

УДК 628

О.Ю. Єгорова, К.В. Довбня

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДХИЛЕНЬ НАПРУГИ НА РОБОТУ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

*Истотний вплив на роботу всіх джерел світла, в тому числі і на роботу світлодіодів, має значення такого показника якості електричної енергії, як напруга. Відсутність методик по дослідженню впливу напруги на робочі характеристики світлодіодів та по зменшенню негативного впливу зумовлює нечасте застосування світлодіодів в сучасних системах освітлення. Саме цим і визвана необхідність в оцінці впливу напруги на роботу світлодіодів та стабілізації відхилень напруги. Вирішення даного завдання дозволить збільшити рівень використання світлодіодів в системах освітлення, і, як наслідок, знизити споживання електроенергії. В даній статті розглянемо питання використання блоків живлення в світлодіодних модулях, метою якого є стабілізація напруги, а також запропонуємо математичну модель стабілізації напруги для світлодіодів.*

**Ключові слова:** світлодіод, напруга, блок живлення, стабілізація напруги, критерій оптимізації напруги.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Незважаючи на численну кількість переваг в порівнянні з уже відомими джерелами світла світлодіоди не мають широкого поширення. Це пов'язано з відсутністю методик по дослідженню та покращенню робочих характеристик світлодіодів. Наявність в них електронного перетворювача у поєднанні з нелінійністю характеристик самих світлодіодів обумовлюють спотворення кривих напруги і струму, який споживається з мережі і, як наслідок, протікання по елементах мережі вищих гармонік напруги, яка, у свою чергу негативно впливає на роботу всієї електроенергетичної системи. Саме тому оцінка впливу напруги на роботу світлодіодів та стабілізація відхилень напруги є актуальним завданням, вирішення якого дозволить збільшити рівень використання світлодіодів в системах освітлення, і, як наслідок, знизити споживання електроенергії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Питання якості електроенергії в електричних мере-

жах, і зокрема несинусоїдальності напруги, широко відображені в роботах [1 – 16] таких вітчизняних і зарубіжних вчених як Багієв Г.Л., Біленький І.Т., Борисов Б.П., Жежеленко І.В., Веніков В.А., Железко Ю.С., Зорін В.В., Климова Г.Н., Саприка А.В. та ін.

**Метою дослідження** є виявлення впливу відхилень напруги на роботу світлодіодних джерел світла, пошук заходів по зниженню такого негативного впливу, створення математичної моделі стабілізації напруги.

### Основний матеріал дослідження

Світлодіод (СД, СІД, LED англ. Light-emitting diode) — напівпровідниковий прилад з електронно-дірковим переходом або контактом метал-напівпровідник, що створює оптичне випромінювання при пропусканні через нього електричного струму. Випромінюване світло лежить у вузькому діапазоні спектру, його спектральні характеристики залежать у тому числі й від хімічного складу використаних в ньому напівпровідників.

Світлодіод є напівпровідниковим діодом, тобто є p-n-переходом. Так називається кордон сплавлених

один з одним напівпровідників з різними типами провідності (напівпровідник з надлишком електронів називається напівпровідником n-типу, з надлишком дірок – p-типу). Якщо до p-n переходу прикласти різницю потенціалів таким чином, що «плюс» джерела струму виявиться приєднаним до напівпровідника p-типу (пряме включення), то через нього протікатиме струм. Коли через прямо зміщений p-n перехід проходить струм, на кордоні переходу відбувається процес так званої рекомбінації носіїв електричного заряду, які рухаються назустріч один одному, – електронів і дірок. Негативно заряджені електрони потрапляють в «дірку», тобто зустрічаються з позитивно зарядженими іонами кристалічної решітки p-напівпровідника. Рекомбінація в певних умовах може бути випромінювальною, тобто при «зустрічі» електрона з діркою випромінюється фотон – квант світла, з яким виділяється світлова енергія. При безвипромінювальній рекомбінації енергія нагріває напівпровідник. Відомо не менше 5 видів випромінювальної рекомбінації в напівпровідниках, в їх числі – так звана прямозонна рекомбінація. Для звичайних напівпровідникових діодів або транзисторів випромінювання є побічним ефектом, що не приносить користі. А ось робота світлодіодів заснована якраз на випромінювальній рекомбінації.

