

Течно охлаждане на светодиоди за автомобилни фарове

Петко Машков Беркант Гъоч Христо Белоев Тамара Пенчева

Liquid Cooling of LED's for Automotive Headlights: *The aim of this paper is to investigate an active liquid cooling solution of LEDs in an application of automotive headlights. High - Flux LED Arrays are chosen as a light source. Several configurations of the active liquid cooling system with and without Peltie element are studied to find an optimum thermal performance.*

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 бурното развитие на производството на мощни светодиоди и светодиодни модули с голяма светлинна ефективност доведе до големи промени в осветителната техника. Тези тенденции не подминаха и автомобилната индустрия, като се появиха и първите автомобилни фарове, в които се използват светодиодни модули като светлинни източници. Предимствата на такъв тип автомобилни фарове са много:

- светлинният поток е съизмерим, а дори и по-голям в сравнение с ксеноновите фарове;

- интензитетът на светлинния поток може да се управлява в зависимост от условията на околната среда;

- в комбинация с камера светлинният поток може да се регулира така, че да осигурява оптимална осветеност на пътното платно, като същевременно не заслепява движещите се насреща автомобили;

- консумацията на енергия на светодиодните автомобилни фарове е до 4 – 5 пъти по-малка в сравнение със сега използваните;

- животът на светодиодите е съизмерим (дори по-голям) от този на автомобилите, т.е. отпада необходимостта от смяна на крушки и др.

Важно е да се отбележи, че всички предимства на светодиодните източници на светлина могат да се реализират само при осигуряване на подходящ топлинен режим по време на работа.

Когато топлинното натоварване на светодиодното оборудване е прекалено голямо, за да бъде компенсирано от пасивна охлаждаща система, може да се окаже, че приложението на активно охлаждане е единственият възможен избор. Известни са много методи за активно охлаждане – с вентилатори, течно охлаждане, топлинни тръби и т.н [1-5].

Целта на настоящата разработка е да се изследват възможностите за използване на течно охлаждане и течно охлаждане в комбинация с Пелтие елементи за активно охлаждане на мощни светодиодни модули за автомобилни фарове при високи температури на околната среда (до 100°C).

ИЗЛОЖЕНИЕ

СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

Някои от най-разпространените методи за активно охлаждане на електронни компоненти включват охлаждане с помощта на течност, с използване на Пелтие елемент, както и комбинация от двата метода.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

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

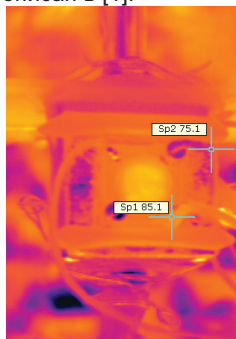
Експерименталните изследвания са извършени като са използвани светодиодни модули XLamp High-Flux LED Arrays CXA2011, CREE Inc. със светлинен поток 1000 lm при номинален ток 270 mA през модула, при температура на p-n прехода $T_j = 85\text{ }^\circ\text{C}$ [1].

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

CXA2011



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



Фиг.2. Инфрочервена снимка на светодиоден модул монтиран върху радиатор с вентилатор при $T_a=100^\circ\text{C}$, $T_c=85^\circ\text{C}$, температурата на топлообменник 1 - $T_1=76^\circ\text{C}$.

Експерименталните изследвания са извършени в термокамера, в която температурата е поддържана с точност не по-лоша от $\pm 1^\circ\text{C}$ 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 инфрочервена камера Thermo Cam E300 – FLIR Systems, фиг. 2. 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:

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

в зависимост от температурата.

За всяка измерена стойност на температурата на платката T_c (фиг.1) и данни от производителя за $R_{th\ j-c}$ на светодиодния модул е изчислена съответстващата температура на p-n прехода в съответствие с:

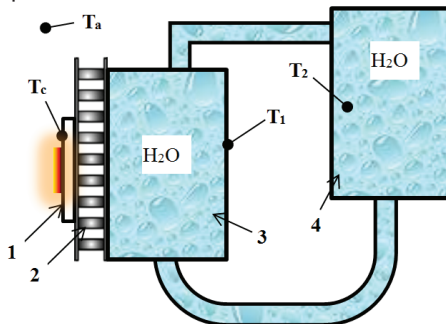
$$T_j = T_c + R_{th\ j-c} \cdot P_{LED}. \quad (2)$$

Светодиодният модул CXA2011- 1, фиг. 3, е монтиран върху алуминиева плоча с размери 40/40/5 mm; между нея и топлообменник 1 е монтиран елементът на Пелтие 2, фиг. 3. Най-високото ниво на топлообменник 1 е на около 50 mm по-ниско от долния край на топлообменник 2.

