

УДК 628.93

І. Белякова¹, канд. техн. наук; В. Медвідь¹, канд. техн. наук;
В. Пісьціо¹; Р. Трембач², канд. техн. наук

¹ Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

² Тернопільський національний економічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Резюме. Розглянуто використання світлодіодних лінійних ламп та світлодіодних прожекторів в освітлювальних пристроях. Наведено електричні та світлові параметри світлодіодних пристроїв, відзначено їх основні переваги в порівнянні з люмінесцентними та галогенними джерелами випромінювання.

Проаналізовано сучасні схеми живлення світлодіодних джерел випромінювання: лінійні та імпульсні перетворювачі (драйвери), виконані на дискретних напівпровідникових елементах, включаючи спеціалізовані інтегральні схеми. Відзначено їх основні переваги та недоліки, визначено області застосування.

Проведено дослідження електричних параметрів світлодіодних джерел випромінювання для різних схем живлення. Проаналізовано форму напруги та струму при різних значеннях напруги джерела живлення. Визначено значення параметрів, що характеризують якість споживаної енергії, серед яких величина $\cos\varphi$, коефіцієнт гармонік та величина відносної амплітуди третьої гармоніки струму світлодіодного пристрою.

Ключові слова: люмінесцентна лампа, світлодіодна лінійна лампа, світлодіодний прожектор.

I.Belyakova, V.Medvid, V.Piscio, R. Trembach

RESEARCH OF THE ELECTRICAL PARAMETERS OF THE LED LIGHT SOURCES

Summary. The using of linear LED lamps and LED spotlights in lighting devices has been considered. In the article electrical and lighting settings for led devices are presented. Their main advantages in comparison with a luminescent and halogen light sources has been provided.

Analysis of modern schemes of power supply LED radiation sources: linear and pulse converters (drivers), made on discrete semiconductor elements, including application-specific integrated circuits has been carried out. Their main advantages and disadvantages are described, areas of application are identified.

It was shown, that pulsed drivers allow to take advantage of energy saving, which are provided by LED technology, because their efficiency is 98%, they do not need additional means of cooling, and power consumed by the lamp equals power used by LEDs.

Research of electric parameters of LED sources of radiation for various schemes of power has been conducted. The form of voltage and current for different values of the supply voltage has been analyzed. The values of the parameters characterizing the quality of the consumed energy, among which the value of PF, harmonic content and value of the relative amplitude of the third harmonic current LED product has been found.

It is shown that for LED light sources diodes, which are connected with the scheme of linear driver, the dependence of the relative amplitude of the third harmonic, the harmonic distortion and PF on the supply voltage changes are similar, and their value falls with the increase of the supply voltage. At the nominal voltage of power source value of the coefficient of harmonics for linear LED lamp does not exceed 0.5, PF – 0.6, and for floodlight power 4 W the same options are 0.3 and 0.4, respectively.

It is also shown, that for the LED light sources with pulse voltage stabilizer values PF practically are not changed with the increasing of voltage, the relative amplitude of the third harmonic and harmonic content being increased (harmonics factor reaches a value of 0.9, and PF value – 1.0).

Harmonic coefficients for LED radiation sources are within specified specifications on the quality of the consumed electrical energy.

Key words: fluorescent lamp, LED module, LED strip, LED tubular lamp.

Постановка проблеми. З появою світлодіодних джерел світла їх роль на ринку стрімко зростає, поступово витісняючи лампи розжарювання, люмінесцентні й

«енергозберігаючі» лампи. Ринок світлодіодів за останні п'ять років щорічно зростає на 80–90% [1].

У попередні роки в освітлювальних пристроях використовувалися люмінесцентні лампи (ЛЛ) (в основному, потужністю 4...36 Вт), для запалювання та стабілізації струму яких застосовували як електромагнітні, так і електронні баласты. Однак їх використання, попри видиму енергоощадність у порівнянні з лампами розжарювання, має і ряд недоліків. Основними серед них є: нетривалий термін служби, тривалий час розгорання, складність реалізації на основі люмінесцентних джерел світла динамічного освітлення, при якому яскравість джерела світла може змінюватися в широких межах.

З появою світлодіодних джерел світла ряд вказаних вище недоліків вдалося усунути. Використання таких освітлювальних пристроїв, як світлодіодні лінійні лампи (рис.1) та світлодіодні прожектори, незважаючи на порівняно більшу вартість, дозволило підвищити їх якісні та кількісні світлотехнічні показники.