В порівнянні з іншими відомими нам джерелами світла світлодіоди мають ряд переваг. Розглянемо основні з них:

- висока світлова віддача. Сучасні світлодіоди порівнялися по цьому параметру з натрієвими газорозрядними лампами і металогалогенними лампами, досягнувши 150 Люмен на Ват;

- висока механічна міцність, вібростійкість (відсутність нитки розжарення і інших чутливих складових);

- тривалий термін служби – від 30000 до 100000 годин (при роботі 8 годин в день – 34 роки). Але і він не безкінечний – при тривалій роботі і поганому охолодженні відбувається «отруєння» кристала і поступове падіння яскравості;

- спектр сучасних світлодіодів буває різним – від теплого білого = 2700 K до холодного білого = 6500 K;

- мала інертність – вмикаються відразу на повну яскравість, тоді як в ртутно-фосфорних (люмінесцентно-економічних) ламп час включення від 1 секунди до 1 хвилини, а яскравість збільшується від 30% до 100% за 3 – 10 хвилин, залежно від температури довкілля;

- кількість циклів включення-виключення не мають істотного впливу на термін служби світлодіодів (на відміну від традиційних джерел світла – ламп розжарювання, газорозрядних ламп);

- різноманітний кут випромінювання – від 15 до 155 градусів;

- низька вартість індикаторних світлодіодів;

- безпека – не потрібні високі напруги, низька температура світлодіода або арматури (зазвичай не вище 60 градусів Цельсія);

- нечутливість до низьких і дуже низьких температур. Проте, високі температури протипоказані світлодіоду, як і будь-яким напівпровідникам;

- екологічність – відсутність ртуті, фосфору і ультрафіолетового випромінювання на відміну від люмінесцентних ламп.

Проте, окрім великої кількості позитивних характеристик, світлодіодні лампи мають і свої недоліки:

- висока вартість світлодіодів – мабуть, головний їх недолік в порівнянні з іншими джерелами світла. Проте не забуватимемо, що дорогі led-вироби, тобто світлодіоди, окупають свою вартість терміном служби. І хоча ціна світлодіодного модуля залишається вищою за вартість неонові лампи такої ж яскравості практично в два рази, виробники у всьому світі працюють над здешевленням світлодіодної продукції, продовжуючи нарощувати потужності і темпи виробництва. Якщо поррахувати сукупні витрати на придбання і експлуатацію джерел світла за тривалий часовий проміжок, виявиться, що витрати на світлодіоди будуть в 2 – 2,5 разу нижче за витрати на звичайні лампи;

- мініатюрність – не завжди перевага, особливо для світильників. Скажімо, для створення об'ємних букв великих розмірів, що світяться, необхідно об'єднати в групи безліч окремих світлодіодів – лише так можна отримати яскраве і насичене світло, що привертає увагу. Для таких цілей необхідно створювати уніфіковані модулі: один або два світлодіоди. З них можна сконструювати практично будь-який рекламний образ.

Для включення світлодіодів в мережу застосовують декілька схем:

- послідовне з'єднання; паралельне з'єднання; підключення світлодіодів через струмообмежувальний резистор – найбільш часто використовувана схема підключення світло діодів; підключення світлодіодів через трансформатор.

Світлодіоди можна включати і через стабілізатор струму. Світлодіод – це напівпровідниковий прилад, який живиться струмом, а не напругою. Тому, якщо ви стабілізуєте і обмежите струм, що протікає через нього, то можете підключити хоч кіловольт, світлодіод світлитиме нормально. А від режиму роботи залежить як довго світлодіод світлитиме не втрачаючи яскравості. Для стабілізації струму використовуються прилади, звані драйверами.

Для включення світлодіодів в мережу також використовується схема підключення світлодіодних модулів до блоку живлення, яку можна вважати стандартом для світлодіодних виробів з послідовно-паралельним з'єднанням світлових елементів [15], і переваги якої ми розглянемо далі.

