

УДК 628.93.729.391.1

О.Ю. Поліщук, асп.,
Ю.В. Рой, асп.,
В.М. Поліщук, канд. техн. наук

*Харківська національна академія
 міського господарства*

ІМПУЛЬСНО - ФАЗОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

Створення енергоефективних систем освітлення неможливо без застосування сучасних методів регулювання режимами їх роботи. Заощаджувати електроенергію, яка споживається освітлювальними установками (ОУ) можливо за рахунок відключення в нічний час, коли зменшується число транспортних засобів і пішоходів, - частини джерел світла або світильників. Однак така практика суперечить рекомендації МКО щодо якості освітлення, оскільки призводить до підвищення контрастності і, як наслідок, до зорової втоми пішоходів і водіїв та зниження безпеки пересування. В теперішній час розроблені загальноєвропейські стандарти якості освітлення DALI та DMX, що дають змогу адресно керувати ОУ, програмуючі режими їх роботи як в ручному, так і в автоматичному режимах.

Важливими вимогами до роботи сучасних керованих ОУ, крім забезпечення нормованих рівней освітленості і створення комфортних та безпечних умов функціонування об'єктів міського господарства незалежно від пори року та часу доби, є також відповідність:

- світлотехнічним стандартам;
- електротехнічним стандартам;
- вимогам надійності та безпеки;
- забезпечувати швидку окупність.

Без врахування цих важливих вимог ніяка система керованого освітлення не може бути впроваджена.

Регулювання освітленості ОУ може здійснюватись дискретно або повільно, - в залежності від прийнятого способу керування режимами живлення освітлювальних приладів. На відміну від прийнятого в СНД способу дискретного регулювання, яке реалізується відключенням частини джерел світла або світильників в нічний час, що створює при цьому різко нерівномірне освітлення, яке негативно впливає, наприклад, на роботу транспортних засобів, збільшуючи їх аварійність [1], - більш ефективними методами керування режимами роботи ОУ, є системи повільного регулювання освітлення по заданій програмі, (або в залежності від рівня зовнішнього освітлення), які забезпечують рівномірний розподіл освітленості робочих поверхонь у всьому діапазоні регулювання.

Внаслідок ряду технічних та економічних факторів в Україні та в СНД системи автоматичного керування освітленням не знайшли широкого впровадження, в той час як на Заході вони широко використовуються. Так, наприклад, в ФРН до 80% всіх ОУ мають системи автоматичного керування рівнем освітленості [3]. Зокрема, розроблені і впроваджені в комплекс інженерного обладнання приміщень цифрові інтелектуальні

системи світлорегулювання, які дають змогу здійснювати на протязі доби динаміку світлового середовища в залежності від інтенсивності природного освітлення, економлячи при цьому від 20% до 50% електроенергії, порівняно з нерегулюємими ОУ. Це пояснюється також і тією обставиною, що в нерегулюємих ОУ для компенсації коефіцієнту спаду світлового потоку лампи в процесі горіння, який досягає 0,6-0,8 від початкового рівня, встановлюють рівень напруги живлення на 30% вищій, за номінальний, що приводить до значної перевитрати електроенергії. Використання систем автоматичного регулювання режимами ОУ дає змогу відмовитись від такої методики і, крім економії електроенергії, одночасно суттєво (майже удвічі) збільшити строк служби розрядних ламп (РЛ) [4]. Проведені розрахунки і дослід експлуатації таких установок за кордоном переконливо доводить, що економія електроенергії складає при цьому більш ніж 50% , що дає змогу відшкодувати витрати на впровадження таких керованих ОУ на протязі 1,5 – 2 років [5].

Дослід експлуатації таких установок за кордоном довів, що економічно більш вигідною є централізована система керування, при якій пускорегулюючі апарати (ПРА) в світильниках регулюються за допомогою одного силового блока [6]. Таки системи можуть бути укомплектовані стандартними пультами керування, завдяки чому велика кількість світильників може керуватись від одного блока по команді з лінії, або таймером по астрономічному календарному часі. При цьому центральний блок управління встановлюється на стороні електророзподільного пристрою і налаштовується на забезпечення нормованого рівня освітленості. Від нього сигнали управління поступають на регулятори потужності джерел світла (ДС). При цьому всі світильники комплектуються стандартними електромагнітними баластами і запалюючими пристроями для розрядних ламп високого тиску (РЛВТ). У випадку використання РЛВТ типу ДНат, така система дає змогу регулювати світловий потік в межах від 100% до 50%, що відповідає зміні потужності від 100% до 65% [5].

