

STRESZCZENIE

W pracy przeanalizowano zagadnienia związane z jakością energii elektrycznej w instalacjach oświetleniowych z nowoczesnymi źródłami światła. Rozpoczęto od analizy metodologii obliczania parametrów energii w warunkach odkształconych przebiegów prądów i napięć. Następnie przeprowadzono analizę wyników pomiarów uzyskanych dla wybranych opraw oświetleniowych. Na koniec zaproponowano rozwiązanie umożliwiające poprawę jakości energii elektrycznej poprzez zastosowanie pasywnych filtrów rezonansowych.

W rozdziale 2 opisano wybrane zagadnienia teoretyczne opisujące podstawy jakości energii elektrycznej. Podstawę analizy stanowią postanowienia standardu IEEE 1459 [5, 50], oraz wymagania dotyczące THD_I i PF dla urządzeń oświetleniowych [52, 53, 62, 63, 64]. W rozdziale tym podano także wprowadzone przez normę [5] definicje wielkości elektrycznych takich jak moce chwilowe oraz moce czynne, nieaktywne i pozorne, współczynniki mocy (PF) i zniekształcenia harmonicznymi (THD). Podano również sposoby wyznaczania widma harmonicznymi oraz całki dyskretnych przebiegów prądów i napięć, będących wynikami pomiarów, tak aby uzyskane wartości spełniały wymagania stawiane przez normę. Rozpatrywany standard IEEE 1459 nie zawiera definicji mocy biernych dla odkształconych przebiegów prądów i napięć. Wynika to z faktu, że do tej pory nie powstała spójna i powszechnie akceptowana teoria mocy biernej, istniejące teorie mają istotne wady ograniczające ich stosowanie, a wyniki obliczane na ich podstawie mogą się znacznie od siebie różnić. Z tego powodu, w podrozdziałach 2.6-2.8 pracy zaprezentowano trzy różne, wybrane teorie mocy (Budeanu (rozdział 2.6) [7], Shepherd, Zkikhaniego i Sharona (rozdział 2.7) [48] i Czarnieckiego (rozdział 2.8) [9, 10, 15]). Nie przedstawiono jednej z najstarszych teorii, opracowanej przez Fryzego [13] która w swojej podstawowej postaci nie przetrwała próby czasu, lecz wprowadzona w tej teorii idea prądu czynnego stała się podstawą teorii późniejszych.

Rozdział 3 zawiera analizę wyników pomiarowych, uzyskanych dla pięciu wybranych opraw oświetleniowych oraz dwóch instalacji mieszanych (rozdziały od 3.3 do 3.9) dla oprawy LED nr 1 o mocy 40W; zespołu (modułu) LED nr 2 z 5 źródłami o mocy sumarycznej 15W; oprawy LED nr 3 o mocy 75W; oprawy ze źródłem metalohalogenowym nr 4 o mocy 85W, oprawy ze źródłem indukcyjnym nr 5 o mocy 40W, instalacji mieszanej ze źródłami wyładowczymi i LED nr 6 o mocy 700W. Pomiary wykonano na stanowisku laboratoryjnym.

Pomiary miały na celu ocenę i analizę porównawczą harmonicznym emitowanym przez różne oprawy oświetleniowe oraz instalacje mieszane z przykładowymi źródłami światła oraz weryfikację obliczeń wykonanych na podstawie przedstawionej metodologii w rozdziale 2. Uzupełnienie badań laboratoryjnych stanowi opisana (rozdział 3.9) analiza wyników pomiarów wykonanych na rzeczywistej instalacji, zawierającej wiele opraw oświetleniowych. Prezentowane wyniki pomiarów są tylko wybranym wycinkiem prac prowadzonych w okresie kilku lat. Wyniki pomiarów i analiz były prezentowane na konferencjach i czasopismach [1, 2, 3, 4, 6, 11, 18-33, 39, 40, 41, 46].