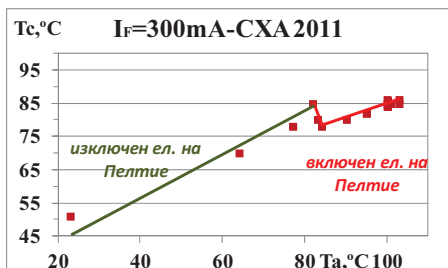
На фиг. 3 схематично е показан светодиодният модул 1, монтиран към топлообменник 1.

Светодиодният модул със системата за охлаждане са монтирани в термокамера с метални стени. Теплообменник 2 е монтиран върху външната стена на камерата, като между него и стената няма топлинна изолация. Температурата в камерата се повишава плавно, като от стайна до 100°C се достига за около 60 минути, след което температурата на въздуха в камерата се поддържа 100°C . Измерват се: температурата на въздуха T_a , температурата на платката T_c ,

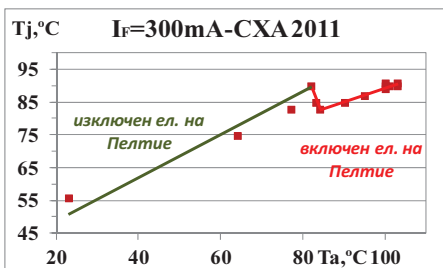
температурите T_1 и T_2 на двата топлообменника, токът през Пелтие елемента I_p и напрежението U_p върху него. Изчисляват се: температурата на р-п прехода T_j и мощността, консумирана от Пелтие елемента P_p . Експерименталните резултати са представени на фиг. 4 и фиг. 5.



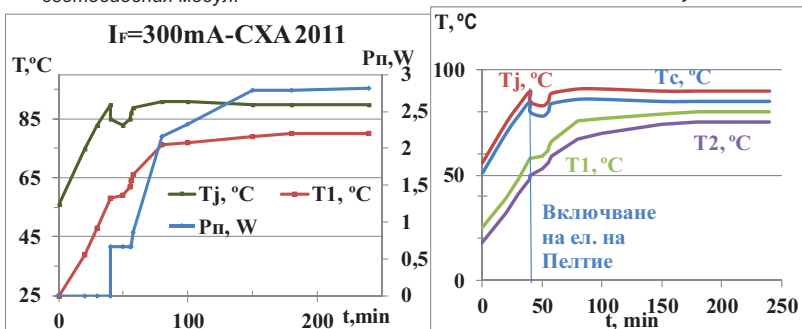
Фиг. 3. Схема на светодиодния модул, монтиран към топлообменник с течно охлаждане. 1 – светодиоден модул; 2 – елемент на Пелтие; 3 – топлообменник 1; 4 – топлообменник 2.



Фиг. 4. 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. 5. Зависимост на температурата на р-п прехода T_j от температурата на околния въздух T_a ; $I_F = 300\text{ mA}$ – големина на тока през светодиодния модул.



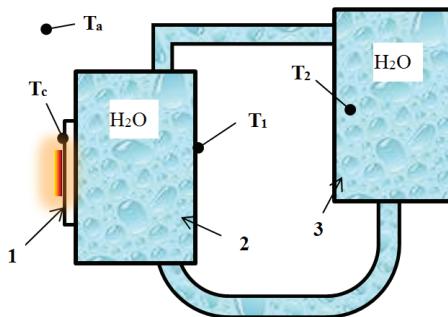
Фиг. 6. Зависимости на температурите на р-п прехода T_j , на платката T_c и на двата топлообменника T_1 и T_2 от времето при продължителна експлоатация.