Рисунок 1. Лінійна світлодіодна лампа з цоколем T8

Figure 1. Linear LED T8 lamp

Однак у багатьох випадках немає жодних даних про якісні показники споживаної енергії світлодіодних джерел освітлення. Тому актуальним є проведення такого типу досліджень, які, в першу чергу, визначають якість споживаної ними електроенергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, аналіз схем живлення світлодіодних джерел світла. Досліджувані нами параметри світлодіодних джерел світла, в першу чергу, залежать від їх схемотехніки та, можливо, від параметрів застосованих мікросхем-драйверів. Схемотехніка визначає як світлотехнічні, так і електричні параметри світлового приладу (рівень пульсацій, яскравість, тривалість безвідмовної роботи та вартість світильника). Всі схеми ввімкнення світлодіодних джерел світла розділяють на лінійні й імпульсні. Лінійні відрізняються низькою ціною, але мають низьку ефективність використання, імпульсні драйвери дорожчі за лінійні, однак вони зазвичай мають покращені споживчі характеристики, можливість регулювання яскравості [1,2].

Проте у більшості випадків питання якості електричної енергії, що споживається світлодіодними джерелами світла, залишається не висвітленим.

Мета роботи – дослідження коефіцієнта амплітуди споживаного струму, коефіцієнта гармонік та $\cos\phi$ світлодіодних джерел випромінювання.

Аналіз об'єкта досліджень. Більшість світлодіодних ламп мають просту конструкцію: баластний конденсатор, випрямляч і фільтр, а також ряд послідовно ввімкнених випромінювальних діодів. Поява світлодіодів та світлодіодних модулів потужністю до 50 і навіть 100 Вт призвела до необхідності розроблення спеціалізованих блоків живлення для їх нормальної роботи. Найперспективнішими

вважаються драйвери з широтно-імпульсною модуляцією і можливістю регулювання потужності, у яких передбачений ефективний захист від мережевих перешкод та які мають коректор коефіцієнта потужності, наприклад компанії National Semiconductor [4].

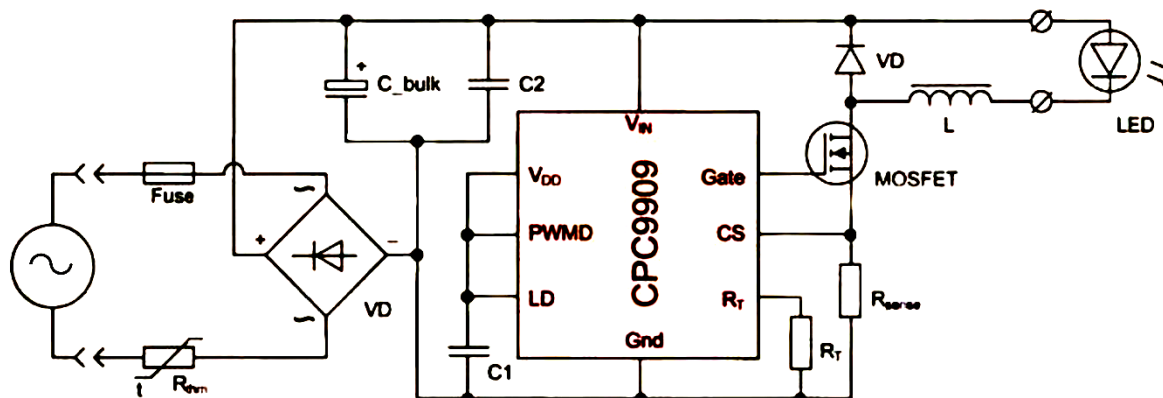


Рисунок 2. Драйвер світлодіодної лампи на основі мікросхеми CPC9909 із живленням змінною напругою

Figure 2. LED lamp driver based on CPC 9909 for AC voltage

Але все ж у більшості випадків для світлодіодних ламп, що живляться від промислової мережі 220 В, поки використовуються драйвери, виконані на дискретних елементах. Основним недоліком подібних пристроїв є їх складність. Одним із прикладів дешевого компромісного варіанта драйвера є продукція компанії Clare, наприклад заснованого на мікросхемі CPC9909. Мікросхема виконана в компактному корпусі [5] і зазвичай вмикається за схемою, зображеною на рис.2. Мікросхема CPC9909 працює за принципом частотно-імпульсної модуляції (PFM) з постійним контролем пікового струму. Драйвер на CPC9909 стабілізує струм у світлодіодах, порівнюючи з опорною напругою падіння на струмовому шунті – резистивному датчику струму, під'єднаному до входу CS мікросхеми. Джерелом опорної напруги служить вбудоване в CPC9909 джерело каліброваної напруги 250 мВ.

