

забезпечення прямого (без мультиплікатора чи редуктора) з'єднання валів гідротурбіни й електрогенератора було б доцільно застосувати гідротурбіну з діаметром робочого колеса $D_2 = 0,39 \div 0,40$ м, забезпечивши тим самим робочу частоту обертання валів як турбіни, так і електрогенератора на рівні $n_2 = 756$ об/хв (мова йде про використання асинхронного електрогенератора).

Література

1. Тарасенко М.Г., Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Шляхи прискорення темпів розвитку малої гідроенергетики в Україні. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, 2014, Вип. 4, Сс. 56–61.
2. Тарасенко М.Г., Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Переваги і проблеми кількісного розвитку малої гідроенергетики та шляхи їх розв'язання. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, 2014, Вип. 2, Сс. 31–39.
3. M. Zin, V. Koval, M. Tarasenko, I. Sysak. Creation and substantiation of the matrix for model series of tubular propeller turbines for small hydropower plants. *Scientific Journal of TNTU*, 2023, No 109 (1), Pp. 24–32.
4. М. Зінь. Технічне й екологічне обґрунтування вибору типорозмірів гідротурбін для низьконапірних малих ГЕС. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 2022, Вип. 4, Сс. 94–101.
5. Л. Колодійчук, В. Коваль, М. Зінь. Моделювання процесу підготовки фахівців з електричної інженерії за допомогою смарт-технологій. *Науковий вісник Ужгородського університету*. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота». – 2025. – Том 1. – № 56. – С. 81–85.

УДК628.921

Т.Л.Киянчук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОДІОДНИХ СИСТЕМ

T.L.Kyyanchuk

WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF LED SYSTEMS ANALYSIS

Реалії теперішнього часу вимагають впровадження сучасних ефективних технологій генерування, передачі та споживання електроенергії. Одним із важливих споживачів електроенергії є освітлювальні установки різного призначення. Згідно з прогнозом Міжнародного енергетичного агентства до 2030 року світовий ринок світлодіодного освітлення становитиме понад 70% ринку освітлення. Тому дослідження шляхів підвищення енергоефективності світлодіодних систем освітлення є актуальною задачею, вирішення якої сприятиме зменшенню електроенергії, підвищенню екологічності, надійності та комфортності для споживачів.

Енергоефективність світлодіодних систем залежить від трьох основних факторів: ефективності окремих світлодіодів чи світлодіодних матриць; ефективності світлових приладів із світлодіодними джерелами світла; режимів та параметрів живлення світлодіодних приладів. Оптимізація кожного з факторів дозволить збільшити загальну енергоефективність систем освітлення.

Для оцінки світлової ефективності джерел світла використовується співвідношення між світловим потоком із заданою оптичною потужністю випромінювання $p_o(\lambda)$, яка визначена за реакцією людського ока $V(\lambda)$, та потужністю джерела електроенергії p_e , що використовується для створення світлового потоку:

$$\eta = \frac{\int_{400}^{700} p_o(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{p_e}$$

Максимальна світлова віддача для джерела білого світла без втрат при перетворенні електричної потужності на світлову з прийнятною якістю кольоропередачі становить 414 лм/Вт. Однак через втрати при перетворенні електричної потужності на світлову практична світлова ефективність не перевищує 255 лм/Вт. Основою світлодіодних освітлювальних приладів є пакет світлодіодів. Існує дві архітектури пакетів світлодіодів білого свічення: схема з люмінофорним перетворенням (pc – *phosphor-converted*), яка є домінуючою в сучасних продуктах; і схема змішання кольорів (cm – *color-mixed*). Для pc-архітектури світлодіода теплого білого кольору свічення (InGaN.CRI=80 і CCT 3000 K) світлова ефективність визначається добутком ефективності синього світлодіода (66%), ефективності люмінофора та ефективності змішування, розсіювання, поглинання всередині світлодіодного пакету (63%), ефективності білого свічення (78%) і становить 33%. Ефективність синього світлодіода визначається комбінацією втрат потужності на електричному опорі, на внутрішніх квантових втратах через невикористовувану рекомбінацію інжектованих електронів і дірок при низькій густині струму, на зниженні ефективності через роботу при більш високій густині струму та на втратах через неповне вилучення синього світла з напівпровідникового матеріалу InGaN. Люмінофори зеленого і червоного свічення втрачають потужність через невикористовувану рекомбінацію електронів і дірок, дефіциту Стокса через нижчі енергії зеленого та червоного фотонів порівняно з синіми фотонами, а також втрати на змішування, розсіювання, поглинання всередині світлодіодного пакету. Мінімізація вказаних втрат потужності є можливістю для підвищення ефективності світлодіодів білого свічення. Шляхами підвищення ефективності світлодіодних пакетів pc-архітектури є створення матеріалів з високим коефіцієнтом заломлення, нових мікро- та нанооптичних форм або геометрії, застосування когерентних чи частково когерентних направлених пучків випромінювання напівпровідника, розробка нових люмінофорів з вищою квантовою ефективністю випромінювання.

