

Łukasz PUTZ\*  
Milena KURZAWA\*

## **STANOWISKO DO BADANIA JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W OŚWIETLENIOWYCH INSTALACJACH ELEKTRYCZNYCH ZE ŹRÓDŁAMI TYPU LED – BUDOWA**

W artykule przedstawiono projekt, budowę i możliwości badawcze stanowiska do pomiaru parametrów jakości energii elektrycznej dla obciążenia będącego odwzorowaniem instalacji oświetleniowej ze źródłami LED. Stanowisko zbudowano w celu badania zakłóceń pochodzących przede wszystkim od oświetlenia elektroluminescencyjnego. Konstrukcja stanowiska umożliwia również prowadzenie badań eksperymentalnych z urządzeniami pozwalającymi na poprawę jakości energii elektrycznej.

W pracy przytoczono pojęcie jakości energii elektrycznej według propozycji Advisory Committee on Electromagnetic Compatibility (ACEC) oraz przedstawiono przyczyny i konsekwencje przekroczenia dopuszczalnych wartości parametrów jakości energii. W publikacji opisano procedurę przygotowania i skonfigurowania stanowiska do wykonywania pomiarów wyższych harmonicznych natężenia prądu płynącego przez badane oświetlenie LED.

**SŁOWA KLUCZOWE:** instalacja oświetleniowa, jakość energii, oświetlenie elektroluminescencyjne, stanowisko badawcze, współczynnik THD, wyższe harmoniczne natężenia prądu, źródło LED

### **1. WPROWADZENIE**

Historia zasilania w energię elektryczną sięga drugiej połowy XIX wieku. W 1866 roku Werner von Siemens wynalazł samowzbudną prądnicę prądu stałego. Od tego momentu możliwa stała się produkcja energii elektrycznej na masową skalę. Jednak nie istniały jeszcze sieci energetyczne pozwalające na transport energii elektrycznej do wielu odbiorców i na duże odległości. Dopiero w 1882 roku w Nowym Jorku uruchomiona została pierwsza w historii instalacja będąca prototypem współczesnych sieci elektroenergetycznych. Pomysłodawcą był Thomas Edison. Zbudował on linię napowietrzną o długości około 50 km, zasilającą 59 gospodarstw na dolnym Manhattanie. Linia praco-

---

\* Politechnika Poznańska.

wała na napięciu stałym o wartości 110 V. Jednak ze względu na duże straty i spadki napięć tego typu sieć nie sprawdziła się.

Znaczącym krokiem w rozwoju sieci elektroenergetycznych było wykorzystanie idei prądu przemiennego. Pierwszą linię napowietrzną prądu przemiennego wykonano we Frankfurcie nad Menem na Światową Wystawę Elektrotechniczną w 1891 roku. Sieć miała 175 km długości, pracowała na napięciu przemiennym 25 kV, a jej sprawność sięgała 75%. Projektantem sieci we Frankfurcie był Polak – Michał Doliwo-Dobrowolski [8].

W XX wieku nastąpił intensywny rozwój sieci energetycznych. Powstało wiele elektrowni wytwarzających energię elektryczną. Pojawiły się przedsiębiorstwa, które wymagały zasilania energią elektryczną do prawidłowej pracy swoich urządzeń. Rozpoczął się proces elektryfikacji miast i wsi. Wszystkie te działania skutkowały budowaniem nowych oraz rozbudowywaniem i unowocześnianiem już istniejących sieci elektroenergetycznych. Nie było to łatwe zadanie. Konieczne było zaprojektowanie sieci w taki sposób, aby każdemu odbiorcy, niezależnie od lokalizacji względem elektrowni, dostarczyć energię elektryczną o jednakowych parametrach, pozwalających na bezawaryjną pracę urządzeń elektrycznych [1].

## 2. JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

### 2.1. Pojęcie jakości energii

Pod koniec XX wieku, kiedy obserwowano szybki rozwój elektrotechniki i elektroniki oraz znacząco zwiększyła się ilość urządzeń wrażliwych na parametry zasilania. Zmieniły się więc wymagania odbiorów energii elektrycznej. Oczekiwane były nieprzerwane dostawy energii elektrycznej o odpowiednich parametrach, pozwalających na prawidłową i bezawaryjną pracę sprzętu elektrycznego. Operatorzy sieci elektroenergetycznej musieli temu sprostać. Trudno było jednak stwierdzić, które parametry energetyczne sieci świadczą o jakości zasilania i mają największy wpływ na podłączone obciążenie. W związku z tym interpretacji pojęcia jakości energii elektrycznej było wiele, dlatego też, aż do dziś nie sprecyzowano jednoznacznej i oficjalnej definicji.