Результати досліджень електричних характеристик світлодіодних джерел випромінювання. Для дослідження електричних характеристик деяких типів лінійних світлодіодних ламп та світлодіодних прожекторів ми використовували схему вимірювання, зображену на рис.3, до складу якої входить генератор синусоїдальних сигналів ГЗ-56, трансформатор $T1$, досліджуване світлодіодне джерело світла (світлодіоди $VD1...VDn$), датчик струму $R1=1$ Ом та осцилограф двопроточний запам'ятовуючий "RIGOL" DS 1022C.

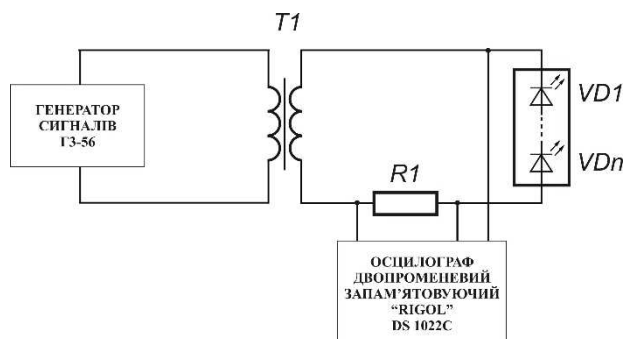


Рисунок 3. Схема вимірювання параметрів світлодіодних джерел світла

Figure 2. Measurement of LED light sources

У досліджуваних світлодіодних джерелах світла використовувалася схема лінійного драйвера, що відповідає електричній схемі, зображеній на рис.4, де сукупність послідовно ввімкнених світлодіодів відображається діодом D5 з їх

сумарними еквівалентними параметрами. Обов'язковим є конденсатор C1, увімкнений послідовно з випрямлячем D1...D4. Струм світлодіодів обмежує резистор R1.

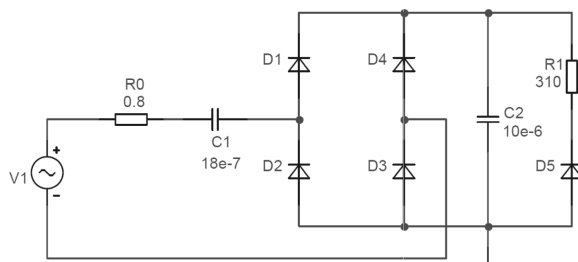


Рисунок 4. Електрична схема лінійної світлодіодної лампи з цоколем T8

Figure 4. LED T8 lamp schematic diagram

Наявність конденсатора C1 задає ємнісний характер блока живлення світлодіодної лампи. На рис.5,а...г зображені осцилограми напруги та струму лінійної лампи при різних значеннях напруги джерела живлення. Зі збільшенням струму через лампу ємнісний характер навантаження зростає. Це можна пояснити тим, що послідовно увімкнені діоди, по суті, є стабілізатором напруги, значення якої незначно зростає лише при малих значеннях струму через світлодіоди і практично не змінюється при значеннях струму, близьких до номінального. Водночас зі збільшенням струму зростає спад напруги на ємності C1 та резисторі R1, що й зумовлює значний зсув струму (випередження) відносно напруги джерела живлення.

