

УДК 628.94

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.2>

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ОСВІТЛЮВАЛЬНИМИ ПРИЛАДАМИ

Гайдай Г. Ю. – кандидат технічних наук,

доцент кафедри морського приладобудування

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

ORCID ID: 0000-0002-7454-8007

Грешнов А. Ю. – доцент кафедри морського приладобудування

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

ORCID ID: 0000-0002-9350-1554

У статті розглянуто вдосконалення світлодіодного світильника, який має підвищений рівень ефективності використання електричної енергії освітлювальними приладами шляхом впровадження прямого адаптивного керування поточною освітлювальною потужністю відповідно до потреб у кожній конкретній освітлювальній зоні об'єкту. Запропонований світлодіодний світильник створено з метою: підвищення коефіцієнту корисної дії освітлювального приладу; зниження рівня споживання електричної енергії даним приладом; дистанційне керування роботою світлодіодного освітлювального приладу згідно алгоритмів користувача; підвищення надійності приладу. Даний світлодіодний світильник відноситься до типу стельових світильників з пасивним охолодженням. Корпус світильника виготовлено з алюмінію, конструкція та габарити якого визначені таким чином, щоб забезпечити тривалу роботу в літній період часу без перегріву світлодіодних елементів. Керування роботою та моніторинг параметрів здійснюється за допомогою бездротового інтерфейсу "Bluetooth". Запропонована конструкція світлодіодного світильника має наступні переваги: функціонування кожної матриці контролюється власним драйвером, який враховує її унікальні робочі характеристики для забезпечення оптимальних параметрів; постійний контроль температурних параметрів та захист від перегріву, що суттєво подовжує термін функціонування матриці; постійний контроль струму та напруги живлення матриці; можливість керувати потужністю як всього світильника так і кожної матриці окремо; поєднання плати контролера і матриці світлодіода; можливість комбінувати різні типи світлодіодів у межах одного світильника; підтримка різних інтерфейсів у відповідності до вимог користувача; постійний контроль параметрів та виявлення помилок. Розроблено концепцію вдосконаленого світлодіодного світильника з розширеними інформаційними властивостями на базі мікроконтролера STM32, який має підвищений рівень ефективності використання електричної енергії освітлювальними приладами.

Ключові слова: світлодіодна матриця, головний контролер, комунікаційний інтерфейс, електрична схема, мікроконтролер.

Haidai H. Yu., Hreshnov A. Yu. Increasing the efficiency level in the use of electrical energy by lighting devices

The improvement of the LED lamp, which has an increased level of efficiency in the use of electrical energy by lighting devices by implementing direct adaptive control of the current lighting power in accordance with the needs of each specific lighting area of the object, was considered in the article. The proposed LED lamp was created for the purpose of: increasing the efficiency of the LED lighting device; reduction of electrical energy level consumed by the lighting device; remote control of LED lighting according to user algorithms; increasing the reliability of the LED lighting device. This LED lamp belongs to the type of ceiling lamps with passive cooling. The body of the lamp is made of aluminum, the design and dimensions of which are determined in such a way as to ensure long-term operation in the summer without overheating of the LED elements. Control of work and monitoring of parameters is carried out using a wireless interface "Bluetooth". The proposed design of the LED lamp has the following advantages: the operation of each matrix is controlled by its own driver, which takes into account its unique operating characteristics to ensure optimal parameters; constant control of temperature parameters and protection against overheating, which significantly extends the life of the matrix;

constant control of the matrix power supply current and voltage; the ability to control the power of both the entire lamp and each matrix separately; combination of the controller board and the LED matrix; the ability to combine different types of LEDs within one lamp; support of various interfaces in accordance with user requirements; constant monitoring of parameters and detected errors. The concept of an improved LED lamp with advanced information properties based on the STM32 microcontroller, which has an increased level of efficiency in the use of electrical energy by lighting devices, was developed.

Key words: LED matrix, main controller, communication interface, electric circuit, microcontroller.