Obecnie za najbardziej trafne określenie jakości energii elektrycznej uważa się, że „jest to zbiór parametrów opisujących właściwości procesu dostarczania energii do użytkownika w normalnych warunkach pracy, określających ciągłość zasilania (długie i krótkie przerwy w zasilaniu) oraz charakteryzujących napięcie zasilające (wartość, częstotliwość, kształt przebiegu czasowego, niesymetrię)”. Przytoczona powyżej definicja została zaproponowana przez członków Komitetu ACEC (*Advisory Committee on Electromagnetic Compatibility*), jednak nadal nie obowiązuje oficjalnie, gdyż większość organizacji na całym świecie nie zgadza się z tą formułą w pełnym brzmieniu [3].

Pomimo braku oficjalnej definicji już w 1994 roku sformułowano parametry, które określają jakość energii elektrycznej. Są to [4]:

- wartość skuteczna napięcia zasilającego,
- częstotliwość sygnału zasilającego,
- gwałtowne zmiany napięcia,
- przepięcia przejściowe,
- przepięcia dorywcze,
- zapady napięcia,
- przerwy w zasilaniu losowe i planowane,
- niesymetria napięcia,
- harmoniczne napięcia,
- interharmoniczne napięcia,
- sygnały napięciowe do przesłania informacji.

## 2.2. Przyczyny i skutki pogorszenia jakości energii

Pogorszenie parametrów sieci elektroenergetycznej może pochodzić od wielu źródeł. Zakłócenia mogą wprowadzać [2, 5]

- a) odbiorniki podłączone do sieci (co zdarza się najczęściej):
  - duża liczba odbiorników nieliniowych (komputery, sprzęt RTV),
  - zasilacze impulsowe, transformatorowe oraz przetwornice napięcia,
  - oświetlenie energooszczędne (LED-y, świetlówki),
  - odbiorniki nieliniowe dużej mocy (spawarki, zgrzewarki),
  - urządzenia nie spełniające wymogów EMC;
- b) urządzenia służące do wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej:
  - przepięcia łączeniowe,
  - przepięcia od wyładowań atmosferycznych,
  - awarie elementów sieci elektroenergetycznej,
  - rozsynchronizowanie generatorów w elektrowniach,
  - gwałtowne zmiany obciążenia sieci elektroenergetycznej;
- c) słaba kondycja instalacji przyłączeniowej w budynkach:
  - instalacja wykonana niezgodnie z przepisami prawa,
  - źle dobrany przekrój przewodów lub nadpalone przewody,
  - używanie wadliwych wyłączników lub bezpieczników,
  - przebicia i upływy prądu wynikłe z nieodpowiedniej izolacji,
  - niesolidnie wykonane złącza, luźne lub przegrzane, itp.

Występowanie wyżej opisanych zjawisk niesie za sobą pewne konsekwencje, które mogą być odczuwalne natychmiast lub być utajone i niewidoczne, a ich niekorzystne rezultaty mogą być zaobserwowane po dłuższym czasie. Do skutków natychmiastowych można zaliczyć na przykład: migotanie światła, uszkodzenia lub nieprawidłowe działanie urządzeń, wibracje mechaniczne i zwiększony hałas podczas pracy, zwiększona temperatura pracy i częstsze

zadziałanie zabezpieczeń termicznych oraz zmniejszenie mocy, sprawności i efektywności maszyn i urządzeń elektrycznych [5].

Natomiast skutki utajone będą się objawiać jako postępująca degradacja urządzeń i przewodów zasilających oraz ich izolacji z wyniku długotrwałego przegrzania tych elementów czy zwiększenie poboru mocy biernej, co w rozumieniu długofalowym powoduje straty ekonomiczne związane z częstszą wymianą instalacji oraz maszyn i urządzeń elektrycznych. Ponośzone są także dodatkowe koszty w opłatach za energię. Utrzymanie wysokiej efektywności pracy związane jest z większym poborem mocy. Mogą się również zdarzyć kary za przekroczenie umownego poboru mocy biernej [2].

