

## Висновки

Отримані результати підтверджуються (точніше – не суперечать) відомим фактам: найменший рівень інфляції має місце в таких країнах, як Японія, США, Канада і країни Західної Європи.

Робота спрямована на дослідження природи деяких аспектів грошових відносин і, таким чином, не припускає безпосереднє практичне застосування. Проте це не означає, що вона позбавлена практичного потенціалу. Навпаки, фундаментальні знання, як морально нейтральні, надають можливість прикладним науковцям скористатися ними для різних цілей, у тому числі і взаємовиключних.

Крім розглянутих, існує безліч інших економічних і неекономічних явищ, які допустимо трактувати як причини інфляції. Наведені тут методи дають змогу зацікавленим

дослідникам провести каузальний аналіз цих причин.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Вугальтер А.Л. Ваше открытие общества. или философский вояж. – К.: March-A, 1995.
2. Вугальтер А.Л. Логика общественно-экономического процесса. – К.: Ника-Центр, 1999.
3. Вугальтер А.Л. Фундаментальная экономия. Динамика. – М.: Экономика, 2007.
4. Вугальтер А.Л. Понятие и расчет коэффициента инноваций. // Экономика Украины: стратегічне планування. – К.: НДЕІ Мінекономіки України, 2008. – С. 401–404.
5. Вугальтер О.Л. Про природу грошово-кредитної циклічності. (Грошово-кредитні відносини). // Экономика Украины: глобальні виклики та національні перспективи. – К.: НДЕІ Мінекономіки України, 2009. – С. 47–69.
6. Вугальтер О.Л. Порівняльне макроекономічне прогнозування // Науково-технічна інформація. – 2011. – №4. – С. 14–18.
7. Мишкин Ф.С. Экономическая теория денег, банковского дела и финансовых рынков / Мишкин Ф.С.; пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006.
8. Оре О. Графы и их применение / ОреО.; пер. с англ. – М.: Мир, 1965.

УДК 620.9.004.18

## ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ СВІТЛОДІОДНІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ



**В.Б. Корбут,**  
**М.Г. Ієвлєв, канд. техн. наук,**  
**В.Г. Бутко**

**Актуальність проблеми.** Одним із суттєвих напрямів енергозберігаючої політики України є економія електроенергії на освітлення. Із всієї електроенергії на освітлення в Україні витрачається близько 30%.

За останні роки досягнення в галузі фізики і оптоелектроніки сприяли створенню світлодіодних джерел світла з енергоефективністю, що ввосьмеро-вдванадцяттеро перевищує енергоефективність ламп розжарювання і енергоефективність газорозрядних ламп.

Згідно з прогнозами закордонних експертів

у найближчі роки світлодіоди здебільшого замінять звичайні лампи, використання яких буде заборонено законодавством. У провідних країнах світу масово випускаються світлодіодні освітлювальні прилади, які здатні повністю замінити менш ефективні лампи розжарювання і газорозрядні лампи.

Упровадження в Україні світлодіодних джерел світла сприятиме значному зменшенню витрат на освітлення (до 10–15% від загальних витрат електроенергії). Задача розроблення і організації виробництва світлоді-

одних джерел світла й освітлювальних систем на їхній основі передбачається Державною цільовою науково-технічною програмою «Розробка і впровадження енергозберігаючих світлодіодних джерел світла та освітлювальних систем на їх основі» на 2009–2015 рр. [1].

**Мета статті** – дослідження ключових технічних рішень у системах світлодіодного освітлення.

**Виклад основного матеріалу.** Сформулюємо загальні вимоги до системи світлодіодного освітлення.

Для того, щоб система світлодіодного освітлення приміщень (ССОП) могла реалізувати необхідні режими штучного освітлення: робочий нормативний (РРН), черговий (РЧ), евакуаційний (РЕ), а також робочий повсякденний (РПП), вона має забезпечувати [2]:

- світловий потік, достатній для створення на рівні підлоги освітлювальних умов, нормованих для даного класу приміщень;
- необхідну діаграму спрямованості (зону освітлення) освітлювальних приладів за їхньої мінімальної кількості для заданих розмірів приміщення;
- мале, у порівнянні з традиційними освітлювальними приладами, енергоспоживання у разі одночасного виконання перших двох вимог;
- можливість (при потребі) управління яскравістю освітлювальних приладів;
- можливість управління кожним освіт-

лювальним приладом (індивідуально або посекеційно) від датчиків руху;

- простоту монтажу і обслуговування освітлювальних приладів;
- можливість використання проводки, що існує на об'єкті, для живлення освітлювальних приладів.

