

УДК 621.47

Володимир Закордонець, к. ф.-м. н., доц., Наталія Кутузова

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

СТАБІЛІЗАЦІЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ СВІТЛОДІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ МОДУЛЯМИ ОХОЛОДЖЕННЯ

Для стабілізації теплового режиму LED запропоновано використовувати термоелектричні модулі охолодження (ТЕМО). Система охолодження працює за рахунок виникнення перепаду температур між гарячою і холодною поверхнями ТЕМО. Отримані аналітичні залежності температури гетеропереходу LED від струму живлення ТЕМО при різних потужностях LED та при різних значеннях теплового опору системи охолодження.

Ключові слова: світлодіод, гетероперехід, тепловий режим, тепловий опір, термостабілізація, термоелектричний модуль охолодження, радіатор.

Volodymyr Zakordonets, Nataliia Kutuzova THERMAL MODE STABILIZATION OF LED THERMOELECTRIC MODULES OF COOLING

It is proposed to use the thermoelectric cooling modules (TCM) to stabilize the thermal mode of the LED. The cooling system operates due to the temperature difference between the hot and cold surfaces of the TCM. The temperature of the heterojunction of the LED is calculated, depending on its power, the total thermal resistance of the cooling system, the ambient temperature and the cold productivity of TCM.

Keywords: LED, heterojunction, thermal regime, thermal resistance, thermalstabilization, thermoelectric modules of cooling, radiator.

Сучасні напівпровідникові джерела світла мають ККД перетворення електричної енергії в світлову близький до 30%. Таким чином, майже 70% підведеної енергії перетворюється в тепло. В умовах збільшення потужності світлодіодів (LED) традиційні системи термостабілізації не завжди справляються із забезпеченням адекватних теплових режимів. Якщо теплову енергію не відводити, то надмірний нагрів LED приведе до деградації світлових характеристик і зменшить його термін експлуатації. Крім того, збільшення температури зменшить яскравість свічення і світловий потік.

Для підвищення ефективності термостабілізації потужних LED застосовуються активні способи тепловідводу: вентилятори, рідинне охолодження, термоелектричне охолодження та ін.. Термоелектричні системи охолодження мають ряд переваг в порівнянні з іншими системами а саме: високу надійність і відсутність рухомих частин, компактність і невелику вагу, малу інерційність і безшумність роботи. Застосування термоелектричних модулів охолодження (ТЕМО) наділяє тепловідвідну систему функцією охолодження, тобто дає можливість досягти температури гетеропереходу LED нижчої ніж температура навколишнього середовища. Особливо актуальним це стає в умовах, коли температура середовища стає рівною або більшою від температури гетеропереходу LED.

Вважаємо, що тепла потужність LED повністю поглинається холодною поверхнею ТЕМО $P_t = P_c$, а від гарячої поверхні при допомозі радіатора відводиться тепла потужність P_h . Для розрахунку теплового режиму LED скористаємося методом електротеплової аналогії. Схема системи стабілізації теплового режиму світлодіоду

оснащеного ТЕМО приведена на рисунку.