### **2.3. Prace nad poprawą jakości energii**

W dzisiejszych czasach działania na rzecz jakości energii zmierzają do pewnego paradoksu – wprowadza się do użytku odbiorniki, które wymagają zasilania energią wysokiej jakości, a jednocześnie te same odbiorniki niekorzystnie wpływają na jakość energii elektrycznej. Przeprowadzono nawet pewne symulacje według, których szacuje się, że tylko w samej Unii Europejskiej wydaje się ponad 50 mld Euro rocznie w związku ze złą jakością energii elektrycznej. Jak wskazują autorzy raportu, problemy nie dotyczą tylko przemysłu. Duży wpływ na jakość energii elektrycznej mają nawet takie branże jak banki, szpitale, hotele czy telekomunikacja [6].

W każdej z wyżej wymienionych działalności można znaleźć taką samą grupę urządzeń elektrycznych pogarszających jakość energii elektrycznej. Są to instalacje oświetleniowe, w których coraz częściej stosuje się nowoczesne lampy zawierające półprzewodnikowe źródła światła LED. Ich sterowniki bardzo silnie zniekształcają sygnał zasilający, wprowadzając wyższe harmoniczne prądu i napięcia.

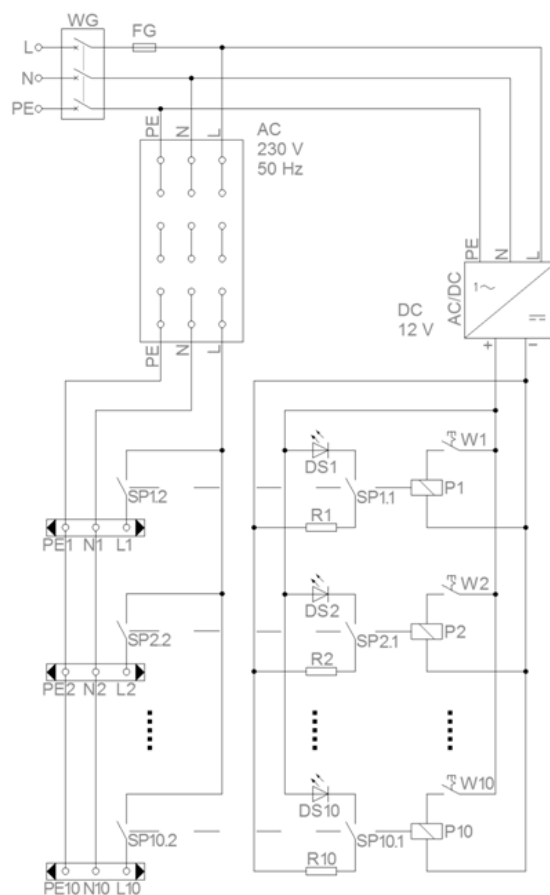
W związku z tak dużą liczbą odbiorników zakłócających działanie sieci energetycznej, w wielu ośrodkach naukowo-badawczych na całym Świecie nieustannie trwają prace nad możliwościami poprawy jakości energii. Badania prowadzone są niejako w dwóch kierunkach: z jednej strony próbuje się uodpornić sieć elektroenergetyczną na zakłócenia, z drugiej natomiast szuka się rozwiązań pozwalających skompensować zaburzenia wywoływane przez odbiorców jeszcze na poziomie wewnętrznej instalacji zasilającej [7].

## **3. PROJEKT I BUDOWA STANOWISKA DO BADANIA STANÓW PRACY ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA LED**

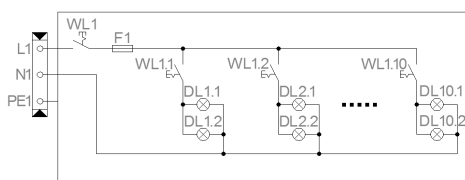
Schemat obwodu elektrycznego stanowiska badawczego pozwalającego na pomiar zakłóceń pochodzących od instalacji oświetleniowej opartej na źródłach LED został zaprojektowany w środowisku AutoCad Electrical (rys. 1a). Na schemacie można wyodrębnić kilka bloków:

- zasilanie z wyłącznikiem głównym,
- tablica zaciskowa do podłączania aparatury pomiarowej,
- sterowanie obwodami instalacji oświetleniowej z przekaźnikami,
- kontrola załączenia poszczególnych obwodów instalacji,
- przyłącza kolejnych obwodów oświetlenia pomieszczeń.