Істотний вплив на роботу світлодіодів має значення напруги. Напруга – найважливіший показник режиму електроенергетичної системи (ЕЕС), що безпосередньо впливає на якість електричної енер-

гії, надійність електропостачання споживачів і економічність роботи ЕЕС.

До основних показників якості напруги відносяться: відхилення напруги; коливання напруги; несинусоїдальність напруги; несиметрія напруги; провал напруги; імпульс напруги і тимчасове перенапруження.

Відхилення напруги істотно впливає на роботу освітлювальних установок. Від підведеної напруги залежать світловий потік, освітленість, термін служби, споживана потужність та ККД освітлювальних приймачів електричної енергії. Так, наприклад, для ламп розжарювання підвищення напруги лише на 1% понад номінальну викликає збільшення споживаної потужності приблизно на 1,5%, світлового потоку на 3,7% і скорочення терміну служби ламп розжарювання на 14% [4].

Збільшення напруги на 3% скорочує термін служби ламп розжарювання на 30%, а підвищення напруги на 5% приводить до скорочення терміну служби ламп в 2 рази. Термін служби люмінесцентних ламп при підвищенні напруги на 10% скорочується на 20 – 30%. Пониження напруги нижче номінального збільшує термін служби ламп розжарювання, зменшує потужність, споживану лампою. Проте в лампі зменшуються струм і світловий потік, що негативно відбивається на освітленості. При зниженні напруги на 20 % і більше в газорозрядних лампах, у тому числі і люмінесцентних, запалення стає неможливим [4].

Колівання напруги негативно позначаються на роботі освітлювальних приймачів. Вони приводять до мигань ламп, тобто до різких змін світлового потоку, які при перевищенні порогу дратівливості можуть відбиватися на зоровому сприйнятті людей. При цьому з'являється підвищена стомлюваність, знижується продуктивність праці, збільшується вірогідність травматизму. У зв'язку з цим коливання напруги тим небезпечніше, чим вони більше і частіше повторюються. Вважають, що найбільш небезпечними для зорового сприйняття є коливання з частотами в діапазоні від 1 до 10 Гц. При цьому їх величина обмежується 1% від номінальної напруги.

Унаслідок несиметричних струмів навантаження, що протікають по елементах системи електропостачання, на виводах електроприймачів з'являється несиметрична система напруги. Відхилення напруги в електроприймачах (ЕП) перегруженої фази можуть перевищити нормально допустимі значення, тоді як відхилення напруги в ЕП інших фаз знаходяться в нормованих межах [4]. Окрім погіршення режиму напруги в ЕП при несиметричному режимі, істотно погіршуються умови роботи як самих ЕП, так і всіх елементів мережі, знижується надійність роботи електроустановки та системи електропостачання в цілому.

Для кожного світлодіода існують допустимі значення напруги живлення  $U_{\max}$  і  $U_{\maxзв}$  (відповідно для прямого і зворотного включень). При подачі напруги, яка більше встановлених  $U_{\max}$  і  $U_{\maxзв}$  на-

стає електричний пробій, в результаті якого світлодіод виходить зі строю. Існує і мінімальне значення напруги живлення  $U_{\min}$ , при якому спостерігається свічення світлодіода. Діапазон живлячої напруги між  $U_{\min}$  і  $U_{\max}$  називається «робочою» зоною, оскільки саме тут забезпечується робота світлодіода [16]. Головною нашою задачею є дотримання цих значень і, як наслідок, стабілізація напруги.

Стабілізацію напруги застосовують, коли до центру живлення підключені промислові підприємства з 3-х змінним характером роботи, що мають рівний графік навантаження,  $T_m \geq 5500-6000$  ч.

Закон зустрічного регулювання застосовують для змішаного навантаження, комунально-побутового і 1-2-х змінних підприємств,  $T_m < 5500$  ч, причому, чим менше  $T_m$ , тим більш глибоке потрібне регулювання (від  $1,0U_{\text{ном}}$  до  $1,1U_{\text{ном}}$ ). При менш глибокому регулюванні напруга на шинах центру живлення повинна підтримуватися в діапазоні  $(1,05-1,1) U_{\text{ном}}$  або  $(1,0-1,05) U_{\text{ном}}$  [14].