Постановка проблеми. На теперішній час великої актуальності набуває рух, спрямований на зниження споживання енергоресурсів та підвищення ефективності їх використання [1]. Відкриття наприкінці ХХ сторіччя синього світлодіода спричинило новий виток розвитку систем освітлення. У порівнянні із застарілими лампами розжарювання та небезпечними, через наявність в них ртуті, люмінесцентними лампами, світлодіоди стають лідерами у співвідношенні ефективності використання споживаної енергії, зручності використання та екологічності до собівартості. При цьому існуючі системи, які присутні на світових ринках освітлювальних систем, у базовому варіанті, без придбання додаткового обладнання та програмного забезпечення, не надають можливості споживачу адаптивно керувати параметрами їх роботи. Тому необхідне вдосконалення світлодіодних світильників таким чином, щоб максимально ефективно, без збільшення додаткових витрат використовувати енергоресурси, гнучко змінюючи робочі параметри відповідно до вимог кожного споживача.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Світлодіодне освітлення з моменту свого виникнення пройшло довгий період удосконалення, в результаті якого ми маємо сучасні LED світильники [2]. Вони відрізняються високою якістю світлового потоку, економічністю та ефективністю, тому поступово витісняють інші джерела світла. І це не дивно, адже заміна звичайних ламп на світлодіодні веде до зниження витрат на електрику приблизно на 70 % навіть у цілодобовому режимі роботи. А враховуючи постійне зростання тарифів на електроенергію, то таке економічно вигідне освітлення є ідеальним варіантом для використання в промислових масштабах [3].

Вдосконалення конструкції світлодіодів та подальше зниження собівартості одиничного виробу у масовому виробництві забезпечило світлодіодам лідируючу позицію серед інших освітлювальних приладів. Однак, слід зауважити, що світлодіод, у порівнянні з лампами розжарювання та люмінесцентними лампами, вимагає більш складних джерел живлення та дотримання певних експлуатаційних режимів для забезпечення оптимальних робочих параметрів. Але якщо порівняти системи такого роду за рівнем складності, то отримуємо наступне [4].

Прості системи мають найменшу, у порівнянні з іншими системами, вартість, однак не реалізують повністю потенціал енергозбереження світлодіодів. Враховуючи їх просту схему керування живленням світлодіодів, то під час роботи не забезпечується дотримання оптимальних режимів і суттєво зменшується коефіцієнт корисної дії світлодіодів.

Системи середнього рівня складності забезпечують високій рівень ефективності споживання електроенергії та можливість гнучко керувати режимами роботи відповідно до вимог споживача. Однак, така гнучкість забезпечується лише при наявності концентраторів та окремого сервера, що, в свою чергу, суттєво збільшує вартість системи. Встановлення такої системи доцільно лише на промислових об'єктах великої площі.

Високорівневі системи забезпечують найбільшу ефективність споживання електроенергії, можуть бути масштабовані протягом експлуатації системи, мати розширений функціонал з додаванням нових датчиків та виконавчих пристроїв. Як і у систем середнього рівня складності, архітектура високорівневих систем складається з концентраторів та окремого сервера. При цьому вартість впровадження та експлуатації, модифікація програмного забезпечення відповідно до вимог замовника передбачає впровадження лише у складі великих комерційних проектів.

Таким чином, світлодіодні світильники, що належать до перерахованих вище систем, різняться за своїми параметрами, але жодний з них не забезпечує можливість автономної децентралізованої роботи з контролем робочих параметрів та дистанційним налаштуванням робочих режимів. Це, в свою чергу, не дозволяє повністю використовувати усі притаманні світлодіодам властивості щодо ефективності використання електроенергії.

Постановка задачі. Метою статті є розробка вдосконаленого світлодіодного світильника, який має підвищений рівень ефективності використання електричної енергії освітлювальними приладами шляхом впровадження прямого адаптивного керування поточною освітлювальною потужністю відповідно до потреб у кожній конкретній освітлювальній зоні об'єкту.

Викладення основного матеріалу дослідження. Запропонований світлодіодний світильник створюється з метою: підвищення коефіцієнту корисної дії світлодіодного освітлювального приладу; зниження рівня споживання електричної енергії; дистанційне керування роботою світлодіодного освітлювального приладу згідно алгоритмів користувача; підвищення надійності; зменшення часу, необхідного для виконання ремонту світлодіодного освітлювального приладу.