Вимоги, перераховані вище, дійсні і для світлодіодних систем зовнішнього (ССОЗ), у тому числі і декоративного (ССОД), освітлення [3]. Ці системи мають один режим роботи: вони або включені, або виключені. Але деякі системи декоративного підсвічування потребують динамічного управління яскравістю і кольором, для чого використовуються так звані контролери DMX.

Кожна система світлодіодного освітлення містить у собі: джерела світла (світлодіоди), розміщені у відповідному конструктиві; джерела живлення, які можуть бути розміщені в тому ж конструктиві або окремо; прилади управління; прилади комутації і з'єднувальні дроти. Залежно від призначення вони можуть живитися від мережі постійного або змінного струму різної напруги. Відповідно, такі системи мають різні структурні схеми.

**Структурні схеми систем світлодіодного освітлення.** Найпростішою структурою є одиночний світлодіодний світильник із вбудованим джерелом живлення (рис. 1).

На рисунку показаний перетворювач змінної напруги в постійну (AC/DC), який працює

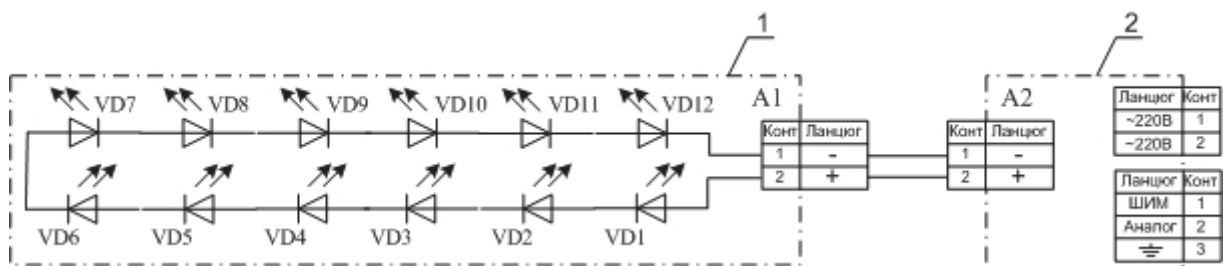


Рис. 1. Світлодіодний світильник із вбудованим джерелом живлення:

1 – модуль світлодіодний; 2 – AC/DC перетворювач у режимі «стабілізований струм»

в режимі «стабілізований струм», але може бути використаний і перетворювач постійної напруги в постійну (DC/DC). Потужність і вихідна напруга перетворювача вибираються відповідно до кількості світлодіодів у модулі. Перетворювач не має входів для управління струмом через світлодіоди. На основі цієї структури створюються системи освітлення з індивідуальним живленням (рис. 2).