Для підтримки необхідного режиму напруги в електричних системах використовуються наступні принципи регулювання напруги [14]: централізоване регулювання, коли вплив іде на велику кількість вузлів мережі; місцеве регулювання використовується у зв'язку з тим, що централізованого регулювання виявляється недостатньо для підтримки напруги в необхідному діапазоні у всіх вузлах; змішане регулювання, що використовує обидва принципи.

Останнім часом для стабілізації напруги в освітлювальних установках використовується автоматичне регулювання напруги. Для промислових освітлювальних електромереж розроблено і широко застосовується регулювання напруги за допомогою автоматичних або програмно керованих стабілізаторів. Такі стабілізатори призначені для забезпечення якісного електроживлення і захисту різного устаткування від підвищеної і зниженої напруги, а також для захисту від різних перешкод, різких стрибків напруги, які можуть трапитися в мережі. Автоматичні стабілізатори напруги забезпечують повний автоматичний контроль в мережі. Такі стабілізатори працюють з високою точністю – погрішність складає всього лише 2 – 5 %.

Для стабілізації напруги, що впливає на роботу світлодіодів доцільно застосовувати блоки живлення. По сфері вживання блоки живлення для світлодіодів поділяються на три групи:

1. блоки живлення, вбудовані в світлодіодні лампи;
2. блоки живлення, вбудовані в світлодіодні світильники;
3. зовнішні блоки живлення для низьковольтних світлодіодних ламп і світильників.

**1. Вбудовані блоки живлення.** Падіння напруги на світлодіоді білого свічення залежить від ряду чинників, але в середньому складає близько 3,5 В. В світлодіодних світильниках світлодіоди об'єднуються в послідовні ланцюжки.

При паралельному з'єднанні світлодіодів збільшується струм, що протікає через них. При великому струмі технічно важко добитися високого ККД блоку живлення. Тому йдуть на компроміс і сполучають світлодіоди в ланцюжки. Звичайна напруга живлення лежить в межах 12 – 72 В.

У недорогих світильниках ці ланцюжки об'єднуються паралельно через струмообмежувальні резистори. При розриві одного з ланцюжків, сила струму, що протікає через інші ланцюжки, збільшується, що може привести до їх виходу із ладу. У світильниках складнішої конструкції використовується багатоканальний блок живлення, кожен ланцюжок живиться від свого каналу. При цьому якщо один з ланцюжків світлодіодів знеструмлений, то режим роботи останніх ланцюжків не зміниться.

Для світлодіода важливішою є сила струму, який через нього протікає, чим напруга, що підводиться до нього. Відповідно, блок живлення, вбудований в світлодіодну лампу або світильник, теоретично повинен стабілізувати саме струм. Але на практиці стабілізатори струму використовуються рідко. Причина полягає в тому, що для кожного типу світлодіода існує своє оптимальне значення сили струму. Це передбачає розробку і випуск блоків живлення індивідуально для кожного світильника, що не вигідно з економічних міркувань. Набагато поширеніше використання блоків живлення, що масово випускаються, з вихідною напругою із стандартного ряду (найбільш поширені значення – 12; 24; 36; 48; 54 і 72 В). Значення сили струму встановлюється струмообмежувальними резисторами, включеними послідовно з ланцюжками світлодіодів. При цьому доводиться миритися з втратами в струмообмежувальних резисторах.

**2. Зовнішні блоки живлення.** До використання зовнішніх блоків живлення прибігають в наступних ситуаціях:

- використання світлодіодних ламп типу Мг16;
- особливі вимоги по безпеці (наприклад, підвищена вологозахисність);
- дизайн світильника не дозволяє розмістити блок живлення усередині корпусу; використовується світлодіодна стрічка.

