УДК 621.31 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.14

В. В. КУРАК
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-4303-5671

О. В. АНДРОНОВА
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-9597-8068

Є. О. БАГАНОВ
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-8771-5735

І. Ф. ПОГРЕБНЯК
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-0935-1168

СИСТЕМА ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ З ПРІОРИТЕТНИМ ЖИВЛЕННЯМ ВІД ДЖЕРЕЛА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

В даній роботі запропоновано систему зовнішнього освітлення з пріоритетним живленням від акумуляторної батареї, що заряджається протягом денного періоду доби від автономної фотоелектричної станції. Розроблена система призначена для зменшення споживання електричної енергії освітлювальною установкою з централізованої мережі.

Автоматичне керування енергетичними потоками між акумуляторною батареєю, мережею і освітлювальними приладами зі встановленням пріоритету живлення від акумуляторної батареї реалізовано на основі двох електромагнітних реле РК-1Р та РК-2Р. Централізована електрична мережа в цій системі виконує роль резервного джерела живлення.

Витримка в часі, що необхідна для уникнення повернення реле РК-1Р у вихідний стан в момент спрацювання реле РК-2Р, забезпечується конденсатором ємністю 260 мкФ, підключеним паралельно до електромагніту реле РК-1Р.

Запуск системи здійснюється автоматично за допомогою фотореле, що спрацьовує при зменшенні рівня освітленості. Поповнення запасу енергії акумуляторної батареї Kijo JDG 12V 65Ah GEL реалізовано з використанням фотоелектричної системи, побудованої на основі кремнієвого фотомодуля 120P/12 та ШІМ-контролера заряду акумулятора SLC NR2420A. В якості перетворювача постійної напруги акумуляторної батареї 12 В у змінну 220 В частотою 50 Гц застосовано автономний інвертор KONNWEI 2000W.

Розроблену систему впроваджено в Херсонському національному технічному університеті для освітлення внутрішнього подвір'я І навчального корпусу. Дослідним шляхом встановлено, що при використанні в якості освітлювальних приладів двох світлодіодних прожекторів потужністю 30 Вт кожен система забезпечує живлення від акумуляторної батареї протягом 7–8 годин, зменшуючи тим самим споживання електричної енергії з централізованої мережі.

Ключові слова: *освітлювальна установка, заощадження енергії, акумуляторна батарея, централізована електромережа, фотоелектрична система, електромагнітне реле, фотореле, автономний інвертор.*

V. V. KURAK
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy,
Electrical Engineering and Physics
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-4303-5671

O. V. ANDRONOVA
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy,
Electrical Engineering and Physics
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-9597-8068

YE. A. BAGANOV
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Energy,
Electrical Engineering and Physics
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-8771-5735

I. F. POGREBNIAK
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy,
Electrical Engineering and Physics
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0003-0935-1168

EXTERNAL LIGHTING SYSTEM WITH PRIORITY POWER SUPPLY FROM DC VOLTAGE SOURCE

This paper proposes an outdoor lighting system with priority power supply from a battery charged during the daytime by an autonomous photovoltaic station. The developed system is designed to reduce the electrical energy consumption for lighting from centralized power grid.

Automatic control of energy flows between the battery, centralized power grid and lighting devices with priority for power supply from the battery is realized on the basis of two electromagnetic relays PK-1P and PK-2P. The centralized power grid in this system is used as reserve power source.

The time delay required to avoid PK-1P relay returning to its initial state during triggering of PK-2P relay is provided by a 260 μF capacitor connected in parallel to the PK-1P relay electromagnet.

The system is started automatically due to photo relay that is triggered when the light level decreases. The Kijo JDG 12V 65Ah GEL battery is recharged by photovoltaic system built on a 120P/12 silicon photovoltaic module and a SLC NR2420A PWM battery charge controller. A KONNWEI 2000W standalone inverter is used as a converter of 12 V DC battery voltage to 220 V 50 Hz AC.

The developed system was implemented at the Kherson National Technical University to illuminate the courtyard of the 1st academic building. It has been experimentally clarified that when two 30 W LED spotlights are used as lighting devices the system provides power supply from the battery during 7-8 hours reducing the electrical energy consumption from the centralized power grid.