W rozdziale 4 opisano opracowany na potrzeby tej pracy program w środowisku Scilab wspomagający projektowanie filtrów oraz symulujący działanie zaprojektowanego filtra w określonych warunkach pracy. Program ten opisano (rozdziale 4.1 do 4.4). Jednym z założeń programu a jednocześnie jego najważniejszą zaletą jest możliwość akwizycji rzeczywistych uzyskanych w czasie pomiarów danych pomiarowych sygnałów napięciowych i prądowych analizowanych instalacji. Dobór parametrów filtrów jest każdorazowo realizowany na podstawie tych danych a nie modelowania sygnałów wejściowych. Wyniki przeprowadzonej w opracowanym programie symulacji działania filtra wykazały, że jego zastosowanie ograniczyłoby zawartość harmonicznym w prądzie do poziomu dopuszczanego przez odpowiednią normę [52, 53]. Wszystkie dane programu są również zapisywane w pliku binarnym .sod, co umożliwia ich ewentualną, późniejszą obróbkę w środowisku Scilab. Generowany jest również plik tekstowy raportu z obliczeń, zawierający pełny opis struktury zaprojektowanego filtra wraz z wynikami obliczeń

Rozdział 5 przedstawia wyniki pomiarów na obiektach rzeczywistych wyposażonych w filtry pasywne. Wyniki te dowodzą poprawności obliczeń wykonywanych przez utworzony program. Uzyskane wyniki pomiarów w stopniu bardzo dobrym pokrywają się z wynikami przeprowadzonych w programie symulacji co dowodzi poprawności przeprowadzonych obliczeń oraz przyjętych założeń. W podrozdziale 5.8 opisano wykonaną syntezę wyników pomiarów dla zmiennych parametrów sygnału zasilania. Z przedstawionych wyników możemy zauważyć że zmiany napięcia zasilania nie mają wielkiego wpływu na zwiększanie THD_I – uwarunkowane jest to budową przetwornicy napięcia (praca w zakresach 125 – 250V). Z kolei zmieniając wartości częstotliwości napięcia zasilającego (rozdział 5.9 do 5.13) zauważamy że nawet mała zmiana częstotliwości ma krytyczny wpływ na działanie filtrów, następuje w „n” gałęziach niedopasowanie rezonansowe poszczególnego filtra. W podrozdziale 5.14 przedstawiono także pomiary współczynników migotania światła P_{ST} oraz P_{LT} . Obiektem badań była tu instalacja mieszana oprawy wyładowcze i typu LED nr 6. Po analizie tych wyników

stwierdzono mały wpływ działania układów filtrów na wartości współczynników migotania światła (zastosowanie elektronicznych przetwornic - zasilaczy).

Rozdział 6 przedstawia wpływ pracy układów filtrów pasywnych na parametry instalacji oświetleniowej. W sposób tabelaryczny ujęto tu uzyskane wyniki redukcji wartości współczynników THD_1 i duże zwiększenie wartości mocy biernej badanych obiektów.

Rozdział 7 opisano stanowisko pomiarowe i wyniki badań w zależności od zmian strumienia świetlnego emitera LED oraz wartości amplitud i częstotliwości zasilania.

Rozdziały 8 i 9 stanowią podsumowanie pracy.