Світлодіодні лампи Мг16 випускаються як аналоги низьковольтних галогенних ламп. Більшість виробників в маркетингових цілях декларують можливість заміни галогенних ламп на світлодіодні у вже існуючих інсталяціях. При детальнішому знайомстві з рекламними матеріалами можна побачити «зірочку» напроти фрази «працюють з трансформаторами для галогенних ламп» і виноску, що не зі всіма, а лише з деякими із списку, затвердженого виробником ламп. Керівництво по експлуатації ламп йде ще далі і рекомендує використовувати спеціалізовані блоки живлення для світлодіодних ламп. Дійсно, в реальності забезпечити стійку роботу і яскраве світло вдається лише при використанні блоків живлення, спеціально спроектованих для світлодіодного освітлення. Інколи такі

пристрої жаргонно називають «світлодіодні блоки живлення». При заміні галогенних ламп Мг16 на світлодіодні можна використовувати наявну арматуру для кріплення і проводку, але трансформатор доведеться замінити на блок живлення для світлодіодних ламп.

Світлодіодний блок живлення можна пізнати по напису LED Driver, рідше LED Powersupply або LED Convertor на корпусі.

Також з метою виміру відхилень напруги від оптимального значення і дослідження впливів таких відхилень на роботу світлодіодів пропонуємо використовувати математичну модель, яка дозволить визначити оптимальне значення напруги  $\Delta U_*$  і, надалі, дозволить дати рекомендації по підвищенню якості напруги.

Припустимо, що критерій оптимізації, встановлення якого для оптимізації параметрів джерел світла (ДС) розглянуто в [8, 10], виражається функцією  $Q$ . Запишемо критерій оптимізації у функції напруги мережі. Для цього виразимо параметри світлодіодів, які входять в  $Q$  і залежать від напруги мережі, використовуючи відомий вираз:

$$N/N_{\text{ном}} = (U/U_{\text{ном}})^m, \quad (1)$$

де  $N$  – значення однієї з характеристик світлодіода при номінальній і відмінній від номінальної  $U$  напруги мережі. Щоб підвищити точність непрямого або прямого виміру параметрів світлодіода шляхом корекції погрішності від змін напруги мережі, а також автоматизувати виміри запропоновано вимірювати аргументи [2, 8, 10]:

$$H_{mk} = \int_0^{\Delta t_i} (U_k(t)/U_{\text{ном}})^m dt, \quad (2)$$

де  $k$  – індекс для позначення кроку регулювання напруги. При цьому, якщо  $m$  дорівнює значенню, що характеризує взаємозв'язок (1) між тривалістю горіння світлодіода і напругою мережі, то результат виміру  $H_{mk}$  дорівнює тривалості горіння світлодіодів з врахуванням змін напруги в мережі [3]. Якщо ж (1) характеризує взаємозв'язок між іншими параметрами (наприклад, електричними, світловими), то, використовуючи вимірювальну інформацію (2), фактичне значення параметра визначаємо із співвідношення

$$N = \frac{H_{mk}}{\Delta t_i} N_{\text{ном}}. \quad (3)$$

Підставляємо у вираз критерію оптимізації фактичні значення параметрів світлодіода. Для цього використовуємо виміряні аргументи (2). В результаті цього ми отримуємо:

$$Q_k = Q\left(H_{mk}, m = \{m_j, j = \overline{1, s}\}\right), \quad (4)$$

де  $Q_k$  – критерій оптимізації в режимі роботи світлодіода при  $k$ -му кроці регулювання напруги мережі;  $s$  – число залежних від напруги мережі параметрів світлодіода, що входять в критерій оптимізації. Наприклад, такими параметрами є тривалість горіння світлодіодів, їх потужність, світлові параметри та інші залежно від критерію оптимізації.