Key words: *lighting system, energy saving, battery, centralized power grid, photovoltaic system, electromagnetic relay, photorelay, standalone inverter.*

Постановка проблеми

В умовах браку генеруючих потужностей в загальній енергосистемі України на перший план виходить питання раціонального використання наявної мережевої енергії. Досягнення максимальної ефективності заходів з енергозбереження в електроенергетичному секторі передбачає застосування комплексного підходу, пов'язаного як з використанням енергоощадного обладнання, так і з впровадженням об'єктів децентралізованої генерації на боці споживачів [1]. Введення організаційних заходів у вигляді суворих обмежень на застосування потужних електроприладів в організаціях і установах державного сектору є вимушеним кроком для забезпечення балансу між генерацією і споживанням електричної енергії та стабілізації енергосистеми.

Так, Міністерство освіти і науки України у червні 2024 року опублікувало роз'яснення щодо заощадження електричної енергії в закладах освіти [2]. Згідно цих рекомендацій в закладах, підпорядкованих Міністерству освіти і науки України, обмежується використання кондиціонерів та систем зовнішнього освітлення в тих випадках, коли це не створює загрози для учасників освітнього процесу.

Уникнути цих обмежень можливо при переході на джерела автономного електропостачання, що можуть використовувати як традиційні види палива, так і енергію відновлюваних джерел. Втім, використання відновлюваних джерел енергії, як-то енергії вітру та сонячного випромінювання, має очевидні переваги перед традиційним паливом, що пов'язано як з екологічними вигодами, так і з відсутністю витрат на закупівлю паливних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Описані в літературі стандартні схеми автономних і гібридних систем електропостачання на основі відновлюваних джерел дозволяють або повністю відмовитись від мережевої енергії, або значно скоротити її споживання [3–5]. Такі системи містять в своєму складі електрохімічний акумулятор, що є джерелом живлення споживачів на час нестачі або відсутності надходження енергії від генератора.

В автономних системах електрозабезпечення, що не мають зв'язку з централізованою мережею, потужність джерела енергії має бути достатньою для повного і безперервного покриття потреби основних споживачів в електричній енергії. У випадку використання фотоелектричного або вітроелектричного генератора така система, як правило, потребує створення значного запасу встановленої потужності, а також акумуляторної батареї великої ємності, зважаючи на періодичний та випадковий характер у надходженні енергії від відновлюваного джерела. Це значно здорожує автономну систему.

На відміну від автономних, гібридні системи електрозабезпечення мають безпосередній зв'язок з централізованою електромережею через інвертор з вбудованим контролером, що регулює потоки енергії між мережею, автономним генератором, акумуляторною батареєю та споживачем. Такий гібридний інвертор в загальному випадку може бути налаштований на пріоритет щодо вибору джерела електропостачання – від централізованої мережі, генератора або від акумуляторної батареї – у зв'язку з чим гібридна система здатна забезпечити значну економію спожитої з мережі електричної енергії. Втім, вартість гібридних інверторів є доволі високою, і розробка нових схем для економії споживаної мережевої електрики, побудованих на дешевших компонентах, є актуальною і своєчасною.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є розробка системи зовнішнього освітлення з пріоритетним живленням від автономного джерела постійної напруги задля зменшення споживання електричної енергії від централізованої мережі.

Викладення основного матеріалу дослідження

На рис. 1 представлено блочну схему, що демонструє запропонований принцип організації системи зовнішнього освітлення з генератором на основі фотоелектричних модулів.

В світлу пору доби відбувається заряджання акумуляторної батареї А від фотоелектричного генератора Г через контролер заряду акумулятора К. При увімкненні системи зовнішнього освітлення Н в темну пору доби пріоритетним є канал живлення, що формується потоком енергії від акумуляторної батареї через контролер К та інвертор І. Канал живлення системи освітлення від централізованої мережі М є резервним і підключається у випадку зменшення напруги на акумуляторній батареї до напруги розрядженого стану. Отже, головним призначенням запропонованої схеми організації системи освітлення є зведення до мінімуму споживання електричної енергії з мережі.