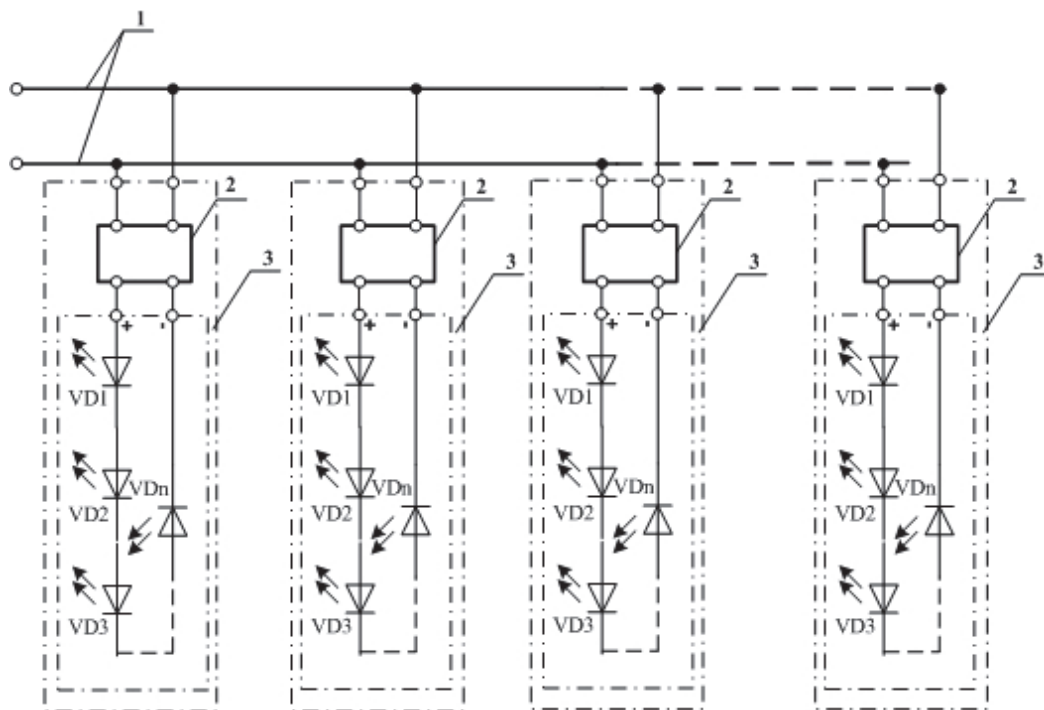
Перевага такої структури в тому, що окремі світильники встановлюються на місця світильників з традиційними джерелами світла і освітлювальна мережа не потребує доробок. Ця структура характерна також для систем зовнішнього освітлення, у тому числі для декоративного архітектурного і садово-паркового підсвічування. В останніх двох випадках освітлювальна мережа створюється окремо для кожного об'єкта. Різновидом такої структури є система салонного освітлення вагонів метрополітену (рис. 3).

Відмінність цієї структури від попередньої полягає в тому, що перетворювач АЗ

має ручне регулювання струму через гілки світлодіодів А1 і А2. Це дає змогу регулювати яскравість кожного з десяти світильників, забезпечуючи потрібну освітленість у заданій площині вагона. Усі світильники вагона об'єднані у дві групи (сім – основного і три – аварійного освітлення), у межах яких вони включені паралельно. Усі світильники живляться від бортової мережі вагона напругою постійного струму +80 В.

Вищезазначені системи світлодіодного освітлення не задовольняють усіх перерахованих вимог, оскільки не можна змінювати вручну чи автоматично освітленість приміщень, які вони освітлюють.

Структура, показана на рис. 4, доповнена пристроєм керування, що надає можливість у широких межах змінювати яскравість світильників, які входять у систему. Режими штучного освітлення РРН, РЧ, РЕ, РРП можуть змінюватись автоматично залежно від астрономічного часу і пори року. Пристрій керування освітленням може бути електроне-



**Рис. 2. Система освітлення з індивідуальним живленням:**

**1 – мережа змінного або постійного струму; 2 – перетворювач AC/DC або DC/DC в режимі «стабілізований струм»; 3 – джерела світла**