Даний світлодіодний світильник відноситься до типу стельових світильників з пасивним охолодженням. Корпус світильника виготовлено з алюмінію, конструкція та габарити якого визначені таким чином, щоб забезпечити тривалу роботу в літній період часу (або у приміщенні з підвищеною температурою) без перегріву світлодіодних елементів. Керування роботою та моніторинг параметрів здійснюється за допомогою бездротового інтерфейсу "Bluetooth".

Функціональна схема системи, яку наведено на рис. 1, забезпечує: зберігання можливості нарощування функцій керування; побудову на базі уніфікованих комплексів, що дає значні переваги при монтажі, налагодженні, експлуатації і ремонті. Мікроконтролер є високопродуктивним ядром ARM Cortex-M0 RISC 32 біта з частотою 48МГц, високошвидкісною пам'яттю і широким вибором периферії і I/O [5].

До складу функціональної схеми головного контролера, яку наведено на рис. 2, входять: контролер STM32F030F4P6; Bluetooth радіо-модуль HM-10; батарейка CR2032; стабілізатор напруги 12V, 3V3; перемикач вибору режимів роботи; світлодіоди індикації статусу зв'язку; вхідний-вихідний буфер обміну даними з контролерами світлодіодів.

Загальна концепція запропонованого світильника полягає у підвищенні гнучкості роботи та контролі параметрів без використання додаткових концентраторів або/чи серверів шляхом побудови дворівневої системи всередині світильника зі збільшенням інтелектуального функціоналу. Тобто світильник вже не є простим освітлювальним засобом, відмінність якого від інших полягає лише у тому, що використано світлодіоди, а стає інтелектуальною системою з контролем робочих параметрів та інтерфейсом типу «людина-машина». Це дозволяє динамічно та максимально гнучко налаштувати робочі параметри відповідно до вимог споживача

та може призвести до суттєвого скорочення витрат, пов'язаних з впровадженням системи та її подальшої експлуатації.

