

Изследване на възможностите за управление на топлинното натоварване на светодиоди за автомобилни фарове

Петко Машков Беркант Гъоч Христо Белоев Тамара Пенчева

Investigation of Possibilities for LED's Thermal Management in Automotive Headlights: Investigations deals with optimization of LEDs' operating regimes in lighting equipment for automotive headlights at high ambient temperatures (up to 100°C) for long term lumen maintenance. High - Flux LED Arrays are chosen as a light source. Fan and Peltie element are used for realization LEDs' active cooling during lamp's operation.

Evaluations of LEDs' thermal loading and temperature distribution on LED arrays and heat sink at different operating currents and different ambient conditions are made. Temperature distributions measurements are aided by infrared camera ThermoCam E300 – FLIR Systems. Thermal management investigations allow determining safety operating conditions for LEDs at maximum light output in dependence of ambient conditions.

Key words: Power LEDs, LEDs' thermal management, LEDs' active cooling.

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните няколко години се наблюдава качествен скок в технологичните характеристики на мощните светодиоди, предназначени за нуждите на осветителната техника. Важно е да се отбележи, че ефективността и дълготрайността на осветително оборудване, реализирано на базата на мощни светодиоди, зависят най-силно от термичните натоварвания, на които са подложени светодиодите по време на експлоатацията. Повишаването на температурата на p-n прехода води до деградация на светодиодите и до влошаване на светлинния добив.

Целта на настоящата разработка е да се изследват възможностите за използване на вентилатори, Пелтие елементи, както и комбинация от двата способа за активно охлаждане на мощни светодиодни модули за автомобилни фарове при високи температури на околната среда (100°C).

ИЗЛОЖЕНИЕ

СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

1. Охлаждане с помощта на вентилатори.



Фиг.1. Вентилатори в системите за охлаждане на електронни компоненти.

В системите за активно охлаждане в електрониката се използват широко вентилатори, което носи редица предимства - фиг.1.

Обикновено недостатъците, които им се приписват, са свързани с нивото на шума, надеждността, допълнителния разход на мощност и натрупването на замърсявания, които влияят на работата им.

Допълнителният разход на мощност в системите за охлаждане на автомобилни фарове на базата на светодиоди не би трябвало да представлява проблем. Типичните мощности на вентилатори, използвани за охлаждане на 100 – 300 ватова осветителни уредби по литературни данни [6] са до 2 W. Като се има предвид типичната мощност на светодиодна осветителна система за фар – около 15 – 20 W, допълнителен разход на мощност до 2 W е напълно приемлив.

Много по-сериозни могат да бъдат проблемите, свързани с надеждността на вентилаторите, използвани за охлаждане при автомобилни фарове. Трябва да се отбележи, че надеждността на вентилатори за охлаждане на електронни компоненти, работещи при температури на околната среда до 40 – 50 °С дори надминава надеждността на светодиодите [6]. Проблемът е, че температурата в пространството около двигателя на автомобила в повечето случаи достига и се поддържа около 100 °С. Като се има предвид, че работата на вентилаторите ще бъде съпроводена с резки промени на температурата, вибрации, както и значителни замърсявания, логично е да се очакват проблеми с надеждността им при такива условия.

2. Охлаждане с помощта на термоелектрически преобразуватели (елементи на Пелтие).

Модулите на Пелтие са термоелектрически преобразуватели, принципът на които е базиран на ефекта на Пелтие, открит още през 1834 г. Същността на процеса се заключава във възникването на температурна разлика в мястото на контакт на различни материали при протичане на електрически ток през тях. Затова можем да говорим за пренасяне на топлинна енергия от едната страна на модула на Пелтие към другата и като следствие, възникване на топлинна разлика в температурите на двете страни на модула. Модулите на Пелтие имат редица достоинства:

- Сравнително малки размери.
- Възможност за работа както на охлаждане, така и на нагряване на системата.
- Липса на подвижни части, които лесно се износват.

В същото време модулите на Пелтие имат и редица недостатъци, съществено задържащи масовото им приложение:

- Нисък коефициент на полезно действие на модулите.
- Необходимост от източник на ток за тяхната работа.
- Голяма консумирана мощност за достигане на забележима разлика в температурите и като следствие, съществено топлоотделяне.

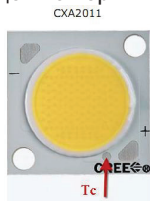
Ограничени от размерите полезни характеристики.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

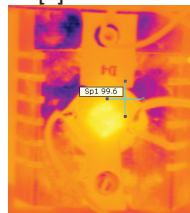
При експерименталните изследвания е използван Пелтие модул TEC1-12706 с максимална мощност $P=90W$.

Експерименталните изследвания са извършени като са използвани светодиодни модули XLamp High-Flux LED Arrays CXA2011, CREE Inc. със светлинен поток 1000 lm при номинален ток 270 mA през модула, при температура на p-n прехода $T_j = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1].