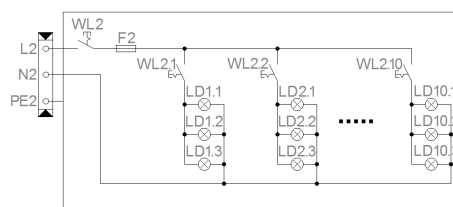
a)



b)

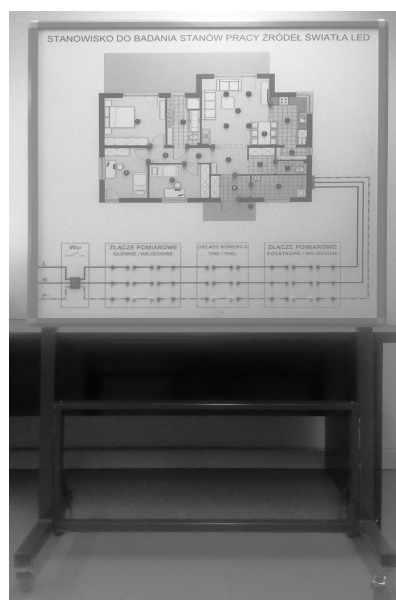


c)

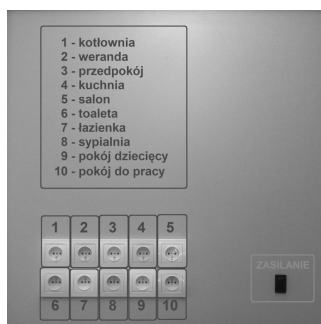


Rys. 1. Schemat obwodu elektrycznego: a) stanowisko badawcze, b), c) panele LED

Na podstawie projektu obwodu elektrycznego wykonano zabudowę stanowiska, która została przymocowana do mobilnego stelaża. Na płycie frontowej (rys. 2) umieszczono przykładowy rzut budynku, na którym rozmieszczono elementy instalacji oświetleniowej tj. włączniki oraz symboliczne źródła światła. W dolnej części frontu wyprowadzono kilkanaście zacisków umożliwiających podłączenie aparatury pomiarowej oraz urządzeń do poprawy jakości energii elektrycznej. Na tylnej części stanowiska badawczego (rys. 3) umieszczono gniazdo do podłączenia zasilania oraz wyprowadzenia do podłączenia obciążenia (źródła światła LED) będącego odpowiednikiem oświetlenia w poszczególnych pomieszczeniach budynku.



Rys. 2. Widok stanowiska badawczego wraz ze stelażem od strony przedniej



Rys. 3. Widok tylnej płyty stanowiska badawczego wraz z opisem złączy

Oprócz części głównej stanowiska badawczego wykonano również pięć paneli z lampami LED. Dwa z nich dają możliwość przebadania 30 źródeł światła na trzonku GU10, dwa kolejne posiadają miejsce na 20 lamp z trzonkiem E27, natomiast w ostatni panel można wkręcić 20 LED-ów na gwincie E14. Każdy panel posiada 10 włączników pozwalających skokowo regulować moc zamontowanego oświetlenia co 10%. Jeden wyłącznik przypada na każde dwa (gwint E14 i E27) lub trzy (trzonek GU10) źródła światła. Schematy obwodów elektrycznych paneli przedstawiono na rys. 1b oraz rys. 1c.

Stanowisko pomiarowe pozwala na jednoczesne badania nawet dziesięciu obwodów oświetleniowych. Dzięki panelom możliwe jest dobieranie dowolnej liczby (mocy) źródeł światła, przez co można tworzyć przeróżne konfiguracje połączeń. Dodatkowo przez zastosowanie gniazd elektrycznych typu E jako przyłączy obciążenia, do stanowiska można także podłączyć wszelkie oświetlenie LED działające pod napięciem przemiennym 230 V (50 Hz), które posiada stosowane w Polsce wtyczki typu CEE 7/7 (ew. 7/16 lub 7/17). Takie rozwiązanie daje jeszcze większe możliwości badawcze.

