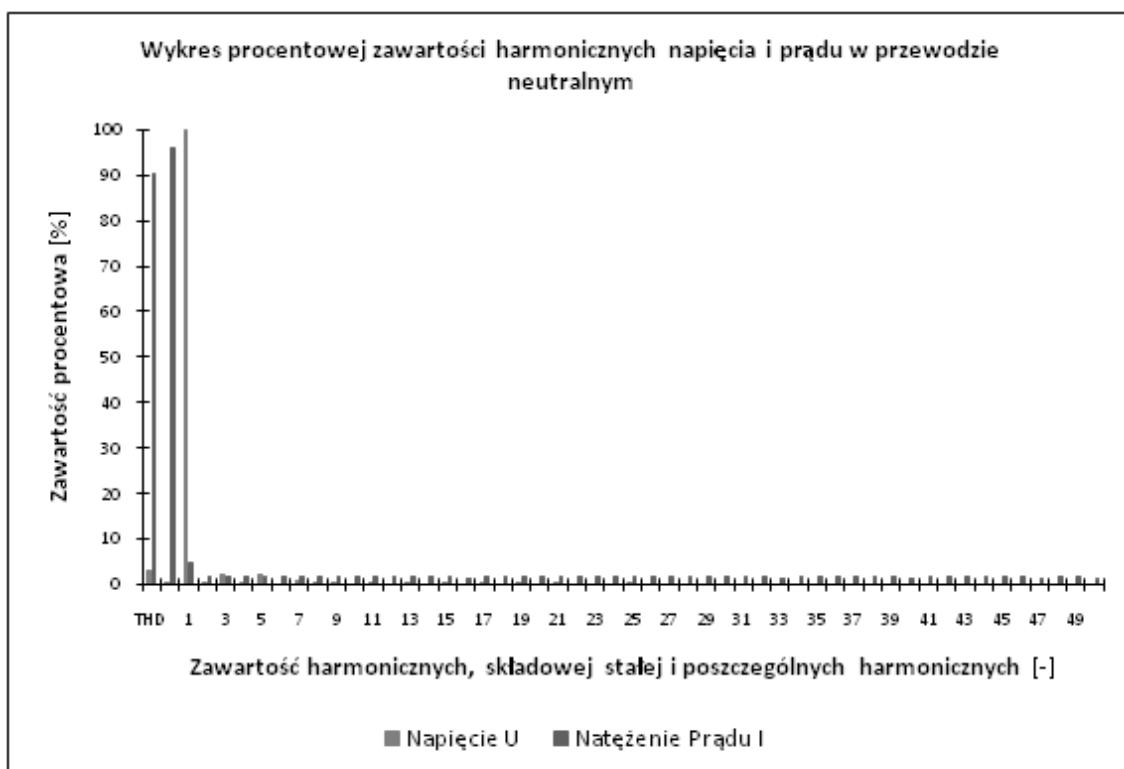
Pomiary przeprowadzone zostały tylko w zakresie zawartości wyższych harmonicznych. Nie mierzono innych parametrów energii elektrycznej. Rejestrowano harmoniczne występujące w przewodzie fazowym oraz osobno w przewodzie neutralnym. Dokonano 10 pomiarów w odstępach około 10-minutowych. Następnie uzyskane wyniki zostały uśrednione w celu zmniejszenia błędów i na ich podstawie sporządzone zostały wykresy procentowej zawartości wyższych harmonicznych prądu i napięcia przedstawione na rysunku 7 (przewód fazowy) oraz na rysunku 8 (przewód neutralny).

Analizując wykresy można zauważyć zdecydowaną dominację harmonicznych nieparzystych zarówno dla napięcia, jak i dla prądu. Współczynnik zawartości harmonicznych napięcia  $THD_U$  jest porównywalny dla przewodu fazowego oraz neutralnego i wynosi odpowiednio 3,7 oraz 3,3%. Można powiedzieć, że jest to wartość zadowalająca – przebieg wartości chwilowej napięcia jest tylko nieznacznie odkształcony od sinusoidy. Zawartość składowej stałej w przebiegu napięcia jest znikoma (0,1%).

Dużo większą uwagę zwracają wykresy zawartości harmonicznych natężenia prądu. Tak samo jak w poprzednim przypadku daje się zauważyć dominacja nieparzystych harmonicznych. Jednak podstawowa harmoniczna przewodu fazowego nie jest już dominująca, gdyż wynosi 57,5% (dla napięcia było to 99,9%). Efektem jest duży współczynnik zawartości harmonicznych prądu  $THD_I = 59,3\%$ . W przewodzie neutralnym doskonale zauważalne staje się zjawisko prostowania przebiegu prądu. Przebieg jest znacznie odkształcony od sinusoidy ( $THD_I = 90,3\%$ ), został wyprostowany – zawartość składowej stałej DC wynosi 95,9%. Można stwierdzić, że układ stabilizujący wewnątrz żarówki bardzo dobrze spełnia swoją rolę. Niekorzystnie wpływa jednak na sieć, generując harmoniczne prądu i zniekształcając jego przebieg.