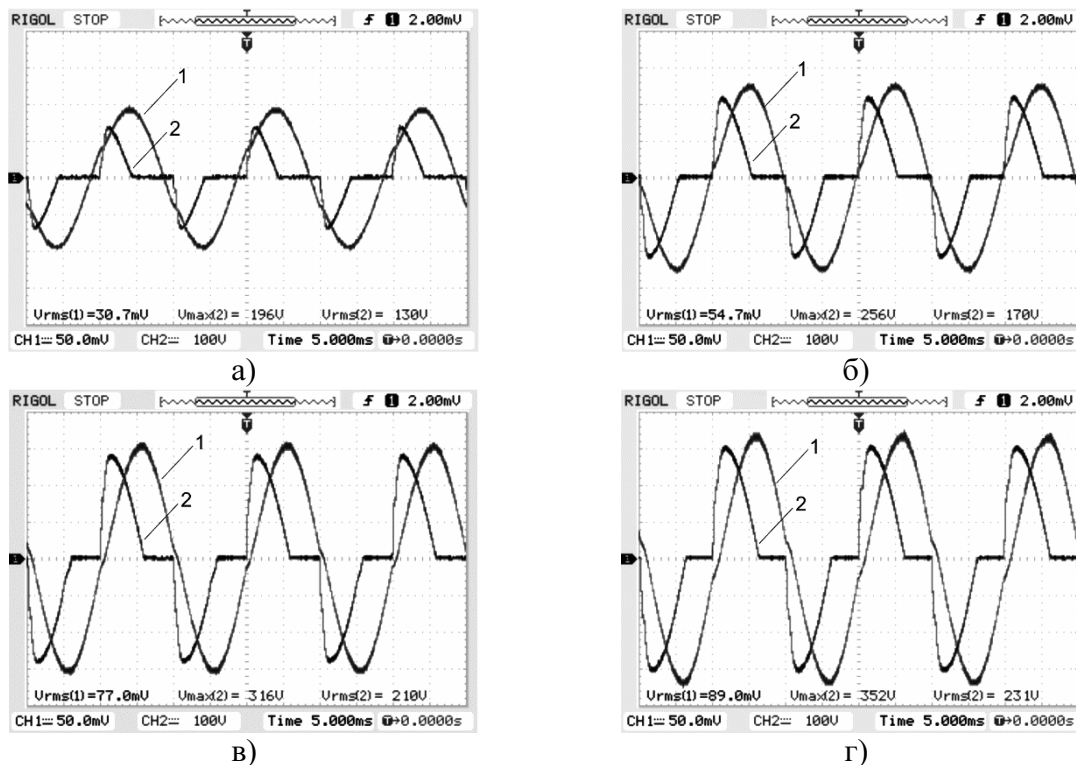


Рисунок 5. Осцилограми напруги (1) та струму (2) лінійної лампи (довжиною 60 см) при напрузі джерела живлення: а) 130 В, б) 170 В, в) 210 В, г) 231 В

Figure 5. Oscillograms of voltage and current of the linear lamp (length 60 cm) at a voltage of the power supply: а) 130 V, б) 170 V, в) 210 V, д) 231 V