Дискретне регулювання режимами ОУ може здійснюватись завдяки використанню баластних дроселів з відводами, які приєднуються до мережі за допомогою контактів реле або тиристорів. Але для реалізації такої системи регулювання необхідні додаткові проводи для передачі команд управління.

Більш перспективною є система регулювання режиму шляхом зміни форми напруги живлення. РЛ. Потужність, що споживають лампи, може регулюватись, якщо вони живляться через баласты індуктивного типу і не містять в колах живлення баластних конденсаторів. При цьому компенсація коефіцієнта потужності може здійснюватись на стороні живлячої мережі, де розташований регулятор потужності. Другою важливою перевагою цього методу є те, що на відміну від всіх інших методів, де в процесі регулювання режимів суттєво змінюється кольорова температура і індекс кольоропередачі випромінювання, - при регулюванні зміною форми напруги живлення практично не відбувається зміна кольорових характеристик випромінювання. Крім того, при визначенні найбільш ефективного способу управління світловим потоком ламп, необхідно враховувати ступень лінійності робочої характеристики. Вибір оптимальної схеми керування ОУ повинен здійснюватись на базі комплексного врахування усіх цих факторів.

Позитивним результатом роботи регуляторів з електромагнітними ПРА і нестандартною формою струму, - є також, підвищена світлова віддача в режимі повільного світлорегулювання. Зокрема, при зниженні світлового потоку на 50% споживання електроенергії складало лише 45% [6].

Керування світловим потоком ОУ шляхом зміни електричного режиму роботи розрядних ламп (РЛ), одним з двох методів – дискретним або повільним. призводить до різних фізичних процесів в газовому розряді лампи і її світловіддачі, і в той же час,

висуває відповідні умови до схемотехніки побудови самого регулятора, - тому виникає необхідність в проведенні аналізу імпульсно-фазового методу з метою визначення оптимальних параметрів елементів схеми і режимів регулювання.

На рис. 1 наведена схема, яка реалізує імпульсно-фазове регулювання режиму роботи РЛВТ в ОУ зовнішнього освітлення з дросельним (L_o) підтриманням розряду в лампі (при вимкненому симісторі VS); де i_l , u_l – струм і напруга на лампі; u – напруга мережі; ψ , γ – кути ввімкнення та провідності симістора VS; ω – частота живлячої напруги; n – кількість ламп в ланцюгу регулятора; ПБК – програмний блок керування.

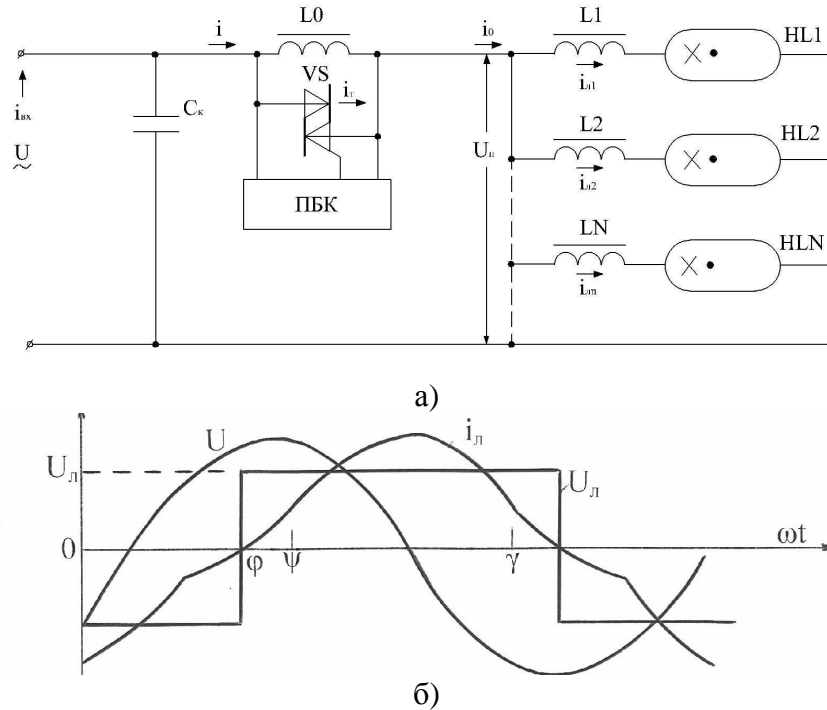


Рис.1, а - схема імпульсно-фазового регулювання режиму роботи РЛВТ;
б- діаграми роботи схеми.

Аналіз роботи схеми будемо проводити при наступних припущеннях:

- розрядні лампи мають ідентичні параметри;
- струми в паралельно з'єднаних лампах однакові: $i_{l1} = i_{l2} = i_{l3} = \dots = i_{ln}$;
- дроселі L1-LN – без активних втрат і з лінійною індуктивністю;
- форма напруги u_l на лампах – прямокутна з амплітудою U_l .