Rys. 7. Procentowa zawartość harmoniczných w przewodzie fazowym



Rys. 8. Procentowa zawartość harmoniczných w przewodzie neutralnym



## 6. PODSUMOWANIE

---

Stosowanie układów elektronicznych do stabilizowania pracy diod świecących, oprócz wielu swoich zalet, ma jedną zasadniczą wadę – generację wyższych harmonicznych. Układy lamp diodowych emitują do sieci energetycznej harmoniczne wyższego rzędu, stwarzając poważne zagrożenie.

Zjawisko to nie miałooby większego znaczenia, gdyby nie fakt, że oświetlenie elektroluminescencyjne jest coraz powszechniej stosowane i w niedługim czasie może stać się podstawowym sztucznym źródłem światła. Opisane w artykule badania ukazują tylko zarys wiedzy o generacji wyższych harmonicznych przez elektroluminescencyjne źródła światła. Temat jest bardzo szeroki i wymaga przeprowadzenia jeszcze wielu doświadczeń i badań z wykorzystaniem różnego rodzaju lamp LED. Kolejne wyniki zostaną zaprezentowane i omówione w kolejnych publikacjach. Całość zgromadzonej wiedzy na temat generacji harmonicznych przez diodowe źródła światła posłuży autorowi do napisania rozprawy doktorskiej.

## LITERATURA

1. Gondek J., Kordowiak S.: Cyfrowe sterowniki hybrydowe LED. Materiały XIII Konferencji: Zastosowanie Komputerów w Elektrotechnice, Poznań, 2008.
2. Instrukcja obsługi FLUKE 434 Power Quality Analyzer.
3. Katalog produktów firmy APOLLO lighting.
4. Lubierski K., Nawrowski R.: Badanie harmonicznych generowanych przez wyładowcze źródła światła. Materiały Konferencji Polsko-Ukraińskiej Szkoły-Seminarium, Jawor-Solina, 2000.
5. Praca zbiorowa: Technika świetlna '09. Poradnik – Informator. Polski Komitet Oświetleniowy SEP, Warszawa, 2009.
6. [www.elektroda.pl](http://www.elektroda.pl) (25.04.2010).
7. [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org) (25.04.2010).

*Rękopis dostarczono dnia 11.05.2010 r.*

**Opiniował: dr Lucyna Hemka**

## HIGHER HARMONICS GENERATING BY LIGHT EMITTING DIODES BULBS PRACTICAL IN HOUSEHOLDS

Łukasz PUTZ

**ABSTRACT** *In this article is presented appliance of light emitting diodes. Introduced the structure and the rule of working of such diodes with voltage-current characteristics. The article is also presented positive and negative aspects of work of light emitting diodes with pressure on unprofitable generation of higher harmonics. The main part of the publication determines presenting of reconnaissance on electroluminescence light sources in the range of higher harmonics generations. Research refer LED-GU1018-WHT bulb of the APOLLO lighting company. For comparatively the minor price this is one from most spread practical diode light sources in average households. Research was done with use FLUKE 434 Power Quality Analyzer. On the ground of measurement results was prepared graphs of voltage and current harmonics content in phase and neutral lines. At the end was execute wide analysis of obtained characteristics.*



**Mgr inż. Łukasz PUTZ** w czerwcu 2004 r. ukończył Technikum Elektroniczne we Wrześni, następnie w październiku rozpoczął studia magisterskie na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej na kierunku Elektrotechnika. W trakcie studiów zajmował się bardzo szeroko pojętą elektrotechniką samochodową. Efektem prowadzonych badań było napisanie pracy dyplomowej o elektronicznych systemach bezpośredniego wtrysku benzyny. Pracę obronił w czerwcu 2009 r. uzyskując tytuł magistra inżyniera elektrotechniki o specjalności Układy Elektryczne i Informatyczne w Przemśle i Pojazdach. Praca dyplomowa uzyskała wyróżnienie w konkursie Stowarzyszenia Elektryków Polskich na najlepszą pracę magisterską.

Po studiach podjął pracę jako asystent na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej, rozpoczynając jednocześnie w październiku 2009 r. studia doktoranckie: Nowoczesna Inżynieria Elektryczna i Informatyczna. Od tego czasu przedmiotem zainteresowań autora stały się elektroluminescencyjne źródła światła i ich wpływ na sieć elektroenergetyczną. Badania prowadzone nad tym zjawiskiem autor planuje zakończyć przyszłą rozprawą doktorską. Równoległe, jako pracownik Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej, autor bierze czynny udział w badaniach prowadzonych przez Instytut w zakresie Badań Własnych i Działalności Statutowej.