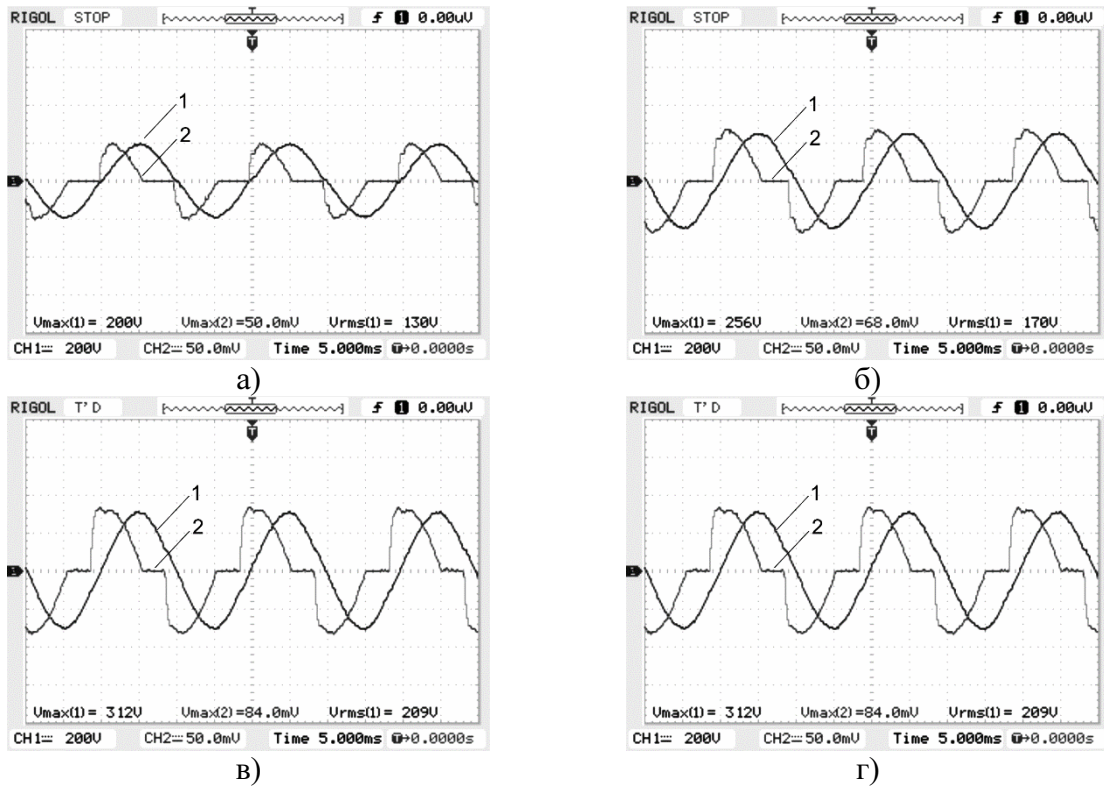


Рисунок 6. Осцилограми напруги (1) та струму (2) світлодіодного прожектора потужністю 4 Вт (60 світлодіодів) при напрузі джерела живлення: а) 130 В, б) 170 В, в) 209 В, г) 228 В

Figure 6. Oscillograms of voltage (1) and current (2) of LED Spotlight (60 LEDs) at a voltage of the power supply: а) 130 V, б) 170 V, в) 209 V, г) 228 V

Разом з тим, форма струму лампи при різних значеннях напруги живлення не є синусоїдальною, а містить певний відсоток третьої гармоніки, що пояснюється наявністю в схемі живлення лампи діодного моста. Схожі характеристики ми отримали при дослідженні світлодіодного прожектора потужністю 4 Вт, що складається з 60-ти точкових круглих світлодіодів, увімкнених послідовно за схемою рис.3. Характеристики наведено на рис.6,а...г.

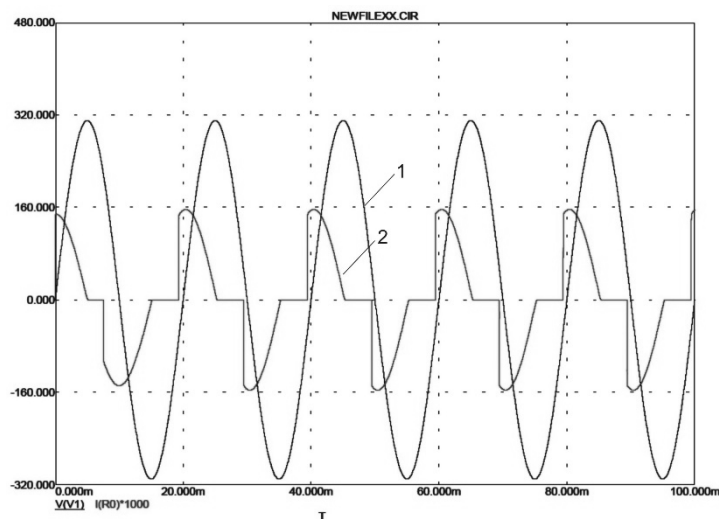


Рисунок 7. Осцилограми напруги (1) та струму (2) світлодіодного прожектора потужністю 4 Вт при напрузі 220 В, отриманих з використанням програмного пакета Mathcad

Figure 7. Oscillograms of voltage (1) and current (2) of LED spotlight 4W under power supply voltage 220 V, obtained using the software package Mathcad

Достовірність отриманих результатів підтверджує аналіз схеми електричної світлодіодного джерела світла (рис.4) із використанням програмного пакета MicroCAP.

Отримані при цьому часові залежності напруги та струму такого джерела світла наведено на рис.7.

Дещо інший характер часових характеристик напруги та струму отримані для ще однієї моделі світлодіодного прожектора типу FL-F-10W-01. Цей прожектор містить SMD-світлодіоди, для живлення яких використовується імпульсний стабілізатор напруги. Така схема не містить конденсатора, ввімкненого послідовно з діодним мостом. Тому зсув струму відносно до напруги прожектора відсутній при різних значеннях напруги, як це бачим з рис.8,а...г.