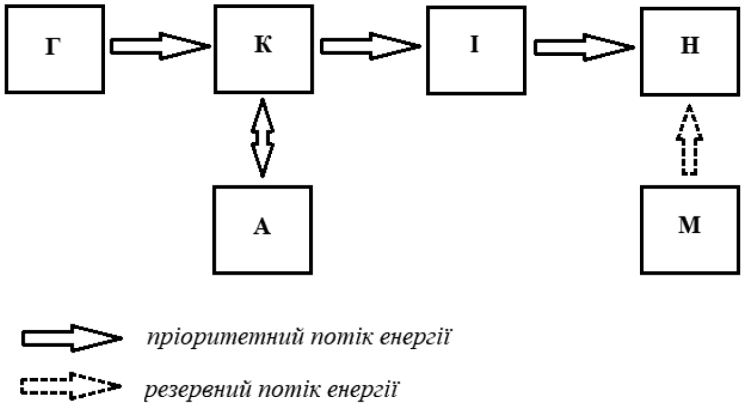

Рис. 1. Схема енергетичних потоків в розробленій системі освітлення

Електричну схему запропонованої системи зовнішнього освітлення представлено на рис. 2.

Систему побудовано на двох електромагнітних реле РК-1Р [6] та РК-2Р [7], інверторі, що перетворює постійну напругу 12 В у змінну 220 В, та фотореле ФР. Принцип її роботи полягає у наступному.

Мережева напруга через автоматичний вимикач ВА та нормально замкнені пари контактів 7–8 та 10–11 реле РК-2Р подається на фотореле ФР. При зменшенні освітленості фотодатчика реле ФР до рівня спрацювання, воно подає напругу від централізованої електромережі до прожекторів Л1 та Л2, поява якої призводить до спрацювання електромагніту реле РК-1Р і замикання його нормально розімкнутих контактів 11–12. В результаті спрацювання реле РК-1Р на інвертор подається напруга від акумуляторної батареї АКБ, інвертор запускається і на його виході з'являється змінна напруга 220 В. Поява цієї напруги на електромагніті реле РК-2Р призводить до перекомутації схеми, в результаті якої контакти 7–8 та 10–11 розмикаються, а замикаються пари контактів 8–9 та 11–12,

зовнішня мережа від'єднується від системи і прожектори починають отримувати живлення від акумулятора через інвертор. При зниженні напруги на акумуляторній батареї до рівня розрядженого стану, інвертор вимикається і система повертається до живлення від загальної електромережі.

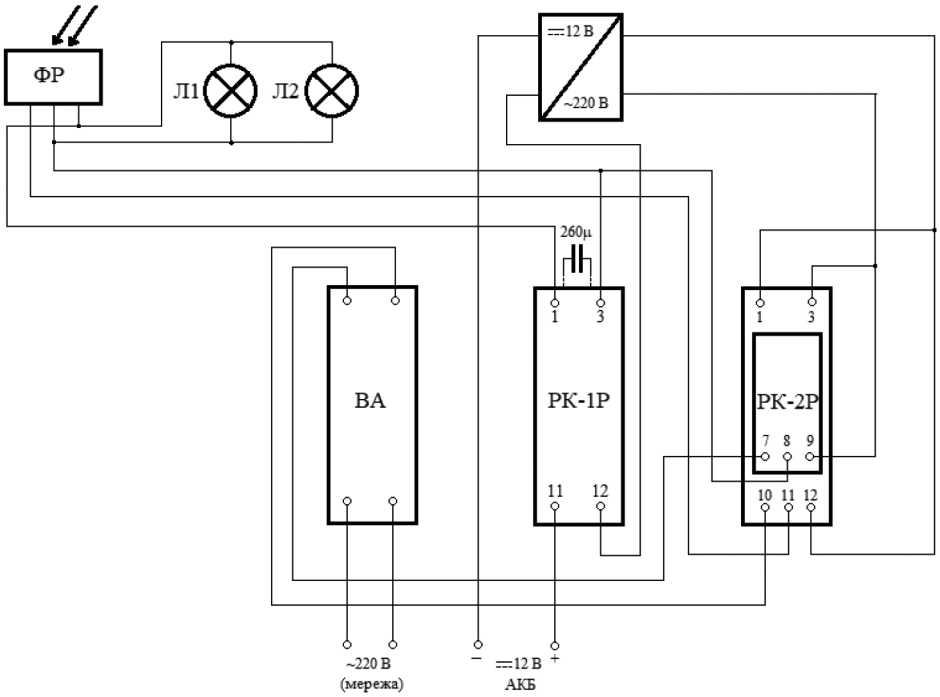

Рис. 2. Електрична схема системи зовнішнього освітлення

Оскільки час перемикання реле РК-1Р та РК-2Р є близьким і становить порядку 40 мс, то для підтримання реле РК-1Р у спрацьованому стані під час перекомутації контактів реле РК-2Р, в наслідок якої напруга на освітлювальній установці короткочасно зникає, до електромагніту реле РК-1Р підключено конденсатор ємністю 260 мкФ, заряду якого вистачає для підтримання достатнього рівня напруги на котушці протягом приблизно 1 с.