Проте, по (4) неможливо стверджувати, чи використовуємо освітлення ефективне, оскільки невідомо чи мінімальний (максимальний) критерій оптимізації [3]. Розглянуті питання мінімізації критерію оптимізації, проте викладене справедливо і при максимізації критерію. Виняток становить випадок стабілізації напруги мережі. Тоді рішення задачі не представляє особливих труднощів при визначенні відхилення напруги для його стабілізації. Це відбувається через те, що інформацію, достатню для визначення фактичних параметрів світлодіода після стабілізації з метою порівняти критерій оптимізації до  $(Q_k)$  і після  $(Q_{k+1})$  стабілізації, беремо безпосередньо з паспортних даних обмежувача напруги. Прикладом цьому може бути викладене в [2, 6, 7, 9]. Тут в основному потрібна точність знаходження фактичних тривалості горіння і потужності світлодіода при нестабілізованій напрузі мережі, що досягається шляхом виміру аргументів  $H_{mk}$  (2). Проте, якщо використовується інший спосіб зміни напруги мережі, наприклад, найпоширеніший – за допомогою відгалужень  $T$ , то слід: довести відповідність набутого значення  $Q_k$  мінімуму, оскільки тоді побічно вимірюване відхилення напруги від оптимального дорівнює нулю і не треба регулювати напругу мережі; якщо  $Q_k$  не відповідає мінімуму, то необхідно визначити, на скільки потрібно змінити напругу мережі. Для цього пропонуємо наступне. Запишемо вираз для аргументів, що входять в критерій оптимізації, з врахуванням передбачуваної зміни напруги мережі. Виходячи з умови паралельного зсуву напруги мережі [11], наприклад, при перемиканні відгалужень  $T$ , і використовуючи (2), маємо:

$$H_{m(k+1)} = \int_0^{\Delta t_i} \left( U_k(t)/U_{\text{НОМ}} + \Delta U_* \right)^m dt, \quad (5)$$

де  $H_{m(k+1)}$  – аргумент в  $(k+1)$ -му режимі роботи світлодіода. При цьому  $\Delta U_* = \Delta U/U_{\text{НОМ}}$  є таким відхиленням, що якщо на його величину змінити напругу мережі, то досягнемо ефективного використання освітлення. Розкладемо підінтегральний вираз правої частини (5) в ряд Тейлора:

$$\begin{aligned} & \int_0^{\Delta t_i} \left( U_k(t)/U_{\text{НОМ}} + \Delta U_* \right)^m dt = \\ & = \int_0^{\Delta t_i} \left( U_k(t)/U_{\text{НОМ}} \right)^m dt + m\Delta U_* \int_0^{\Delta t_i} \left( \frac{U_k(t)}{U_{\text{НОМ}}} \right)^{m-1} dt + \\ & + \frac{m(m-1)}{2!} (\Delta U_*)^2 \int_0^{\Delta t_i} \left( \frac{U_k(t)}{U_{\text{НОМ}}} \right)^{m-2} dt + \dots \quad (6) \end{aligned}$$

Аналіз (6) показує, що на основі вимірних аргументів

$$H_{mvk} = \int_0^{\Delta t_i} \left( U_k(t)/U_{\text{НОМ}} \right)^{m-v} dt, \quad v = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

У  $k$ -ом режимі роботи світлодіода можна передбачити значення аргументів  $H_{m(k+1)}$ , а відповідно і параметрів світлодіода, наприклад, світлового потоку, тривалості горіння, потужності після регулювання напруги мережі для  $(k+1)$ -го режиму.

Кількість вимірюваних аргументів  $H_{mvk}$  і відповідно членів ряду Тейлора з (6) залежить від показника степеню  $m$ , необхідної точності визначення кожного з аргументів  $H_{m(k+1)}$  і погрешності виміру аргументів  $H_{mvk}$ . В силу апріорі відомих аргументів  $H_{mvk}$ , використовуючи (4), (6) і (7), можна записати:

$$Q_{(k+1)} = Q \left( H_{mvk}|_{v=0}, m\Delta U_* H_{mvk}|_{v=1}, \frac{m(m-1)}{2!} (\Delta U_*)^2 H_{mvk}|_{v=2}, m = \{m_j, j=1, s\} \right). \quad (8)$$

Рівняння (8) є початковим для встановлення залежності між вимірюваними аргументами  $H_{mvk}$  і побічно вимірюваними відхиленнями напруги від оптимального  $\Delta U_*$ . При мінімізації критерію оптимізації  $Q_{(k+1)}$  (8) у функції  $\Delta U_*$  остаточно отримаємо вираз для визначення  $\Delta U_*$ .