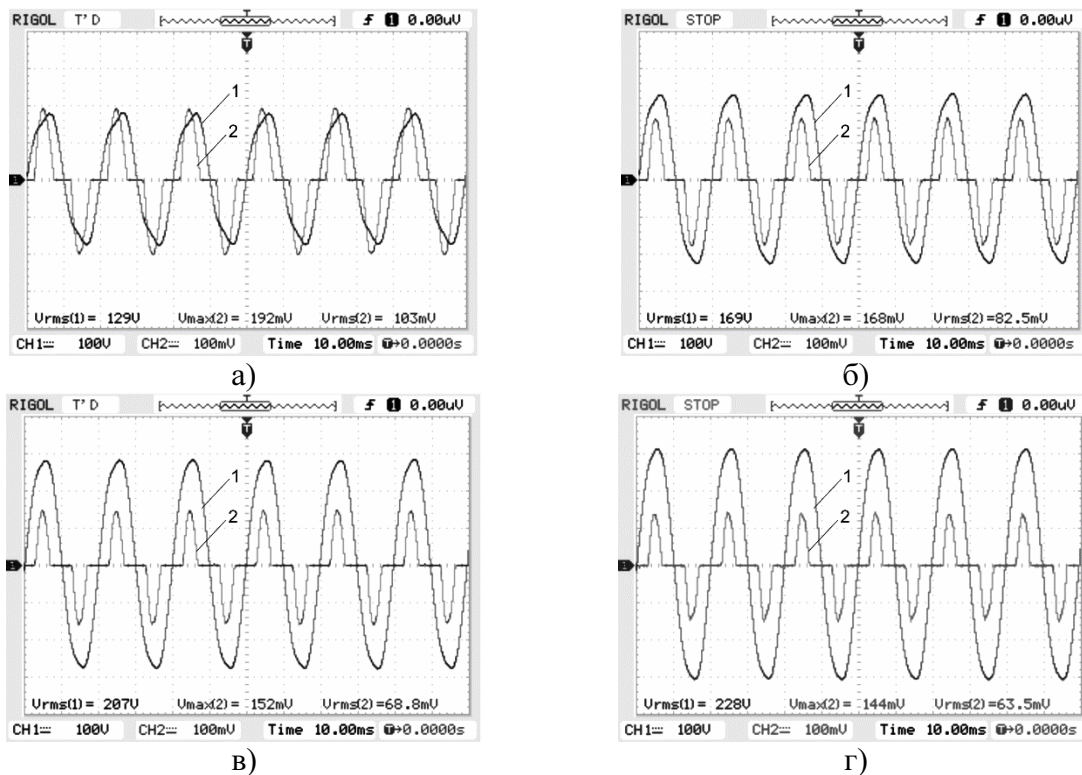


Рисунок 8. Осцилограми напруги (1) та струму (2) світлодіодного прожектора потужністю 10 Вт при напрузі джерела живлення: а) 103 В, б) 169 В, в) 207 В, г) 228 В

Figure 8. Oscillograms of voltage (1) and current (2) of LED spotlight 10W under voltage of the power supply: а) 103 V, б) 169 V, в) 207 V, г) 228 V

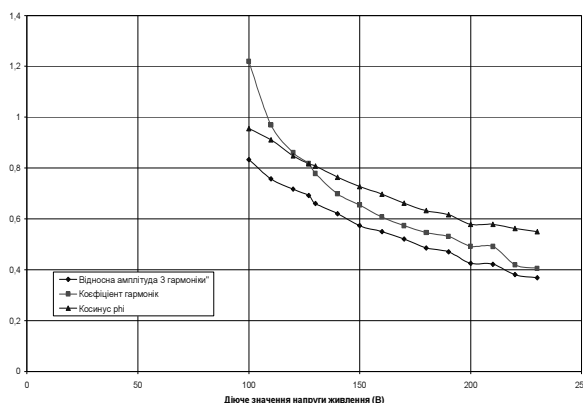


Рисунок 9. Залежності відносної амплітуди третьої гармоніки, коефіцієнта гармонік та $\cos \varphi$ від напруги живлення для світлодіодної лампи з цоколем T8

Figure 9. Dependence of the relative amplitude of the third harmonic, harmonic and $\cos \varphi$ on the voltage supply for LED T8 lamp socket

Спостерігається також зменшення струму, споживаного перетворювачем світлодіодного прожектора, при збільшенні напруги живлення, що свідчить про

стабілізацію струму, який протікає безпосередньо через світлодіоди. Разом з тим, форма струму є такою ж, як і у двох попередніх випадках.