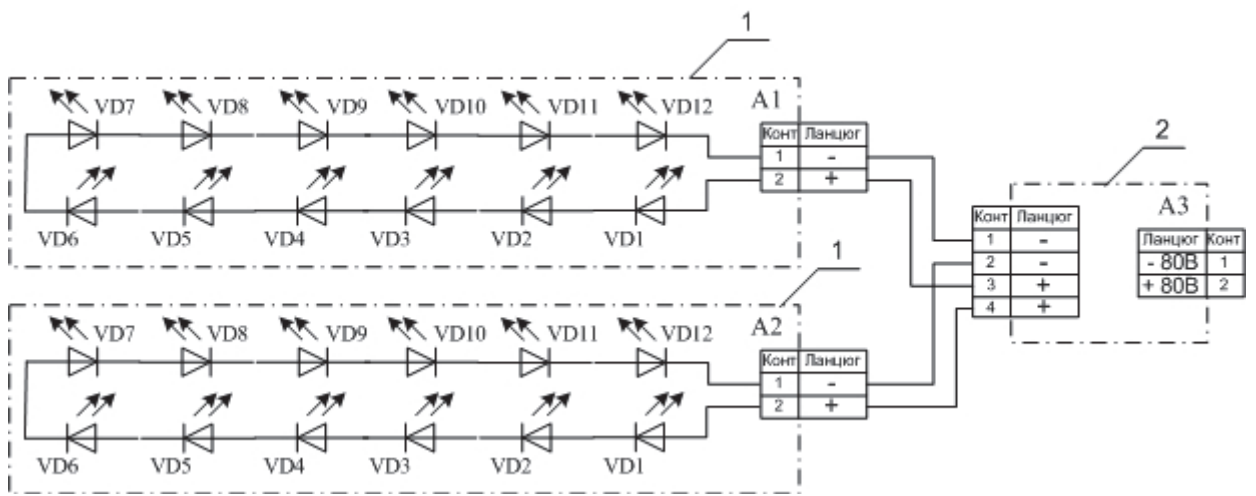


Рис. 3. Система салонного освітлення вагонів метрополітену:

1 – модуль світлодіодний лінійний; 2 – DC/DC перетворювач в режимі «стабілізований струм»

ханічним, але більшу гнучкість забезпечують програмовані контролери.

Система з керуванням освітленістю відповідає всім вищевказаним вимогам, але в порівнянні з більш простими системами вона дорожча (за рахунок вартості джерел

живлення, монтажу й обслуговування). Так, вартість джерел живлення, які мають входи для плавного зниження яскравості (dimming), на 15–20% більше, ніж у звичайних, а вартість монтажних робіт збільшується через необхідність прокласти до кожного світильника