Заряджання акумуляторної батареї відбувається протягом денного періоду доби від фотоелектричної системи, що складається з фотоелектричного модуля 120Р/12 номінальною потужністю 120 Вт та ШІМ-контролера SLC NR2420A [8]. В якості електрохімічного накопичувача енергії застосовано гелеву свинцево-кислотну акумуляторну батарею Kijo JDG 12V 65Ah GEL ємністю 65 А·год, що допускає глибоке розряджання [9].

Рис. 3. Система вуличного освітлення внутрішнього подвір'я ХНТУ з пріоритетним живленням від джерела постійної напруги

Перетворення постійної напруги акумуляторної батареї в змінну 220 В з частотою 50 Гц здійснюється автономним інвертором KONNWEI 2000W [10].

На рис. 3 представлено реалізацію розробленої схеми в якості системи освітлення внутрішнього подвір'я І корпусу Херсонського національного технічного університету (ХНТУ). В освітлювальній установці використовувались два світлодіодних прожектори зі споживаною потужністю 30 Вт кожен.

Досвід експлуатації розробленої системи освітлення подвір'я в період з 10 грудня 2021 року по 24 лютого 2022 року продемонстрував здатність забезпечувати безперервне живлення освітлювальної установки від акумуляторної батареї протягом 7–8 годин, що становить близько половини тривалості темного періоду доби в день зимового сонцестояння.

Висновки

Розроблено систему зовнішнього освітлення з пріоритетним живленням від джерела постійної напруги, в якості якого використовується електрохімічний накопичувач енергії, що заряджається в денний період доби від автономної фотоелектричної станції. Доведено працездатність розробленої схеми шляхом її реалізації в системі освітлення внутрішнього подвір'я І корпусу ХНТУ. Досвід експлуатації системи продемонстрував здатність забезпечувати живлення освітлювальної установки від автономного джерела енергії протягом 7–8 годин, що свідчить про доцільність застосування таких систем для зменшення споживання електричної енергії з централізованої мережі.

Список використаної літератури

1. Прем'єр-міністр закликав українців до заощадження електроенергії [Електронний ресурс]. Урядовий портал [Сайт]. Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/news/premier-ministr-zaklykav-ukraintsiv-do-zaoshchadzhennia-elektroenerhii-usi-razom-maiemo-dopomohty-enerhetytsi-vystoiaty (дата звернення 15.05.25). Назва з екрану.

2. Заощадження електроенергії в закладах освіти: додаткові роз'яснення [Електронний ресурс]. Міністерство освіти і науки України [Сайт]. Режим доступу: https://mon.gov.ua/news/zaoshchadzhennia-elektroenerhii-v-zakladakh-osvity-dodatkovi-roziasnennia (дата звернення 15.05.25). Назва з екрану.

3. Казіміров О. О., Власов К. В., Куртов А. І., Потіхенський А. І. Дослідження можливостей використання сонячної енергії для автономного живлення об'єкту. *Системи обробки інформації*. Вип. 1(147). 2017. С. 58–61. DOI: 10.30748/soi.2017.147.11

4. Дурас М. В. Типи автономних джерел електричної енергії України та способи їх підключення до споживачів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. Том 29(68). Ч. 2. № 4. 2018. С. 36–40.

5. Костинчук О. В., Зима І. В. Властивості автономного джерела живлення як об'єкта керування потужністю. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. Том 35(74). № 1. 2024. С. 163–168. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.1.1/25

6. Допоміжне реле F&F PK-1P-230V [Електронний ресурс]. Axiomplus [Сайт]. Режим доступу: https://axiomplus.com.ua/ua/ vspomogatelnye-rele/product-35037/ (дата звернення: 30.04.2025). Назва з екрану.

7. Електромагнітне реле PK-2P-230V [Електронний ресурс]. Електросвіт [Сайт]. Режим доступу: https://es.ua/668-pk-2p-230v (дата звернення: 1.05.2025). Назва з екрану.