На основі отриманих характеристик зміни струму від напруги побудовані залежності відносної амплітуди третьої гармоніки, коефіцієнта гармонік та $\cos\phi$ при різних значеннях напруги живлення для лінійної світлодіодної лампи (рис.9) світлодіодного прожектора потужністю 4 Вт (рис.10) та світлодіодного прожектора зі стабілізатором напруги живлення світлодіодів (рис.11).

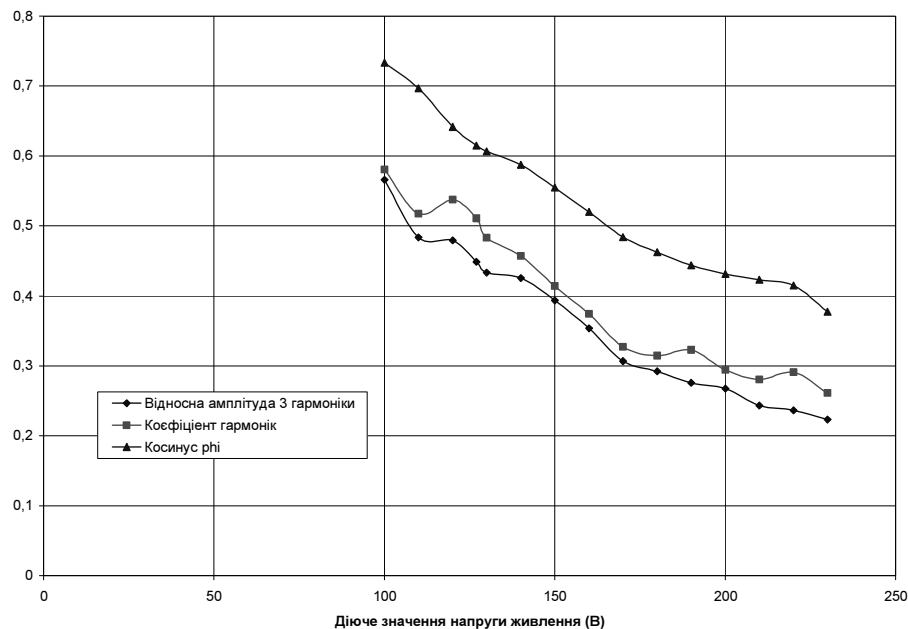


Рисунок 10. Залежності відносної амплітуди третьої гармоніки, коефіцієнта гармонік та $\cos\phi$ від напруги живлення для світлодіодного прожектора потужністю 4 Вт

Figure 10. Dependence of the relative amplitude of the third harmonic, harmonic $\cos\phi$ on the voltage supply for the power LED Spotlight 4W

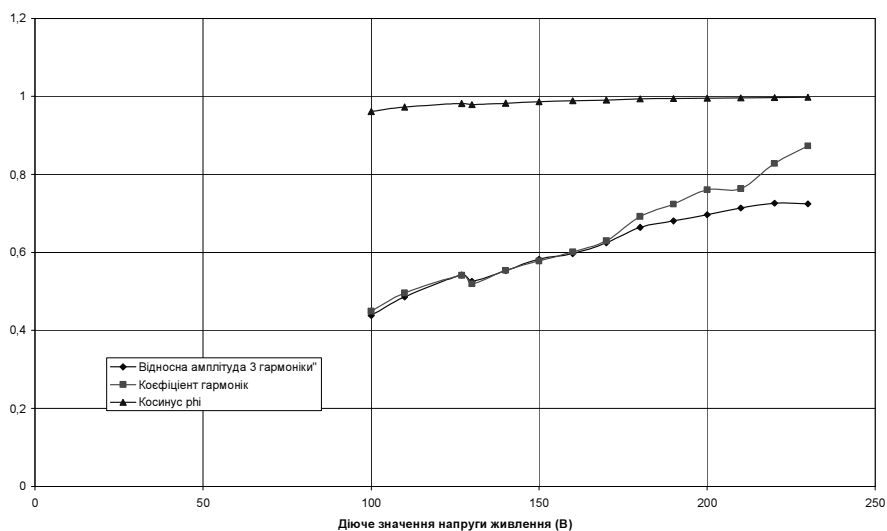


Рисунок 11. Залежності відносної амплітуди третьої гармоніки, коефіцієнта гармонік та $\cos\phi$ від напруги живлення для прожектора з імпульсним стабілізатором напруги

Figure 11. Dependence of the relative amplitude of the third harmonic, harmonic $\cos\phi$ on the voltage supply for the spotlight with a pulse voltage stabilizer

Для перших двох світлодіодних джерел світла вказані характеристики є схожими, а обчислені коефіцієнти спадають зі збільшенням напруги живлення.