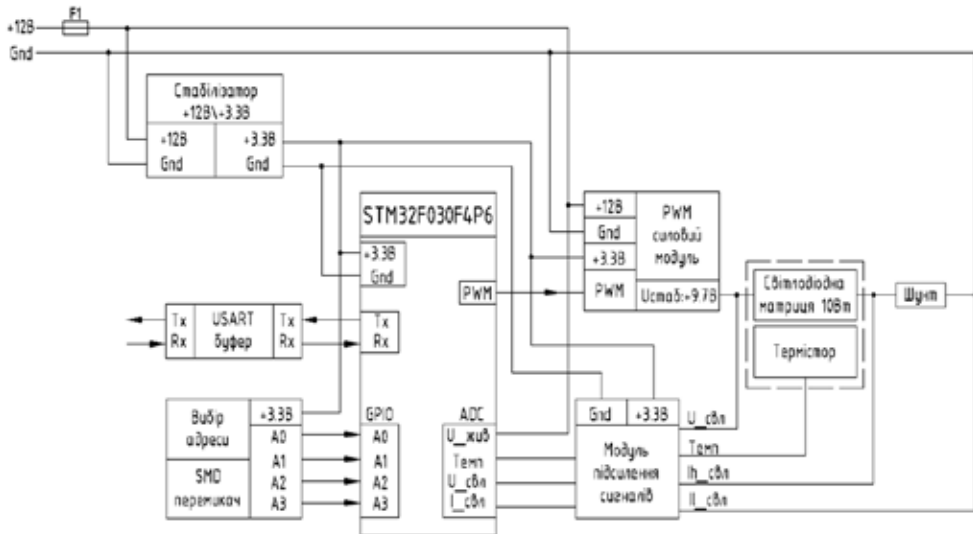


Рис. 1. Функціональна схема системи

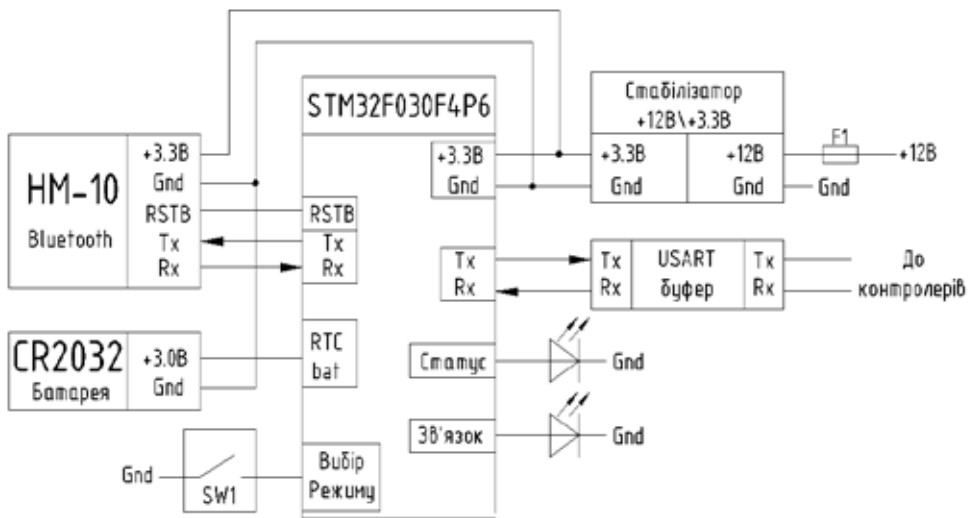


Рис. 2. Функціональна схема головного контролеру

Іншою особливістю даного освітлювального приладу є використання світлодіодних матриць замість масиву окремих світлодіодів [2]. Оскільки останні у світлодіодній матриці розташовані на одній загальній основі та сформовані на ній майже одночасно, то це дозволяє досягти майже ідентичності їх робочих параметрів.

Запропонована конструкція світлодіодного світильника є значно складнішою на відміну від інших, але має наступні переваги:

- функціонування кожної матриці контролюється власним драйвером, який враховує її унікальні робочі параметри для забезпечення оптимальних параметрів та найвищого коефіцієнту корисної дії;
- постійний контроль температурних параметрів та захист від перегріву, що суттєво подовжує термін функціонування матриці;
- постійний контроль струму та напруги живлення матриці, тобто вихід з ладу однієї з матриць не спричиняє припинення функціонування всього світильника;
- можливість керувати потужністю як всього світильника так і кожної матриці окремо;
- поєднання плати контролера і матриці світлодіода забезпечує модульну заміну у разі виходу з ладу драйвера/матриці чи модернізації світильника;
- можливість комбінувати різні типи світлодіодів (RGB, температура кольору світла) у межах одного світильника;
- підтримка різних інтерфейсів у відповідності до вимог користувача;
- постійний контроль параметрів та виявлених помилок.

Всередині світильника присутні дві шини: шина живлення та інтерфейсна шина. Шина живлення двопровідна, забезпечує надходження електроенергії від загального блока живлення до всіх контролерів, які підключені до неї паралельно. Таким чином можна змінювати кількість або склад компонентів, додаючи або вимикаючи вузли без впливу на інших споживачів. Інтерфейсна шина також провідна та забезпечує обмін інформацією між головним контролером та контролерами матриць за допомогою стандарту USART. Вибір стандарту USART зумовлено тим, що він легко фізично конвертується за допомогою перетворювачів у такі промислові стандарти: RS-232, RS-485, HART [6] та ін. Це, в свою чергу, дозволяє гнучко міняти конфігурацію складу світильника.

Протоколом для обміну інформації обрано ModBus RTU через його велику поширеність в промисловості та наявність великої кількості обладнання з його підтримкою [7]. Контролер світлодіодної матриці побудовано на базі мікроконтролера STM32F030 [5].

Керування робочою потужністю світлодіода здійснюється шляхом контролю зворотного зв'язку за струмом. Регулювання значення робочого струму здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції вхідної напруги. Широтно-імпульсна модуляція реалізована таймером-лічильником, що входить до складу мікроконтролера, та силовим блоком, який складається з N-канального польового транзистора, силової котушки індуктивності та фільтруючих конденсаторів. Контроль поточної температури світлодіодної матриці здійснюється за допомогою термістора.

Загальний очікуваний вигляд корпусу світильника з встановленими контролерами показано на рис. 3–4.

Прототип корпусу світильника складається з двох частин: алюмінієвого радіаторного профілю БПО-1905 та алюмінієвого П-подібного швелера БПО-1273. Більш детальне проектування корпусу та виробничої документації в рамках даної статті не проводилося.