На загальну ефективність світлодіодних світильників впливає ряд факторів: тепловий режим світильника, ефективність драйвера світлодіодного пакету, ефективність оптичної системи світильника. Елементами світильника, які впливають на його світлову ефективність, є механічні, терморегулюючі та оптичні структури, які використовуються для інтеграції світлодіодних пакетів у більший світильник. Робочий струм світлодіодної матриці, температура навколишнього середовища та тепловий дизайн світильника визначають робочу температуру світлодіодного пакета та його ефективність після врахування теплового провисання. Покращена термічна обробка, зменшення робочого струму знизить робочу температуру світлодіода та приведе до вищої ефективності джерела світла. Використання механічних конструкцій у світильнику для розсіювання тепла може допомогти тепловому дизайну, не змінюючи габарити світильника та покращуючи його надійність за рахунок зниження частоти відмов компонентів у блоці живлення. За рахунок розробки систем світлодіодного освітлення з покращеним оптичним керуванням (лінзами, розсіювачами, відбивачами тощо) оптимізований світловий розподіл випромінювання дозволяє зменшити величину

світлового потоку світильника при досягненні заданих рівнів освітленості за рахунок зменшення надлишкового та нецільового освітлення. Малі розміри світлодіодів дозволяють створювати нові форм-фактори освітлення, які можуть змінити спосіб інтеграції освітлення в будівлі. Світлодіодне освітлення також надає нові можливості інтеграції, такі як робота з мікромережами постійного струму, щоб мінімізувати втрати при перетворенні змінного струму у постійний на кожному приладі або при використанні відновлюваних джерел енергії та їх акумуляторних систем без необхідності перетворення постійного струму в змінний для живлення світильників.

Ефективність живлення світлодіодних систем залежить від топології драйвера і схем світлодіодного приводу, функціональності, його розміру та вартості. Вдосконалення світлодіодних блоків живлення ведеться у напрямках інтеграції елементів керування та функцій зв'язку в блок живлення, впровадження додаткових рівнів функціональності та контролю за рахунок адресації та керування окремими ланцюжками світлодіодів, застосування технологій димінгування. Основними методами димінгування є лінійне димінгування та широтно-імпульсна модуляція живлення світлодіодів. Перевагами ШІМ-димінгування є енергоефективність, стабільна робоча температура, зниження теплового навантаження на світлодіод, збільшена довговічність, краща кольоропередача, інтеграція з розумними будинками та технологіями. Оптимізація режимів живлення світлодіодних систем, що включає раціональний підбір амплітуди, частоти імпульсів, шпаруватості, забезпечує підвищення енергоефективності, екологічності, надійності освітлювальних систем із забезпеченням нормативних вимог до параметрів світлового середовища на об'єктах експлуатації системи освітлення.

Література

1. Paul Morgan Pattison, Monica Hansen, Jeffrey Y. Tsao. LED Lighting Efficacy: Status and Directions/ Comptes Rendus Physique. March–April 2018. Vol.19, no 3. P.134-145.
2. J.Y. Tsao, M.E. Coltrin, M.H. Crawford, J.A. Simmons. Solid-State Lighting: an Integrated Human Factors, Technology, and Economic Perspective. Proc. IEEE, 98 (7) (2010). P. 1162-1179.

УДК 621.31

В.П. Коваль, к.т.н.; О. І. Похилий

Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, Україна

ВІТРОЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ БУДІВНИЦТВА НОВИХ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

V.P. Koval Ph.D; O. I. Pokhylyy

WIND ENERGY IN UKRAINE: PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE CONSTRUCTION OF NEW WIND POWER PLANTS

Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) відіграють важливу роль у реалізації концепції сталого розвитку, оскільки забезпечують збалансований взаємозв'язок між економічним зростанням, соціальним добробутом та збереженням природного середовища. Екологічне значення ВДЕ пов'язане із зниженням рівня забруднення повітря, води й ґрунтів через відсутність продуктів горіння, зменшення викидів парникових газів, сповільнення процесу глобального потепління. ВДЕ, зокрема, вітрові електростанції, сприяють переходу до моделей економічного і соціального розвитку,