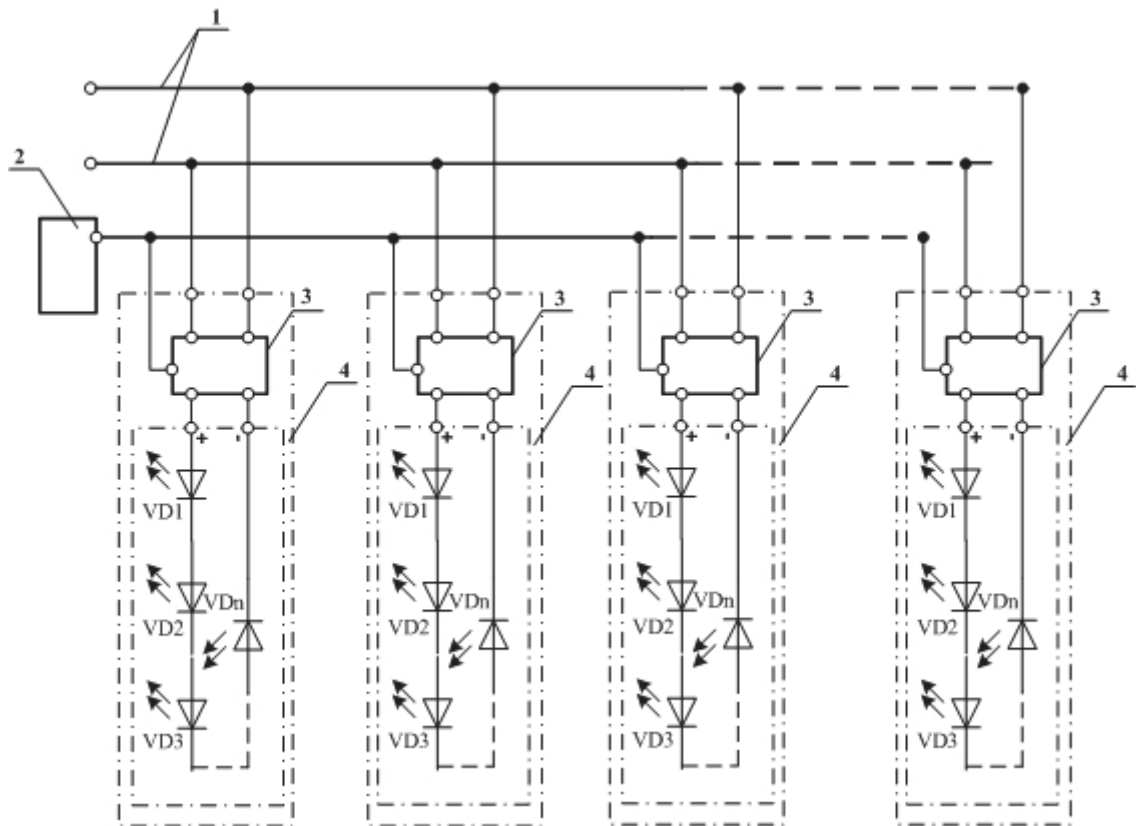


Рис. 4. Структура, яка надає можливість змінювати яскравість світильників:

1 – мережа змінного або постійного струму; 2 – пристрій керування; 3 – перетворювач AC/DC або DC/DC в режимі «стабілізований струм»; 4 – світильники

лінію для широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) сигналу керування. Крім того, через збільшення кількості компонентів, що входять до складу системи, знижується її надійність і збільшуються експлуатаційні затрати.

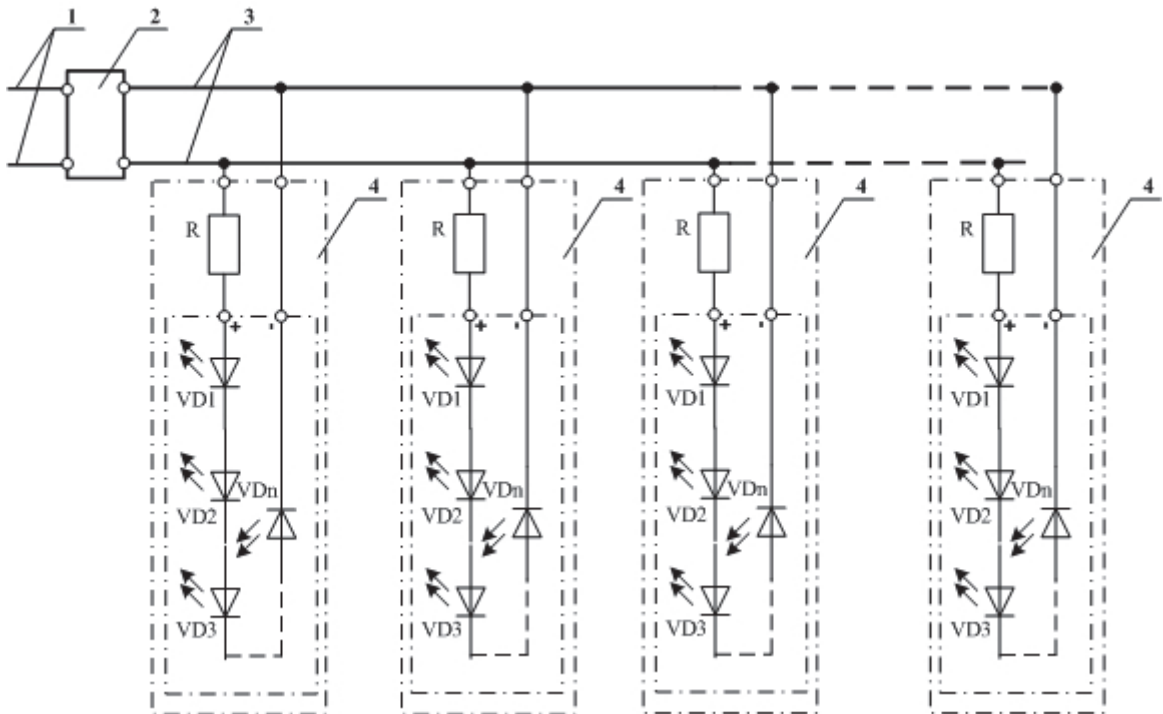
Вище були розглянуті системи світлодіодного освітлення з індивідуальним живленням кожного світильника і використанням перетворювачів у режимі «стабілізований струм». Однак вибір таких перетворювачів відповідної потужності обмежений, а вибір перетворювачів з режимом «стабілізована напруга» – набагато ширший і їхня потужність може досягати 500 Вт і більше. У разі використання таких перетворювачів системи світлодіодного освітлення мають групове живлення.