8. SOLARLAND 20A Solar Charge Controller SLC NR2420A [Electronic resource]. eMarine Systems [Site]. Access mode: https://www.emarineinc.com/SOLARLAND-20A-Solar-Charge-Controller-SLC-NR2420A (last access: 15.05.2025). Title from the screen.

9. Акумуляторна батарея Kijo JDG 12V 65Ah GEL [Електронний ресурс]. Alfa Solar [Сайт]. Режим доступу: https://alfa.solar/uk/akumulyatorna-batareya-kijo-jdg-12v-65ah-gel-id545.html (дата звернення: 1.05.2025). Назва з екрану.

10. Перетворювач Konnwei 2000w 12v [Електронний ресурс]. TopTech [Сайт]. Режим доступу: https://toptech.com.ua/ua/p2013972924-preobrazovatel-konnwei-2000w.html (дата звернення: 1.05.2025). Назва з екрану.

References

1. Prime Minister called on Ukrainians to save electricity [Electronic resource]. Government portal [Site]. Access mode: https://www.kmu.gov.ua/news/premier-ministr-zaklykav-ukraintsiv-do-zaoshchadzhennia-elektroenerhii-usi-razom-maiemo-dopomohty-enerhetytsi-vystoiaty (last access: 15.05.25). Title from the screen.

2. Zaoshchadzhennya elektroenerhiyi v zakladakh osvity: dodatkovi roz″yasnennya [Saving electricity in educational institutions: additional clarifications] [Electronic resource]. Ministry of Education and Science of Ukraine [Site]. Access mode: https://mon.gov.ua/news/zaoshchadzhennia-elektroenerhii-v-zakladakh-osvity-dodatkovi-roziasnennia (last access: 15.05.25). Title from the screen.

3. Kazimirov O. O., Vlasov K. V., Kurtov A. I., Potixensky A. I. (2017) Doslidzhennya mozhlyvostey vykorystannya sonyachnoyi enerhiyi dlya avtonomnoho zhyvlennya ob'yektu. [Study the possibility of using solar energy for autonomous power supply facility]. *Systemy obrobky informatsiyi*, issue 1(147), pp. 58–61. DOI: 10.30748/soi.2017.147.11

4. Duras M.V. (2018) Typy avtonomnykh dzherel elektrychnoyi enerhiyi Ukrayiny ta sposoby yikh pidklyuchennya do spozhyvachiv [Types of Ukrainian autonomous electric energy sources and how to connect them to consumers]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernads'koho. Seriya: tekhnichni nauky*, vol. 29(68), part 2, no. 4, pp. 36–40.

5. Kostynchuk O. V., Zyma I. V. (2024) Vlastyvosti avtonomnoho dzherela zhyvlennya yak ob'yekta keruvannya potuzhnistyu [Properties of an autonomous power supply as a power control object]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernads'koho. Seriya: tekhnichni nauky*, vol. 35(74), no. 1, pp. 163–168. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.1.1/25

6. Auxiliary relay F&F PK-1P-230V [Electronic resource]. Axiomplus [Site]. Access mode: https://axiomplus.com.ua/ua/ vspomogatelnye-rele/product-35037/ (last access: 30.04.2025). Title from the screen.

7. Electromagnetic relay PK-2P-230V [Electronic resource]. Electrosvit [Site]. Access mode: https://es.ua/668-pk-2p-230v (last access: 1.05.2025). Title from the screen.

8. SOLARLAND 20A Solar Charge Controller SLC NR2420A [Electronic resource]. eMarine Systems [Site]. Access mode: https://www.emarineinc.com/SOLARLAND-20A-Solar-Charge-Controller-SLC-NR2420A (last access: 15.05.2025). Title from the screen.

9. Rechargeable battery Kijo JDG 12V 65Ah GEL [Electronic resource]. Alfa Solar [Site]. Access mode: https://alfa.solar/uk/akumulyatorna-batareya-kijo-jdg-12v-65ah-gel-id545.html (last access: 1.05.2025). Title from the screen.

10. Invertor Konnwei 2000w 12v [Electronic resource]. TopTech [Site]. Access mode: https://toptech.com.ua/ua/p2013972924-preobrazovatel-konnwei-2000w.html (last access: 1.05.2025). Title from the screen.