При ввімкненні напруги живлення, симістор VS ввімкнений і на лампу подана повна мережна напруга, завдяки чому в ній запалюється розряд. В цьому стані відбувається імпульсно-фазове регулювання тривалості провідного стану симістора VS на протязі напівперіода мережної напруги.

В діапазоні кутів $\varphi \leq \omega t \leq \psi$ симістор VS відключений і струм дроселя L_o зростає від 0 до I_o . Цей процес може бути описаний рівняннями [1]:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi) = (L_o + L/n) di/dt + U_l; \quad (1)$$

$$i_l = i/n, \quad u_n = u - L_o(di/dt),$$

тут u_n – напруга на виході схеми, i – струм навантаження.

Рішення рівнянь при нульових початкових умовах: $i(0) = 0$ має вигляд:

$$i = I_{m0} [\cos \varphi - \cos(\omega t + \varphi) - v \omega t], \quad (2)$$

$$u_n = (U_m - \omega L_o I_{m0}) \sin(\omega t + \varphi) + v \omega L_o I_{m0}, \quad (3)$$

тут амплітуда струму $I_{m0} = U_m / [\omega(L_o + L/n)]$, $v = U_l / U_m$.

Складова середньої величини струму навантаження i , який протікає в ланцюгу схеми регулювання в діапазоні кутів роботи симістора: $\varphi \leq \omega t \leq \psi$ дорівнює:

$$I_{cp1} = 1/\pi \int_0^{\psi-\varphi} i \cdot d\omega t = I_{m0}/\pi[(\psi - \varphi)\cos\varphi - \sin\psi + \sin\varphi - v(\psi - \varphi)^2/2]. \quad (4)$$

Величина струму i наприкінці діапазону $\varphi \leq \omega t \leq \psi$ роботи симістора VS:

$$I_o + I_{m0}[\cos\varphi - \cos\psi - v(\psi - \varphi)]. \quad (5)$$

В інтервалі кутів $\psi \leq \omega t \leq \gamma$ симістор VS ввімкнутий і процеси в схемі можна описати рівняннями:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi) = (L/n) di/dt + U_L; \quad (6)$$

$$i = i_o + i_r; \quad i_o = I_o; \quad i_L = i/n; \quad u = u_H.$$

Рішення цих рівнянь з врахуванням початкових умов $i(0) = I_o$ знаходимо у вигляді:

$$i = I_o + I_m[\cos\psi - \cos(\omega t + \psi) - v\omega t], \quad (7)$$

$$\text{де } I_m = n \cdot U_m / (\omega L).$$

За час $t_a = (\pi/2 - \arcsin v)/\omega$ струм i зростає до величини амплітудного значення I_{max} . При цьому, складова середньої величини струму i для діапазону кутів $\psi \leq \omega t \leq \gamma$ дорівнює:

$$I_{cp2} = 1/\pi \int_0^{\gamma-\psi} i \cdot d\omega t = I_m/\pi[(\gamma - \psi)\cos\psi - \sin\gamma + \sin\psi - v(\gamma - \psi)^2/2 + I_o/\pi(\gamma - \psi)]. \quad (8)$$

При зменшенні струму i до величини I_o , яке відбувається за час $t_{zm} = (\gamma - \psi)/\omega$, симістор VS вимикається і в діапазоні кутів $\gamma \leq \omega t \leq \varphi + \pi$ він знаходиться у вимкненому стані. При цьому, струм i в дроселі L_o зменшується від величини I_o до нуля. Величину кута γ можна визначити з рівняння $i = I_o$ і вона приблизно дорівнює: $\gamma \approx \pi - 2(\psi - \varphi)$.

Цей процес може бути описаний при раніше вказаних початкових умовах $i(0) = I_o$ рівняннями:

$$u = U_m \sin(\omega t + \gamma) = (L_o + L/n) di/dt + U_L; \quad (9)$$

$$i_L = i/n, \quad (10) \quad u_H = u - L_o(di/dt). \quad (11)$$

Рішення цих рівнянь шукаємо у вигляді:

$$i = I_o + I_{m0}[\cos\gamma - \cos(\omega t + \gamma) - v\omega t], \quad (12)$$

$$u_H = (U_m - \omega L_o I_{m0}) \sin(\omega t + \gamma) + v\omega L_o I_{m0}. \quad (13)$$

Для даного діапазону кутів $\gamma \leq \omega t \leq \varphi + \pi$ складова середньої величини струму i , визначається з виразу:

$$I_{cp3} = (1/\pi) \int_0^{\gamma+\varphi} i d\omega t = (I_{m0}/\pi)[(\pi + \varphi - \gamma)\cos\gamma + \sin\varphi + \sin\gamma - v(\pi + \varphi - \gamma)^2/2]. \quad (14)$$

Середня величина струму в ланцюгу регулювання визначається як сума складових за весь цикл роботи симістора:

$$I_{cp} = I_{cp1} + I_{cp2} + I_{cp3}, \quad (15)$$

і знаходиться в межах: $I_{cpmin} \leq I_{cp} \leq I_{cpmax}$.