Завданням AC/DC або DC/DC перетворювача є формування на своєму виході стабілізованої напруги такого рівня, який прийнятний для світлодіодів. Напруга на виході формується

з високої напруги освітлювальної мережі або іншого первинного джерела живлення.

У схемі (рис. 5) послідовно з ланцюгом світлодіодів у кожному світильнику включений резистор R, що обмежує струм через світлодіоди, не даючи їм виходити з ладу під час аварійного підвищення напруги на виході перетворювача. Використання обмежуючих резисторів спричинює зниження ККД системи за рахунок того, що зниження напруги на них перетворюється на тепло. Крім того, якщо перетворювач матиме низький коефіцієнт стабілізації напруги, світильники будуть змінювати яскравість.

Замість резисторів можна використати інтегральні аналогові регульовані стабілізатори напруги, які включаються за схемою стабілізатора струму. У цьому випадку вони підтримують стабільний струм через світлодіоди, незважаючи на зміну напруги на вході. При цьому світильники не змінюють



**Рис. 5.** Проста і відносно дешева структура системи світлодіодного освітлення:

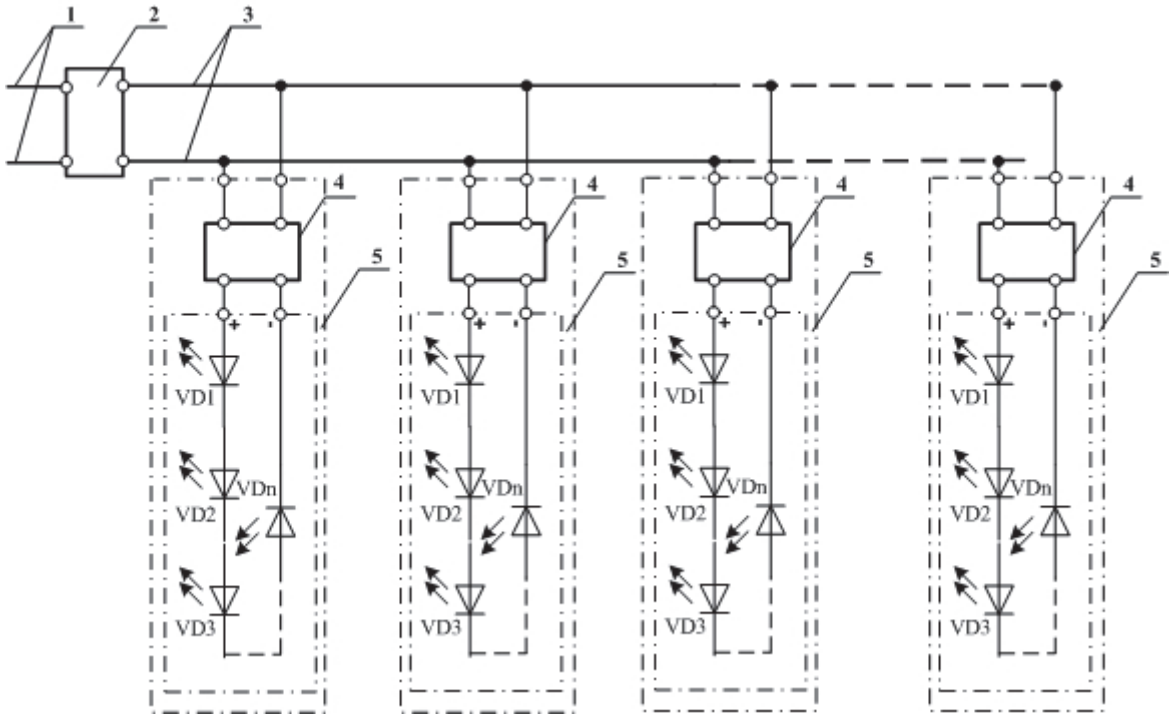
**1 – мережа змінного або постійного струму; 2 – перетворювач AC/DC або DC/DC у режимі «стабілізована напруга»; 3 – мережа стабілізованої постійної напруги; 4 – світильники**



яскравість. Але на таких стабілізаторах при нормальній роботі повинно падати не менше 3-6 В, які також перетворюються на тепло. З урахуванням того, що ряд вихідних напруг перетворювачів стандартизований, напруга на вході стабілізатора струму може бути більша, ніж потрібно йому для нормальної роботи, тобто більша, ніж сума падінь напруги на ланцюгу світлодіодів і самому стабілізаторі.