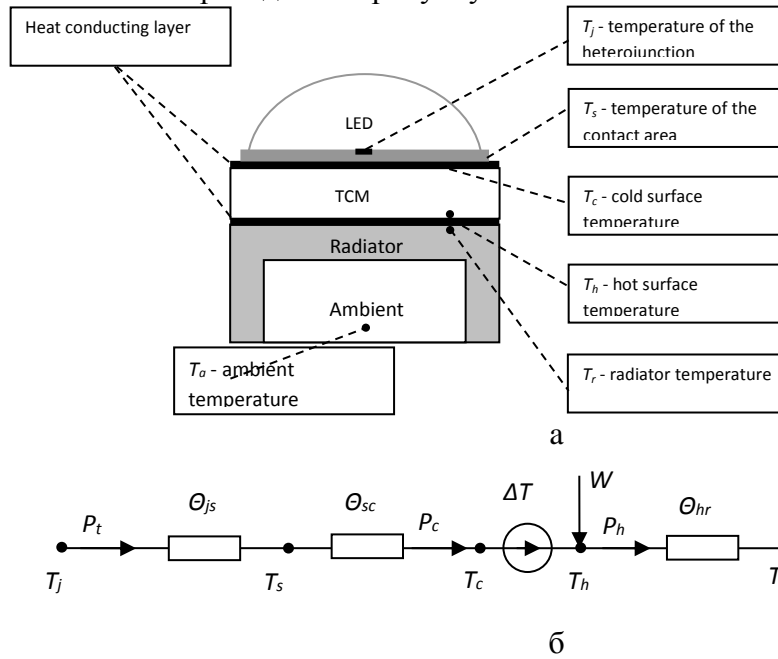


Рис. 1. Схематичне зображення системи стабілізації теплового режиму світлодіоду з ТЕМО та радіатором (а) та його теплова схема (б). Тут \$T_j\$ - температура гетеропереходу LED, \$T_s\$ - температура контактної площадки, \$T_c\$ і \$T_h\$ - температура холодної і гарячої поверхні ТЕМО відповідно, \$T_r\$ - температура радіатора, \$T_a\$ - температура середовища, \$\Delta T\$ – перепад температури між гарячою та холодною поверхнями ТЕМО.

На схемі кожен елемент характеризується своїм тепловим опором. Зокрема, \$\Theta_{js}\$ – тепловий опір між гетеропереходом та контактною площадкою, \$\Theta_{sc} = \Theta_{hr}\$ – теплові опори між контактною площадкою і холодною поверхнею ТЕМО та між гарячою поверхнею ТЕМО і радіатором, \$\Theta_{ra}\$ – тепловий опір між радіатором та середовищем, \$\Delta T = T_h - T_c\$ – перепад температури між гарячою та холодною поверхнями ТЕМО обумовлений ефектом Пельтьє.

Тепловій схемі відповідає рівняння термічної рівноваги:

$$T_j = T_a + P_c \cdot (\Theta_{js} + \Theta_{sc}) + P_h \cdot (\Theta_{hr} + \Theta_{ra}) - \Delta T$$

Теплова потужність, яка поглинається ТЕМО (холодопродуктивність) визначається співвідношенням:

$$P_c = \alpha T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - \kappa \Delta T$$

а від гарячої поверхні при допомозі радіатора відводиться теплова потужність \$P_h\$

$$P_h = \alpha T_h I + \frac{1}{2} I^2 R - \kappa \Delta T$$

де \$\alpha\$ - коефіцієнт диференціальної термоЕРС, \$\kappa\$ – теплопровідність, \$R\$ – опір напівпровідникового матеріалу віток ТЕМО, \$T_c\$ і \$T_h\$ температура холодної і гарячої поверхонь ТЕМО, \$I\$ – струм джерела живлення ТЕМО.

Для температури перегріву гетеропереходу СД отримаємо:

$$\Delta T_j = T_j - T_a = P_c \cdot (\Theta_c + \Theta_h) + (\alpha I \Delta T + I^2 R) \cdot \Theta_h - \Delta T$$

де \$\Theta_c = \Theta_{js} + \Theta_{sc}\$, і \$\Theta_h = \Theta_{hr} + \Theta_{ra}\$ – теплові опори з боку холодної і гарячої поверхонь, \$P_c\$ теплова потужність СД, \$\alpha\$ - коефіцієнт диференціальної термоЕРС, \$\kappa\$ –

теплопровідність, R – опір напівпровідникового матеріалу віток, T_c , і T_h температура холодної і гарячої поверхонь, I – струм джерела живлення ТЕМО

$$\Delta T = T_h - T_c = \frac{1}{\kappa} \cdot \left(\alpha T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - P_c \right),$$

перепад температури між гарячою та холодною поверхнями модуля.

Встановлено, що температура гетеропереходу СД визначається його потужністю, тепловим опором охолоджувальної системи, температурою оточуючого середовища та режимом роботи ТЕМО. Керування режимом роботи модуля здійснюється шляхом зміни величини струму живлення. При розробці і експлуатації термоелектричної системи охолодження важливим питанням є вибір оптимального струму при якому відбувається ефективно охолодження.

Показано, що при даній тепловій потужності СД та тепловому опорі системи охолодження існує оптимальна величина струму живлення ТЕМО, при якому температура гетеропереходу СД досягає мінімуму. При струмах близьких до оптимального, термоелектрична система охолодження дозволяє отримувати нижчі значення температури гетеропереходу ніж традиційна. При оптимальному співвідношенні між потужностями ТЕМО та СД термоелектрична система охолодження дозволяє знижувати температуру гетеропереходу СД до температур нижчих, ніж температура навколишнього середовища. Ефективність використання ТЕМО знижується при збільшенні теплової потужності СД і сумарного теплового опору системи охолодження. При аналізі ефективності роботи системи охолодження слід керуватися не лише параметрами ТЕМО, але і параметрами всієї системи охолодження СД в цілому: сумарним тепловим опором системи охолодження, тепловим навантаженням та режимом роботи ТЕМО.