Мінімальна величина середнього струму відповідає вимкненому стану симістора VS:

$$I_{cpmin} = 2aI_{m0}/\pi. \quad (16)$$

Максимальний середній струм протікає при ввімкненому симістрі:

$$I_{cpmax} = 2aI_m/\pi, \quad (17)$$

де параметр $a = \sqrt{1 - (\pi v / 2)^2}$.

Величину середнього струму регулятора можна визначити через параметри схеми у довільних одиницях: $1 \leq I_{cp}/I_{cpmin} \leq 1 + nL_o/L$.

З міркувань технологічності схеми, величину індуктивності підтримуючого дроселя L_o доцільно брати рівної індуктивності баластного дроселя розрядних ламп: $L_o = L$, що

також відповідає номінальному режиму роботи схеми імпульсно-фазового регулятора.

Приведена на рис.2 експериментальна залежність світлового потоку Φ^* від величини діючого струму $I^*_{вх}$ для РЛ типу ДНат-400 Вт свідчить, що при зниженні

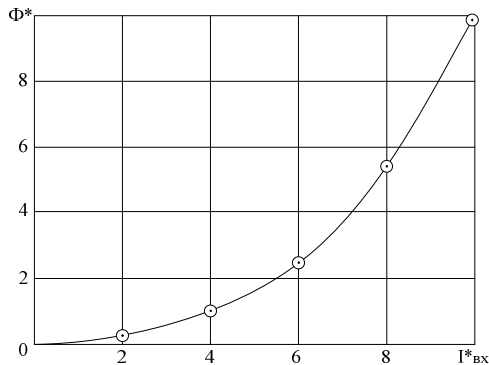


Рис.2 – Експериментальна залежність світлового потоку Φ^* РЛВТ від величини струму навантаження $I^*_{вх}$ (в довільних одиницях).

визначити діапазон їх раціонального застосування.

величини струму майже на 35%, світловий потік РЛ зменшується в два рази, що свідчить про ефективність даного методу регулювання режимами роботи ОУ для забезпечення нормованого рівня освітленості і одночасно суттєвої економії електроенергії. При зниженні світлового потоку на 50% споживання електроенергії складало лише 45%.

Отримані в результаті проведеного аналізу перехідних комутаційних процесів при імпульсно-фазовому регулюванні співвідношення, дають змогу розрахувати параметри схеми регулятора режимів ОУ для ламп РЛВТ різної потужності і

Література

- 1.Поскребко А.А. Бесконтактные коммутационные и регулирующие полупроводниковые устройства. // М. - Энергия. - 1989. - 362 с.
- 2.Краснопольский А.Е., Соколов В.Б. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп // М.: Энергоатомиздат. - 1999. - 207 с.
- 3.Бенцигер Т.Д. Светорегулирование в осветительных системах // Светотехника. - 2002. - №1. - С.27-30.
4. Соловьев А.К. Автоматическое регулирование искусственного освещения и его эффективность // Светотехника. - 1999. - №5. - С.2-5.
5. Marx P., Karstadt B., Albert D. A dimmable Electronic HF-Ballast for Fluorescent Lamps. Luxeuropa. April / 1999. p.87-90.
6. Фомин Ф.Г. Системы автоматизированного управления освещением общественных зданий. // Новости светотехники. Дом света. - М. - 1998. - 231 с.
7. INTELUX Manual Edition // 9906D, Page 17.

ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМАМИ РОБОТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

О.Ю. Полищук, Ю.В. Рой, В.Н. Полищук

Анализируется возможность использования импульсно-фазового метода регулирования режимами работы осветительных установок внешнего освещения с целью оптимизации светотехнических и электротехнических параметров и повышения их энергоэффективности.

IMPULSIVE-PHASE ADJUSTING BY THE MODES ROBOTS OF LIGHTING OPTIONS

O.U. Polishchuk, U.V. Roy, V.N. Polishchuk

Possibility of the use of impulsive-phase method of adjusting by the modes of operations of lighting options of external illumination is analyzed with the purpose of optimization of Lighting engineering and power engineering parameters and rise of them energy efficient.