У цьому випадку вся надлишкова напруга перетвориться на тепло, а отже з'явиться необхідність застосування тепловідводу для самого стабілізатора.

Більш енергоекономічним, але й більш дорогим, є використання в кожному світильнику ШІМ перетворювачів постійного струму в постійний, які працюють в режимі «стабілізований струм» (рис. 6).



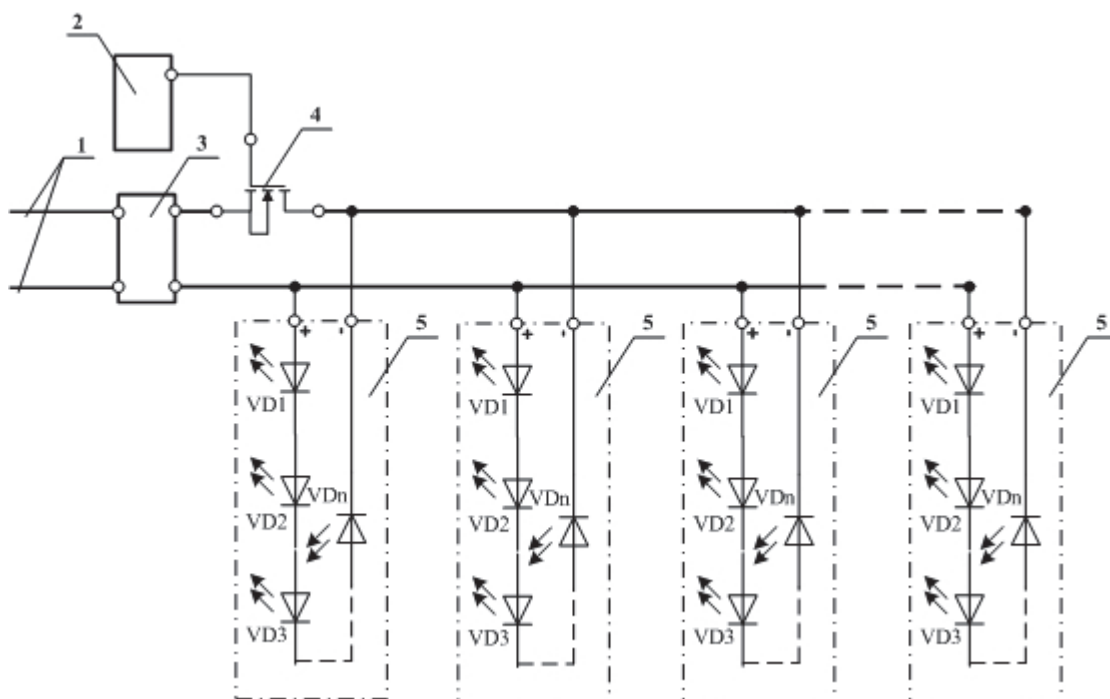
**Рис. 6. Структура з інтегральними ШІМ стабілізаторами струму:**

**1 – мережа змінного або постійного струму; 2 – перетворювач AC/DC або DC/DC в режимі «стабілізована напруга»; 3 – мережа стабілізованої постійної напруги; 4 – інтегральний ШІМ стабілізатор струму; 5 – світильники**

Такі інтегральні ШІМ стабілізатори струму випускаються різними зарубіжними фірмами. Вони мають широку номенклатуру вхідних і вихідних напруг і вихідного струму (від 0,35 А до 1 А). Отже, послідовні ланки світлодіодів можуть підключатися до них паралельно.

У процесі виконання проекту внутрішнього освітлення була розроблена світлодіодна система освітлення допоміжних приміщень (рис. 7).