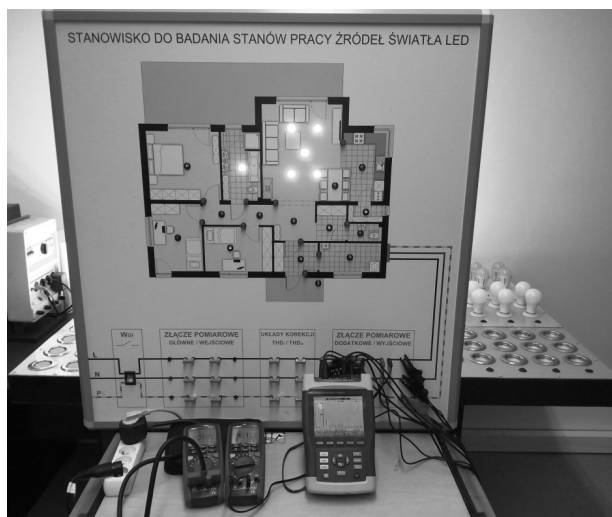
#### **4. ZASADA DZIAŁANIA STANOWISKA DO BADANIA STANÓW PRACY ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA LED**

Przed przystąpieniem do wykonywania pomiarów należy odpowiednio skonfigurować stanowisko badawcze. Na początek konieczne jest zasilenie stanowiska. W dalszej kolejności należy podłączyć obciążenie składające się z badanych lamp LED. Jeśli są to źródła z trzonkami E14, E27 lub GU10 należy je zamontować w specjalnie skonstruowanych do tego celu panelach. Po wybraniu obwodu do symulacji (np. instalacja oświetleniowa w salonie) wpina się panel w odpowiednie złącze (nr „5”). Następnie należy podłączyć aparaturę pomiarową we właściwe zaciski przyłączeniowe znajdujące się w dolnej części frontu stanowiska. Nie wykorzystane zaciski pomiarowe trzeba połączyć tak, aby istniała zamknięta droga dla przepływu prądu do badanych źródeł światła i z powrotem. Po wykonaniu prac przygotowawczych można włączyć zasilanie za pomocą włącznika głównego.

Ostatnim krokiem przed wykonaniem pomiarów jest włączenie wybranego obwodu instalacji oświetleniowej za pomocą odpowiedniego przycisku znajdującego się na wizualizacji budynku mieszkalnego umieszczonej na płycie frontowej stanowiska badawczego (np. włącznik przy wejściu do salonu). Powoduje to przepływ prądu przez cewkę przekaźnika i w konsekwencji zamknięcie dwóch styków przekaźnika. Pierwszy zamyka obwód sygnalizujący włączenie oświetlenia w danym pomieszczeniu. W wybranym pomieszczeniu na schemacie włączają się małe diody świecące. Jednocześnie drugi styk przekaźnika zamyka główny obwód powodując zasilenie panelu z badanymi lampami LED.

Możliwe jest już rozpoczęcie pomiarów parametrów jakości energii elektrycznej instalacji oświetleniowej ze źródłami LED.

Za pomocą przełączników umieszczonych na panelach można dokonać regulacji obciążenia (liczby lamp). Jednocześnie do stanowiska można podłączyć kolejne obwody ze źródłami LED (lub zupełnie innym oświetleniem) i badać korelację między nimi zachodzącą oraz parametry jakości energii sumaryczne dla kilku typów źródeł. Na rys. 4 przedstawiono przykładowe pomiary sumaryczne mocy, natężenia prądu oraz wyższych harmonicznych prądu dla dwóch obwodów z lampami LED – salonu oraz łazienki. Źródła światła zostały zamontowane w panelach umieszczonych za stanowiskiem badawczym (na rys. 4 widoczne są tylko fragmenty paneli).



Rys. 4. Widok stanowiska w gotowości do wykonywania pomiarów

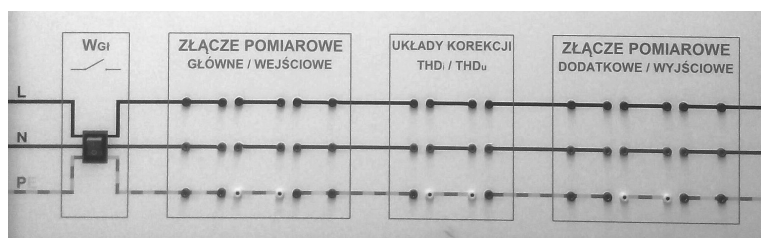
## 5. MOŻLIWOŚCI POMIAROWE STANOWISKA DO BADANIA STANÓW PRACY ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA LED