M. Nowak

ABSTRACT

ANALYSIS OF OPERATING PARAMETERS OF LIGHTING LUMINAIRES IN MIXED SYSTEMS

This thesis analyzes issues related to the quality of electricity in lighting installations with modern light sources. It started with the analysis of the methodology for calculating energy parameters under conditions of distorted currents and voltages. Then an analysis of the results of measurements obtained for selected luminaires was carried out. Finally, a solution was proposed to improve the quality of electricity through the use of passive resonance filters. Chapter 2 describes selected theoretical issues describing the basics of the quality of electricity. The analysis is based on the IEEE 1459 [5, 50] standard, and THDI and PF requirements for lighting devices [52, 53, 62, 63, 64]. This chapter also gives the definitions of electrical quantities introduced by the standard [5], such as instantaneous and active power, inactive and apparent power, power factor (PF) and total harmonic distortion (THD). Also provided are methods for determining the harmonic spectrum and integrals of discrete current and voltage waveforms that are the results of measurements so that the obtained values meet the requirements set by the standard. The IEEE 1459 standard does not include the definition of reactive power for distorted currents and voltages. This is due to the fact that until now coherent and widely accepted reactive power theory has not been established, existing theories have significant drawbacks limiting their use, and the results calculated on their basis may differ significantly. For this reason, in subsections 2.6-2.8 of the thesis, three different power theories were presented (Budeanu (chapter 2.6) [7], Shepherd, Zkikhani and Sharon (chapter 2.7) [48] and Czarnecki (chapter 2.8) [9, 10, 15]). One of the oldest theories elaborated by Frieze [13] was not presented, which in its basic form did not survive the test of time, but the idea of the active current introduced in this theory became the basis of later theories. Chapter 3 contains an analysis of the measurement results obtained for five selected luminaires and two mixed installations (chapters from 3.3 to 3.9) for LED luminaire No. 1 with a capacity of 40W; LED unit (module) No. 2 with 5 sources with a total power of 15W; LED luminaires No. 3 with 75W power; fixtures with a metal-halogen source No. 4 with a capacity of 85W, fixtures with an inductive source No. 5 with a capacity of 40W, mixed installation with discharge sources and LED No. 6 with a power of 700W. The measurements were taken on a laboratory bench. Measurements were aimed at evaluation and comparative analysis of harmonics emitted by various lighting fittings and mixed installations with sample light sources and verification of calculations made on the basis of the presented methodology in Chapter 2. Supplementing laboratory tests is described (chapter 3.9) analysis of measurement results made on the actual

installation, containing many lighting fittings. The presented measurement results are only a selected part of the works carried out over a period of several years. The results of measurements and analyzes were presented at conferences and magazines [1, 2, 3, 4, 6, 11, 18-33, 39, 40, 41, 46].

Chapter 4 describes a program developed for this work in the Scilab environment that supports designing filters and simulates the operation of the designed filter under specific operating conditions. This program is described (sections 4.1 to 4.4). One of the assumptions of the program and at the same time its most important advantage is the ability to acquire real time measurements of measurement data of voltage and current signals of the analyzed installations. The selection of filter parameters is always based on these data and not on the modeling of input signals. The results of the filter operation performed in the created simulation program showed that its application would limit the harmonic content in the current to the level allowed by the relevant standard [52, 53]. All program data is also saved in a binary .sod file, which allows their possible subsequent processing in the Scilab environment. A text file of the calculation report is also generated, containing a full description of the structure of the designed filter along with the results of the calculations. Chapter 5 presents the results of measurements on real objects equipped with passive filters. These results prove the correctness of calculations performed by the created program. Obtained results of the measurements in great way coincide with the results of the simulations carried out in the program, which proves the correctness of the calculations and the assumptions made. In subsection 5.8, the synthesis of measurement results for variable parameters of the power signal is described. From the presented results, we can notice that the changes in the supply voltage have no great influence on the THDI increase - this is conditioned by the construction of the voltage converter (work in the ranges 125 - 250V). In turn, by changing the frequency of the supply voltage (chapter 5.9 to 5.13), we notice that even a small change in frequency has a critical effect on the operation of filters, followed by "resonance imbalance" in the "n" branches of a particular filter. Section 5.14 also presents measurements of PST and PLT light flicker coefficients. The testing object was a mixed installation of discharge luminaries and LED type 6 fittings. After analyzing these results, the effect of filter systems on the values of light flicker coefficients was found (using electronic inverters - power supplies). Chapter 6 presents the impact of the operation of passive filter systems on the lighting installation parameters. The results of the reduction of THDI coefficients and a large increase in the reactive power value of the tested objects are presented here in a tabular manner. Chapter 7 describes the measuring stand and test results depending on the changes of light ray of the LED emitter and the values of the amplitudes and frequency of the power supply. Chapters 8 and 9 are a summary of the thesis.