Структура цієї системи відрізняється від структур з груповим живленням тим, що в розрив плюсової шини підключено потужний MOSFET транзистор, який управляється ШІМ сигналом мікроконтролерного пристрою керування яскравістю світильників. Поєднання перетворювача напруги, який працює в режимі «стабілізована напруга», і високоякісного ШІМ сигналу мікроконтролера дають змогу підтримувати яскравість світлодіодів на заданому рівні незалежно від коливань напруги



**Рис. 7. Світлодіодна система освітлення допоміжних приміщень:**

**1 – мережа змінного або постійного струму; 2 – пристрій керування; 3 – перетворювач AC/DC або DC/DC в режимі «стабілізована напруга»; 4 – потужний MOSFET транзистор; 5 – світильники**

живлення.

Крім того, MOSFET транзистори мають дуже низький внутрішній опір у повністю відкритому стані, який вимірюється міліомами. Падіння напруги на них у цьому стані досягає лише сотень мілівольт і супроводжується незначним виділенням тепла. Вибираючи необхідну потужність перетворювача напруги і відповідний їй MOSFET транзистор, можна підключити стільки світильників, скільки необхідно для освітлення певного приміщення.

Для освітлення великих приміщень або довгих коридорів до одного приладу керування можна підключити декілька секцій, кожна з яких матиме необхідну кількість світильників, джерело живлення і свій MOSFET транзистор.

Таким чином, ця структура буде достатньо дешевою і надійною внаслідок використання обмеженого числа компонентів.

Кожна з вищеописаних структур легко інтегрується з датчиками руху і сутінковими реле. Як правило, і перші, і другі мають на виході

контакти реле, які розмикаються (або замикаються), коли відповідний датчик спрацює. За допомогою цих контактів можна включити/виключити живлення перетворювача напруги в системах освітлення з груповим живленням або включити/виключити живлення світильників у системах з індивідуальним живленням. Датчик руху або сутінкове реле може керувати кожним окремо взятим світильником.

Не можна однозначно сказати, яка з представлених вище структур світлодіодних систем освітлення найкраща. У кожному випадку треба аналізувати багато чинників, які впливають на вибір структури і не останній з них – економічний. Особливо це важливо для великих систем освітлення, до складу яких входить багато світильників з розгалуженою мережею живлення. Передусім треба визначитися, щодо вартості джерел живлення і вибрати найбільш ефективні й економічні.

Необхідно відмітити, що є проекти, в яких можна застосовувати тільки групове живлен-

ня освітлювальних приладів, зокрема для підсвічування басейнів і садово-паркових зон. У цих випадках світлодіодні освітлювальні прилади мають бути герметичними і живитися напругою не більше 12 В постійного струму, а джерела живлення необхідно розміщувати в приміщеннях або назовні в спеціальних шафах зі ступенем захисту IP67. Це стосується і освітлення вибухо- і пожежонебезпечних приміщень.

### **Висновки**

Вищеописані технічні рішення були використані під час розробки й упровадження в 2012 р. ряду енергозберігаючих систем світлодіодного освітлення, у тому числі систем салонного освітлення 50 вагонів КП «Київський метрополітен» СП «Електродепо

Оболонь», системи світлодіодного декоративного підсвічування будівлі Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, систем світлодіодного освітлення лабораторного корпусу Інституту нейрохірургії ім. академіка А.П. Ромоданова і внутрішнього двору Президії НАН України.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Державна цільова науково-технічна програма «Розробка і впровадження енергозберігаючих світлодіодних джерел світла та освітлювальних систем на їх основі», затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 21 грудня 2011 р. № 1395.
2. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.С. Основи охорони праці. – К.: Каравела, 2003. – 324 с.
3. Бахарев Д.В., Зимнович И.А. К теоретическому анализу эмпирической яркости фасадов // Светотехника. – 2008. – №3. – С. 10–17.

## **До уваги авторів!**

**З 1 квітня 2008 р. введено в дію національний стандарт України ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Бібліографічний запис, бібліографічний опис». Просимо в статтях, що надаються для публікації, перелік використаних джерел оформляти згідно з новими вимогами.**