Аналіз (8) показує, що останнє є рівнянням з одним невідомим –  $\Delta U_*$ . Із зіставлення (4) і (8) видно, що для визначення критерію оптимізації  $Q_k$  досить вимірювати аргументи, що враховують вплив напруги мережі на входні в критерій оптимізації параметри світлодіода, тобто  $H_{mk}$ , що рівнозначно  $H_{mvk}|_{v=0}$ . Проте, якщо треба передбачити значення критерію оптимізації  $Q_{(k+1)}$  і визначити  $\Delta U_*$ , потрібно додатково виміряти аргументи  $H_{mvk}|_{v>0}$  (7).

Пропонований метод відрізняється тим, що критерій оптимізації визначають не у нинішній момент часу, а за інтервал часу  $[0, \Delta t_i]$ . Завдяки виміру аргументів  $H_{mvk}$  за інтервал  $\Delta t_i$  і подальшому використанню вимірювальної інформації для мінімізації критерію оптимізації, можна говорити про постійність знайденого мінімального значення за інтервал завдовжки  $\Delta t_i$  у прогнозованому періоді [3].

Варіюючи  $\Delta U_*$  при мінімізації  $Q_{(k+1)}$ , враховують обмеження, встановлення яких залежить від постановки завдання. Такими обмеженнями можуть бути нормований рівень освітленості, діапазон зміни напруги мережі. Залежно від вигляду функції критерію оптимізації і обмежувачих умов прийнятний як аналітичний, так і чисельний методи розрахунку.

## Висновки

Стаття присвячена рішення науково-практичної задачі підвищення якості напруги та зменшенню впливу напруги на роботу світлодіодних джерел світла. Основні висновки:

1. Незважаючи на численну кількість переваг в порівнянні з уже відомими джерелами світла світлодіоди не мають широкого поширення. Це пов'язано з відсутністю методик по дослідженню та покращенню робочих характеристик світлодіодів. Наявність в них електронного перетворювача у поєднанні з нелінійністю характеристик самих світлодіодів обумовлюють спотворення кривих напруги і струму, який споживається з мережі і, як наслідок, протікання по елементах мережі вищих гармонік напруги, яка, у свою чергу, негативно впливає на роботу всієї ЕЕС.

2. Для світлодіода важливішою є сила струму, який через нього протікає, ніж напруга, що підводить-

ся до нього. Теоретично потрібно стабілізувати саме струм. Але на практиці стабілізатори струму використовуються вкрай рідко. Доцільніше використання блоків живлення, які випускаються масово, з вихідною напругою зі стандартного ряду. Значення сили струму встановлюється струмообмежувальним резистором.

3. Для кожного світлодіода існують допустимі значення напруги живлення  $U_{\max}$  і  $U_{\maxзв}$  (відповідно для прямого і зворотного включень). Головною нашою задачею є дотримання цих значень. При подачі напруги, яка більше встановлених  $U_{\max}$  і  $U_{\maxзв}$  настає електричний пробій, в результаті якого світлодіод виходить зі строю. Існує і мінімальне значення напруги живлення  $U_{\min}$ , при якому спостерігається свічення світлодіода. Діапазон живлячої напруги між  $U_{\min}$  і  $U_{\max}$  називається «робочою» зоною, оскільки саме тут забезпечується робота світлодіода.

4. Розроблена математична модель дозволяє стабілізувати напругу та підтримувати її значення в «робочій» зоні.

5. На основі аналізу математичних досліджень можна передбачити, що в установленому режимі взаємозв'язок параметрів світлодіодних джерел світла з напругою мережі описується в загальному вигляді степеневим рядом [3]

$$\frac{N}{N_{\text{ном}}} = \sum_{i=0}^n d_i \left( \frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^{m_i}$$

### Список літератури

1. Аберсон М.Л. Оптимизация регулирования напряжения / М.Л. Аберсон. – М.: Энергия, 1975. – 160 с.
2. Анчарова Т.В. Об экономической эффективности применения ограничителей напряжения в промышленных осветительных сетях / Т.В. Анчарова // Межвузовск. Сб. тр.: Моск. энерг. ин-т. – 1982. – № 7. – С. 143-147.

