

освітленість (CLA), яка визначається як потік випромінювання на одиницю площі після 1 години його впливу. Це безрозмірна величина, яку можна порівняти з поняттям освітленості. На основі CLA можна розрахувати циркадний стимул C\$, який представляє собою безрозмірну величину від 0,1 до 0,7 одиниці, пропорційну швидкості пригнічення нічного мелатоніну у людей. Слід зазначити, що метрика C\$, також має обмеження: це стосується часових аспектів, таких як тривалість освітлення, часу доби, історії попереднього впливу світла на людей.

Рекомендованою вхідною величиною є спектральна освітленість очей, однак цей метод не враховує модифікацію спектру що досягає очей із-за коефіцієнтів відбиття поверхонь в навколишньому середовищі. Метод складний в практиці проектування систем освітлення, тому він застосовується для дослідження циркадних ефектів.

Незважаючи на відсутність офіційних міжнародних стандартів для опису циркадних характеристик світла в ряді країн світу розроблені стандарти, в яких запропоновані рекомендації щодо освітлення з врахуванням невізуальної дії світла. Наприклад, в Німеччині опублікований стандарт DIN SPEC 5031-100:2015-08 який оцінює вплив світла на секрецію мелатоніну. Досвід використання практики підтримання циркадних ритмів при проектуванні освітлення можна застосувати і в Україні не чекаючи прийняття міжнародних стандартів з циркадної фотометрії. Світлодіодні технології і сучасні автоматичні системи керування зі зміною рівнів освітленості і колірості дозволяють реалізовувати такі проекти.

Література

1. Berson D.M., Dunn F.A., Takao M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*. 2002. 295(5557):1070-1073.
2. Gall D., Bieske K. Definition and measurement of circadian radiometric quantities. In *Proceedings of the CIE Symposium '04 on Light and Health*. 2004. 129–132.
3. Rea M. S., et al. Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. *Lighting Research & Technology*. 2012. 44(4), 386–396.
4. Brainhard G.C. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *Journal of Neuroscience*. 2001. 21, 6405-6412.
5. Thapan K. An action Spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *Journal of Physiology*. 2001. 535, 261– 267.
6. Rossi Maurizio. Circadian Lighting Design in the LED Era. *Circadian Lighting Design in the LED*. 2019. 277p.

УДК 621.3

В.І. Корнага, к.т.н. Д.В. Пекур, Ph.D, ст. досл. В.М. Сорокін, д.т.н, проф., чл.кор. НАНУ

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА БАЛАНСУВАННЯ LiFePO₄ АКУМУЛЯТОРІВ

V. Kornaga, Ph.D., D. Pekur, Ph.D., V. Sorokin, Dr. Sci. (Engin.)

ENERGY-EFFICIENT LiFePO₄ BATTERY BALANCING SYSTEM

Складна ситуація в енергетиці України спричинила в останній час суттєвий запит на сучасні потужні системи акумуляування енергії в результаті чого збільшилося використання високонадійних LiFePo елементів акумуляторних батарей, які мають значні перевагу над іншими. Основними з переваг є велика кількість циклів

заряду/розряду (до 7000 разів), низька різниця напруги на елементі акумулятора протягом одного циклу роботи, високий піковий струм, широкий робочий температурний діапазон ($-25^{\circ}\text{C}\div 50^{\circ}\text{C}$) [1]. Крім того напруга на LiFePO акумуляторних елементах складає близько 3,3 В, що дозволяє створювати на їх основі акумуляторні батареї з стандартними напругами (близько 12 В та 24 В). При створенні батареї на основі розглянутих акумуляторів виникає необхідність балансування напруги на послідовно з'єднаних елементах, щоб запобігти перезаряду окремих елементів акумуляторної батареї [2]. На даний час відомо два типи систем балансування пасивні та активні. Оскільки принцип роботи пасивних систем балансування є резистивне шунтування елементів акумуляторної батареї, то даний тип балансування не підходить для потужної акумуляторної батареї через значні втрати енергії (з виділенням значної кількості теплоти) і він функціонує лише при заряді батареї. Активні системи балансування базуються за звичай на передачі енергії від акумулятора з більшою напругою на акумулятор/акумулятори з меншими напругами [3]. Активні системи балансування в свою чергу поділяються на ємнісні та індуктивні, що вказує на основі якого реактивного елемента побудований балансир.

При використанні активного балансира є декілька проблем. Першою є втрата потужності на комутаціях, що зменшує ефективність системи балансування. Іншою являється зменшення потужності балансування при малій різниці напруги на елементах акумуляторної батареї. Для вирішення даних проблем було запропоновано систему балансування в якій суміщені балансир і зарядний пристрій з функцією балансування. Розроблена система балансування дозволяє розподіляти струм заряду батареї на окремі елементи акумулятора в пропорції по мірі їх розрядів, що відразу зменшує втрати на вторинному балансуванні. Також для зменшення втрат на комутаціях і збільшення величини енергії, що передається між акумуляторами керуючий мікроконтролер в автоматичному режимі змінює частоту комутації і налаштовується на резонансну частоту контуру передачі. Запропонована система балансування розрахована для балансування від двох до чотирьох елементів акумуляторної батареї (тобто з стандартною напругою батареї близько 12 В), а також можливістю під'єднання двох модулів послідовно з загальною кількістю акумуляторів 8 шт.(сумарною напругою біля 24 В). Особливістю розробленої системи є можливість проведення балансування з максимальними струмами в 20 А, а також зменшення втрат балансування завдяки застосуванню гнучкого налаштування системи.

Література

1. Yuejiu Zheng, Mingguo Ouyang, Xuebing Han, Languang Lu, Jianqiu Li, Investigating the error sources of the online state of charge estimation methods for lithium-ion batteries in electric vehicles, *Journal of Power Sources*, Volume 377, 2018, Pages 161-188, ISSN 0378-7753, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.11.094>.
2. Yuejiu Zheng, Mingguo Ouyang, Languang Lu, Jianqiu Li, Xuebing Han, Liangfei Xu, Hongbin Ma, Thomas A. Dollmeyer, Vincent Freyermuth, Cell state-of-charge inconsistency estimation for LiFePO₄ battery pack in hybrid electric vehicles using mean-difference model, *Applied Energy*, Volume 111, 2013, Pages 571-580, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.05.048>.
3. Amin, A., Budiman, A. C., Kaleg, S., Sudirja, S., & Hapid, A. (2021). Active battery balancing system for electric vehicles based on cell charger. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 12(3), 1729.