Для світлодіодного прожектора з імпульсним стабілізатором напруги значення $\cos\phi$ практично не змінюється зі зростанням напруги живлення. Разом з тим, два інших

параметри струму при цьому зростають (рис.11). Як бачимо з рис.9...11, при номінальній напрузі джерела живлення значення коефіцієнта гармонік для лінійної світлодіодної лампи не перевищує 0,5, а $\cos\phi$ – значення 0,6. Ті ж величини для прожектора потужністю 4 Вт становлять відповідно 0,3 і 0,4. Для прожектора з імпульсним стабілізатором напруги дані параметри суттєво відрізняються: коефіцієнта гармонік досягає значення 0,9, а $\cos\phi$ – 1,0.

Висновки. Для світлодіодних джерел випромінювання, діоди в яких з'єднані за схемою лінійного драйвера, залежності відносної амплітуди третьої гармоніки, коефіцієнта гармонік та $\cos\phi$ від зміни напруги живлення є схожими, а їх значення спадають зі збільшенням напруги живлення. При номінальній напрузі джерела живлення значення коефіцієнта гармонік для лінійної світлодіодної лампи не перевищує 0,5, а $\cos\phi$ – 0,6, а для прожектора потужністю 4 Вт (60-ти світлодіодів) ті ж параметри становлять відповідно 0,3 і 0,4. Для світлодіодних джерел з імпульсним стабілізатором напруги значення $\cos\phi$ практично не змінюється зі зростанням напруги живлення. Разом з тим, відносна амплітуда третьої гармоніки та коефіцієнт гармонік при цьому зростають (коефіцієнт гармонік досягає значення 0,9, а $\cos\phi$ – значення 1,0).

Розраховані коефіцієнти гармонік для отриманих експериментальних електричних характеристик світлодіодних джерел світла знаходяться в межах, що стандартизуються технічними вимогами щодо якості споживаної електричної енергії.

Conclusions. For LED light sources diodes, which are connected with the scheme of linear driver, the dependence of the relative amplitude of the third harmonic, the harmonic distortion and PF on the supply voltage changes are similar, and their values decrease with the increase of the supply voltage. At nominal voltage of power source the value of the coefficient of harmonics for linear LED lamp does not exceed 0,5, and PF – 0,6, and for floodlight power 4 W (60 LEDs) the same parameters are 0,3 and 0,4 respectively. For LED light sources with pulse voltage stabilizer values PF practically are not changed with the increasing of voltage, the relative amplitude of the third harmonic and harmonic content being increased (harmonics factor reaches a value of 0,9, and $\cos\phi = 1,0$).

Calculated harmonic coefficients for the obtained experimental electrical characteristics of the LED light sources are within, specified specifications on the quality of the consumed electrical energy.

Список використаної літератури

1. CPC9909: High Efficiency, Off-Line, High Brightness LED Driver [Text] / IXYS CH GmbH, – 2011. www.clare.com/Products/LEDDrivers.htm
2. Техническая информация о светодиодах компании OSRAM GmbH в Украине [Текст] // Світло. – 2003. – №1.
3. LED Driver With Self-Adaptive Drive Voltage Yuequan Hu and Milan M. Jovanovi [Text] // IEEE transactions on power electronics. – 2008. – № 11. – P.316–325.
4. Денис, Б. Диоды LED завоевывают рынок [Текст] // Электроинформ. 2004. – №2.
5. CPC9909: Design considerations. Application note, AN-301 [Text] / CH GmbH. – 2011. [www.clare.com/home/pdfs.nsf/0/24F26B358BA83957852577440053C75C/\\$file/AN-301-July-6-2011.pdf](http://www.clare.com/home/pdfs.nsf/0/24F26B358BA83957852577440053C75C/$file/AN-301-July-6-2011.pdf)
6. Компоненты ON Semiconductor для устройств питания сверхъярких светодиодов и светодиодных матриц [Текст] / Л. Чемакин // Новости электроники. – 2008. – №10 – С.12–15.

Отримано 20.05.2014