За оценка на топлинното натоварване и температурата на p-n прехода T_j е използван модел на термичните съпротивления, описан в [1].



Фиг. 2. Снимка на светодиоден модул Cree XLamp CXA2011 LED; T_c – място за монтаж на термодвойка [1].



Фиг.3. Инфрачервена снимка на светодиоден модул монтиран върху радиатор с вентилатор при $T_a=95^{\circ}\text{C}$.

Експерименталните изследвания са извършени в термокамера, в която температурата е поддържана с точност не по-лоша от $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ от желаната стойност. Светодиодният модул се захранва от източник на ток, като големината на тока е поддържана 300 mA. Температурните режими на работа на светодиодите в разработеното осветително оборудване са изследвани с помощта на инфрачервена камера Therna Cam E300 – FLIR Systems, фиг. 3. Получените експериментални резултати са верифицирани чрез конвенционални температурни измервания (с помощта на термодвойки) както е препоръчано в [1].

Измервано е напрежението върху светодиодния модул и е изчислявана консумираната мощност:

$$P_{\text{LED}} = 12.3\text{W} \div 11.2\text{ W при } 300\text{mA}; \quad (1)$$

в зависимост от температурата.

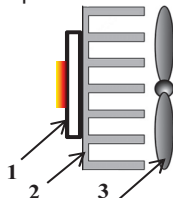
За всяка измерена стойност на температурата на платката T_c (фиг.2) и данни от производителя за $R_{\text{th } j-c}$ на светодиодния модул е изчислена съответстващата температура на p-n прехода в съответствие с:

$$T_j = T_c + R_{\text{th } j-c} * P_{\text{LED}}. \quad (2)$$

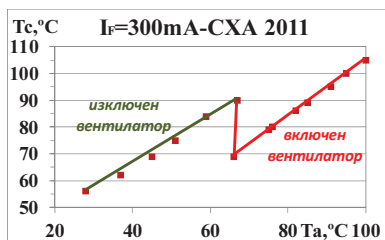
Светодиодният модул CXA2011 е монтиран върху охлаждащ радиатор с топлинно съпротивление около 2 K/W (използван и при предишни изследвания – [2]), който осигурява безпроблемна експлоатация на светодиода при температури на околната среда до 45°C и до 90°C . Резултати от тези изпитания при предишни изследвания са представени резултати за температурата на p-n прехода на светодиодния модул, която е далече от максимално допустимите стойности ($T_{j\text{MAX}} = 150^{\circ}\text{C}$). При повишаване на температурата на околната среда T_a логично расте температурата на платката T_c и температурата на p-n прехода T_j , като при температура на околната среда 90°C температурата на p-n прехода става опасно висока – над 120°C .

Очевидно за работа на светодиодния модул при подобни температури на околната среда е необходимо да се приложи друг метод за охлаждане.

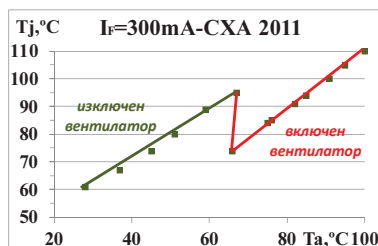
На фиг.4 схематично е показан светодиодният модул 1, монтиран към охлаждащия радиатор 2 и вентилатора 3.



Фиг. 4. Схема на светодиодния модул, монтиран към охлаждащ радиатор с вентилатор. 1 – светодиоден модул; 2 – охлаждащ радиатор; 3 – вентилатор.



Фиг.5. Зависимост на температурата на платката T_c от температурата на околния въздух T_a ; $I_F = 300\text{ mA}$ – големина на тока през светодиодния модул.



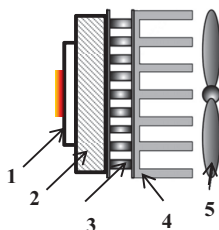
Фиг.6. Зависимост на температурата на p-n прехода T_j от температурата на околния въздух T_a ; $I_F = 300\text{ mA}$ – големина на тока през светодиодния модул.

На фиг. 5 и фиг. 6 са представени получените резултати.

Вентилаторът се включва при достигане на температура на платката 90°C , при което температурата на р-п прехода на светодиода е около 95°C – фиг. 6.

Анализът на получените експериментални резултати показва, че използването на активно охлаждане с помощта на вентилатори позволява температурата на р-п прехода на светодиодите да се поддържа далечно от максимално допустимата – $T_{\text{JMAX}} = 150^{\circ}\text{C}$. Въпреки това достиганите температури на р-п прехода – около 100°C са сравнително високи, което води до деградация на светодиодите, намаляване на светлинната им ефективност (до 10%) и скъсяване на времето на живот на осветителните уредби.