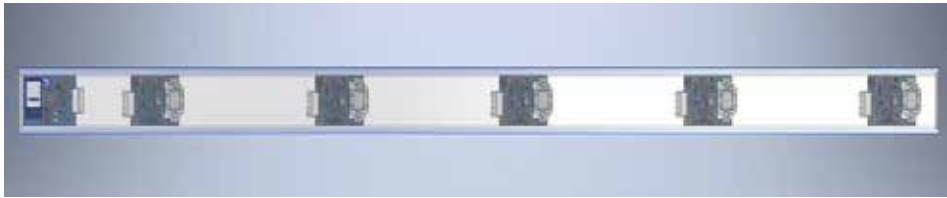


Рис. 3. Загальний очікуваний вигляд корпусу світильника (фронтальний вид)



Рис. 4. Загальний очікуваний вигляд корпусу світильника з боку

Висновки. У статті було розроблено концепцію вдосконаленого світлодіодного світильника з розширеними інформаційними властивостями на базі мікроконтролера STM32, який має підвищений рівень ефективності використання електричної енергії освітлювальними приладами шляхом впровадження прямого адаптивного керування поточною освітлювальною потужністю відповідно до потреб у кожній конкретній освітлювальній зоні об'єкту. Основними перевагами розробленого світлодіодного світильника є: знижений рівень споживання електричної енергії; дистанційне керування роботою приладу згідно алгоритмів користувача; підвищення надійності освітлювального приладу; зменшення часу, необхідного для виконання ремонту світлодіодного освітлювального приладу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Заходи з енергозбереження у сфері електропостачання, 2016. URL: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/promislovist/zahodi-z-energozberezhennya-u-sferi-elektropostachannya> (дата звертання: 21.04.23).
2. Що таке світлодіодні лампи LED? Їх переваги та недоліки, 2022. URL: https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva_svetodiodnykh_lamp_i_svetilniko (дата звертання: 26.04.23).
3. Переваги та недоліки світлодіодного освітлення, 2021. URL: https://altaris.kh.ua/ua/publications_3 (дата звертання: 19.03.23).
4. Переваги світлодіодних ламп і світильників, 2023. URL: https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva_svetodiodnykh_lamp_i_svetilniko (дата звертання: 10.03.23).
5. Квашнін В.О., Бабаш А.В., Квашнін В.В. Програмування та застосування мікроконтролерів STM32F4Discovery: монографія. Краматорськ: ЦТPI «Друкарський дім», 2017. 143 с.
6. Протокол передачі даних UART, 2023. URL: <https://musbench.com/all/uart/> (дата звертання: 12.04.23).
7. Modbus, 2012. URL: <https://wiki.tntu.edu.ua/Modbus> (дата звертання: 02.05.23).

REFERENCES:

1. Zakhody z enerhozberezhennia u sferi elektropostachannia. (2016). Retrieved from: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-iyalnosti/elektroenergiya/promislovist/zahodiz-energozberezhennya-u-sferi-elektropostachannya>. Accessed on: Apr. 21, 2023 [in Ukrainian].
 2. Shcho take svitlodiodni lampy LED? (2022). Yikh perevahy ta nedoliky. Retrieved from: https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva_svetodiodnykh_lamp_i_svetilniko. Accessed on: Apr. 26, 2023 [in Ukrainian].
 3. Perevahy ta nedoliky svitlodiodnoho osvittlenia. (2021). Retrieved from: https://altaris.kh.ua/ua/publications_3. Accessed on: Mar. 19, 2023 [in Ukrainian].
 4. Perevahy svitlodiodnykh lamp i svitylnykyv. (2023). Retrieved from: https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva_svetodiodnykh_lamp_i_svetilniko. Accessed on: Mar. 10, 2023 [in Ukrainian].
 5. Kvashnin V.O., Babash A.V., Kvashnin V.V. (2017). Prohramuvannia ta zastosuvannia mikrokontroleriv STM32F4Discovery. *Monohrafiia*. Kramatorsk: TsTRI "Drukarskyi dim". 143 c. [in Ukrainian].
 6. Protokol peredachi danykh UART. (2023). Retrieved from: <https://musbench.com/all/uart>. Accessed on: Apr. 12, 2023 [in Ukrainian].
 7. (2012) Modbus. Retrieved from: <https://wiki.tntu.edu.ua/Modbus>. Accessed on: May. 02, 2023 [in Ukrainian].
-