3. Биленький И.Т. Метод измерения отклонений напряжения сети / И.Т. Биленький, Н.П. Карпинский, В.А. Кочан // Светотехника. – 1986. – С. 149-153.

4. Климова Г.Н. Энергосбережение промышленных предприятий / Г.Н. Климова. – Изд-во ТПУ, 2011. – 221 с.

5. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1984. – 833 с.

6. Кунгс Я.А. Автоматизация управления и регулирования напряжения в осветительных установках / Я.А. Кунгс, П.М. Твердовский. – М.: Энергия, 1979. – 127 с.

7. Кунгс Я.А., Твердовский П.М. Экономические предпосылки применения ограничителя напряжения в сетях электрического освещения промышленного предприятия / Я.А. Кунгс, П.М. Твердовский // Промышленная энергетика. – 1976. – № 10. – С. 44-46.

8. Кунгс Я.А. О выборе расчетного напряжения ламп накаливания / Я.А. Кунгс, Ю.М. Тюханов // Светотехника. – 1984. – № 8. – С. 20-21.

9. Кунгс Я.А. Экономия электрической энергии в осветительных установках / Я.А. Кунгс, М.А. Фаермах. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.

10. Литвинов В.С. Принципы оптимизации параметров источников света массового применения / В.С. Литвинов // Науч. тр. МЭИ, 1975. – Вып. 253. – С. 42-48.

11. Маркушевич Н.С. Качество напряжения в городских осветительных сетях / Н.С. Маркушевич, Л.А. Солдаткина. – М.: Энергия, 1975. – 256 с.

12. Сапрыка А.В. Повышение энергоэффективности осветительных комплексов с учетом качества электрической энергии / А.В. Сапрыка. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 126 с.

13. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.

14. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [electrolibrary.narod.ru](http://electrolibrary.narod.ru).

15. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [adex.ru](http://adex.ru).

16. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [ovgr.ru](http://ovgr.ru).

Надійшла до редколегії 28.10.2011

Рецензент: канд. техн. наук, доц. П.Ф. Буданов, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Е.В. Довбня, О.Ю. Егорова

Существенное влияние на работу всех источников света, в том числе и на работу светодиодов, имеет значение такого показателя качества электрической энергии, как напряжение. Отсутствие методик по исследованию влияния напряжения на рабочие характеристики светодиодов и по уменьшению негативного влияния предопределяет нечастое применение светодиодов в современных системах освещения. Именно этим и вызвана необходимость в оценке влияния напряжения на работу светодиодов и стабилизации отклонений напряжения. Решение данного задания позволит увеличить уровень использования светодиодов в системах освещения, и, как следствие, снизить потребление электроэнергии. В данной статье рассмотрим вопрос использования блоков питания в светодиодных модулях, целью которого является стабилизация напряжения, а также предложим математическую модель стабилизации напряжения для светодиодов.

**Ключевые слова:** светодиод, напряжение, блок питания, стабилизация напряжения, критерий оптимизации напряжения.

### RESEARCH OF INFLUENCE OF REJECTIONS OF TENSION ON WORK OF LIGHT-EMITTING-DIODE SOURCES OF LIGHT

E.V. Dovbnia, A.Y. Egorova

Substantial influence on work of all sources of light, including to work of light-emitting diodes, matters, as tension such index of quality of electric energy. Absence of methods on research of influence of tension on workings descriptions of light-emitting diodes and on diminishing of negative influence predetermines infrequent application of light-emitting diodes in the modern systems of illumination. Exactly by it and a necessity is caused for the estimation of influence of tension on work of light-emitting diodes and stabilizing of rejections of tension. The decision of this task will allow to increase the level of the use of light-emitting diodes in the systems of illumination, and, as a result, to reduce the consumption of electric power. The decision of this task will allow to increase the level of the use of light-emitting diodes in the systems of illumination, and, as a result, to reduce the consumption of electric power. In this article will consider the question of the use of the power in the light-emitting-diode modules, the purpose of which is stabilizing of tension, modules, and also will offer the mathematical model of stabilizing of tension for light-emitting diodes.

**Keywords:** light-emitting diode, tension, power module, stabilizing of tension, criterion of optimization of tension.