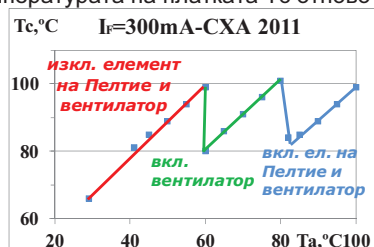
Поради тези причини е изследвана възможността за създаване на комбинирана система за активно охлаждане за автомобилни фарове с LED технология, която включва използването на термоелектрически генератор (елемент на Пелтие) и вентилатор – фиг. 7.



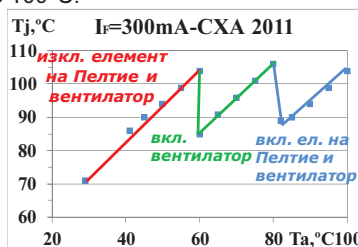
Фиг. 7. Схема на светодиодния модул заедно с елемент на Пелтие и вентилатор, монтирани към охлаждащ радиатор. 1 – светодиоден модул; 2 – алуминиева плоча; 3 – елемент на Пелтие; 4 – охлаждащ радиатор; 5 – вентилатор.

Получените резултати от експерименталните изследвания за зависимостите на температурите на платката T_c и на р-п прехода T_j от температурата на околната среда, пада на напрежение върху Пелтие елемента U_p , мощността, консумирана от него P_p и мощността, консумирана от охлаждащия вентилатор са представени в Таблица 2 и на фиг. 8 и 9.

Вентилаторът се включва когато температурата на платката T_c достигне 100°C , при което температурата намалява; елементът на Пелтие се включва когато температурата на платката T_c отново достигне 100°C .



Фиг. 8. Зависимост на температурата на платката T_c от температурата на околния въздух T_a при охлаждане с вентилатор и елемент на Пелтие; $I_f = 300 \text{ mA}$ – големина на тока през светодиодния модул.



Фиг. 9. Зависимост на температурата на р-п прехода T_j от температурата на околния въздух T_a при охлаждане с вентилатор и елемент на Пелтие; $I_f = 300 \text{ mA}$ – големина на тока през светодиодния модул.

Както се вижда от получените резултати при такъв дизайн на охладителния възел може да се осигури температура на р-п прехода на светодиодния модул по-ниска от 100°C при температура на околната среда 100°C .

Трябва да се отбележи, че за тези модули производителят представя номинални параметри при температура на р-п прехода 85°C.

Като се вземат предвид данните за относителния светлинен поток от светодиодния модул в зависимост от температурата на р-п прехода [1] и сумарния разход на мощност – светодиод плюс вентилатор плюс Пелтие елемент може да се оцени светлинната ефективност (в lm/W) на така конструираната система.

При използване на първата система за охлаждане – само с вентилатор – фиг. 4 температурата на р-п прехода достига 110°C, като светлинната ефективност на светодиодите намалява от 80 lm/W до около 65 lm/W (допълнителен разход на мощност 2 W).

При използване на втората система за охлаждане – с вентилатор и елемент на Пелтие – фиг. 7 температурата на р-п прехода достига 104°C, като светлинната ефективност на светодиодите намалява от 80 lm/W до около 55 lm/W (допълнителен разход на мощност около 5 W).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създадени и изпитани са системи за активно охлаждане на светодиодни модули с мощност 11 – 13 W по време на работа при високи температури на околната среда - 100°C. Чрез използване на охлаждане с помощта на вентилатор и вентилатор в комбинация с Пелтие елемент температурата на р-п прехода на светодиодния модул се поддържа в границите, препоръчани от производителя, което гарантира добра светлинна ефективност, дълъг живот и безаварийна работа на осветителното оборудване при малък допълнителен разход на мощност (под 4 W).

Изследванията, използвани в тази работа са извършени при изпълнение на проект 2014-ФТ-04.

ЛИТЕРАТУРА

[1] XLamp LED Thermal management; www.cree.com/xlamp.

[2] Mashkov P. H., B. S. Gyoch, S. M. Penchev, Energy effective LED Lamp Thermal Management, International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering, MAY 17-18, 2013, RUSE, BULGARIA, Electrotechnica&Electronica, pp.80-85.

[3] Li J., B. Ma, R. Wang, L. Han, Study on a cooling system based on thermoelectric cooler for thermal management of high-power LEDs, Microelectronics Reliability, 51, 2011, pp. 2210–2215.

[4] Zhua W., Y. Deng, Y. Wang, A. Wang, Finite element analysis of miniature thermoelectric coolers with high cooling performance and short response time, Microelectronics Journal, 44, 2013, pp. 860–868.

[5] Jugsujinda S., A. Vora-ud, and T. Seetawan, Analyzing of Thermoelectric Refrigerator Performance, Procedia Engineering, 8, 2011, pp. 154–159.

[6] Pickering S.G., K. Chatterjee, D.P. Almond, S. Tuli, LED optical excitation for the long pulse and lock-in hermographic techniques, NDT&E International, 58, 2013, pp. 72–77.

За контакти:

Доц. д-р Петко Машков, Катедра “Физика”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 583, e-mail: pmashkov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.