Stanowisko badawcze stanów pracy źródeł światła LED zostało skonstruowane, w taki sposób, aby móc zmierzyć wszelkie parametry elektryczne włącznie z parametrami jakości energii elektrycznej. Ograniczenia wynikają jedynie z dostępności odpowiedniej aparatury pomiarowej. Posiadając dwa multimetry cyfrowe, np. UNI-T UT71E oraz analizator jakości energii, np. FLUKE 434/PWR, można jednocześnie zmierzyć do 13 parametrów: napięcie skuteczne, prąd skuteczny, częstotliwość, moc czynna, moc bierna, moc pozorna, współczynnik mocy, współczynnik zawartości harmonicznych napięcia oraz prądu, wyższe harmoniczne napięcia oraz prądu, interharmoniczne napięcia



i prądu. Dodatkowo podłączenie mierników do komputera pozwala na rejestrowanie online oraz archiwizację wielu pomiarów w krótkim czasie. Dzięki temu możliwe jest bezproblemowe przeprowadzenie kilku lub kilkunastu serii pomiarowych dla potwierdzenia wyników oraz wyeliminowania błędów pomiarów.

Odpowiednio rozmieszczone złącza pomiarowe przy stanowisku badawczym umożliwiają wprowadzenie do obwodu instalacji oświetleniowej dodatkowych urządzeń do poprawy parametrów jakości energii. Rozwiązanie to daje kolejne możliwości badań np. nad układami korekcji wyższych harmonicznych prądu. Powielenie złączy pomiarowych daje możliwość wykonania pomiarów jednocześnie przed i za układem korekcji (rys. 5).



Rys. 5. Rozmieszczenie złączy pomiarowych w dolnej części frontu stanowiska badawczego

## 6. PODSUMOWANIE

Obecny postęp technologiczny, zwłaszcza w zakresie urządzeń elektrycznych, zdecydowanie negatywnie wpływa na utrzymanie wysokiego poziomu jakości energii w sieciach elektroenergetycznych. W wielu ośrodkach naukowych prowadzone są badania w tym zakresie. Świadczy o tym chociażby duża liczba publikowanych opracowań, ekspertyz czy raportów traktujących o jakości energii [3, 4, 6, 7]. Można zaobserwować, że temat jest wciąż aktualny. Dalej należy więc szukać rozwiązań poprawiających funkcjonowanie sieci elektroenergetycznych. Badania przeprowadzone na skonstruowanym stanowisku w pewnym stopniu się do tego przyczynią.

## LITERATURA

- [1] Andrzejewski S., Sapiński T.: „Rozwój energetyki w PRL”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1970.
- [2] Eberhard A.: „Power Quality”, InTech, Rijeka (Croatia) 2011.
- [3] Hanzelka Z.: „Rozważania o jakości energii elektrycznej. Część I”, Elektroinstalator, nr 9/2001, s. 15-21.
- [4] Hołdyński G., Skibko Z.: „Parametry opisujące jakość energii elektrycznej”, Elektro-Info, nr 12/2014, s. 22-24.

- [5] Kowalski Z.: „Jakość energii elektrycznej”, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2007.
- [6] Manson J., Targosz R.: „European Power Quality Survey Report”, Leonardo Energy, Brussels (Belgium) 2008.
- [7] NE Standardisation Specialist Group, NE EMC & Harmonics: „Power Quality in Power Electricity Supply Network”, Eurelectric, Brussels (Belgium) 2008.
- [8] Weber E., Nebeker F.: „The Evolution of Electrical Engineering: A Personal Perspective”, IEEE Press, New York 1994.

**THE EXPERIMENTAL SETUP TO THE POWER QUALITY RESEARCH  
OF ELECTRICAL LIGHTING INSTALLATIONS  
WITH THE LED TYPE SOURCES – STRUCTURE**

The article describes the design, construction and research capabilities the experimental setup for measure the parameters of power quality of load which is mapping the lighting installation of LED sources. The standing has been build in order to study the disruption comes from the electroluminescent lighting mostly. The construction of standing also allows conducting the experimental research with the equipment which could improve the quality of electricity.

In the paper quoted the concept of the power quality according to suggestion of Advisory Committee on Electromagnetic Compatibility (ACEC). Also has been presented the causes and consequences of exceeding the permissible values of power quality parameters. In the publication has been described the procedure for preparing and setting up the experimental setup for measuring the higher harmonics of current flowing through the tested LED lighting.

*(Received: 22. 02. 2016, revised: 4. 03. 2016)*