Пелтие елементът се включва при достигане на температура на платката 85°C , при което температурата T_j на светодиода е около 90°C – фиг. 4 и фиг. 5.

Анализът на получените експериментални резултати показва, че използването на активно течно охлаждане в комбинация с Пелтие елемент позволява температурата на р-п прехода на светодиодите да се поддържа далеч от

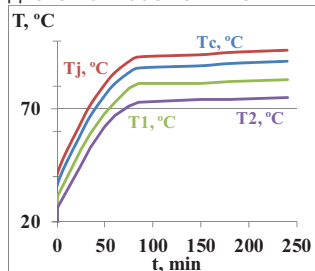
максимално допустимата - $T_{j\text{MAX}} = 150^{\circ}\text{C}$. Както се вижда от представените резултати с тази система за активно охлаждане е възможно температурата на p-n прехода да се поддържа практически равна на номиналната температура, посочена от производителя. Това гарантира много добра светлинна ефективност на светодиодите, дълъг живот и безаварийна работа на осветителната система.

Извършени са експериментални изследвания и за система за охлаждане на базата на същата конструкция, но без Пелтие елемент – фиг. 7. Светодиодният модул е монтиран директно върху топлообменник 1, а движението на охлаждащата течност е на базата на естествената конвекция. Изследван е ходът на температурите на платката T_c , на p-n прехода T_j и на двата топлообменника T1 и T2 във времето, като схемата на процеса се запазва същата – температурата на въздуха в камерата се повишава от стайна до 100°C за 60 минути, след което се поддържа 100°C в продължение на 4 часа.

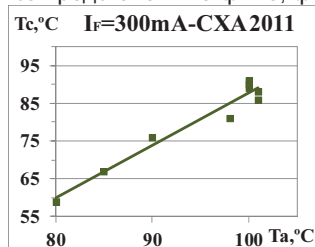


Фиг. 7. Схема на светодиодния модул, монтиран към топлообменник с течно охлаждане. 1 – светодиоден модул; 2– топлообменник 1; 3 - топлообменник 2.

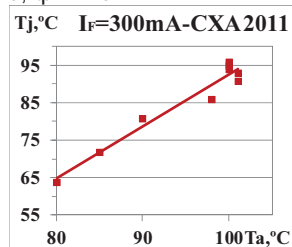
Получените резултати от експерименталните изследвания за зависимостите на температурите на платката T_c и на p-n прехода T_j , както и за температурите на двата топлообменника T1 и T2 са представени на фиг.8, фиг.9, фиг. 10.



Фиг.8. Зависимости на температурите на p-n прехода T_j , на платката T_c и на двата топлообменника T1 и T2 от времето при продължителна експлоатация.



Фиг.9. Зависимост на температурата на платката T_c от температурата на околния въздух T_a при течно охлаждане с естествена конвекция; $I_F = 300\text{mA}$ – големина на тока през светодиодния модул.



Фиг.10. Зависимост на температурата на p-n прехода T_j от температурата на околния въздух T_a при течно охлаждане с естествена конвекция; $I_F = 300\text{mA}$ – големина на тока през светодиодния модул.

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

Производителят представя номинални параметри за тези модули при температура на p-n прехода 85°C .

Погледнато формално, експерименталните резултати при системата без елемент на Пелтие показват, че тя е по-подходяща – температурата на р-п прехода е само с 5 – 6 градуса по-висока и светодиодният модул може да се експлоатира без проблеми при такива условия. Трябва да се отбележи обаче, че температурата на околния въздух, който контактува със стените на топлинната камера по време на експерименталните изследвания е около 20°C – 22°C. В реални условия на експлоатация тази температура може да достигне 45°C - 50°C. Тогава температурата на р-п прехода може да се повиши до недопустимо високи стойности, т.е. използването на елемент на Пелтие в системата за охлаждане е задължително.

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 Пелтие елемент може да се оцени светлинната ефективност (в lm/W) на така конструираното осветително оборудване.

При използване на първата система за охлаждане – с Пелтие елемент – фиг. 3 температурата на р-п прехода достига 90°C, като светлинната ефективност на светодиодите намалява от 80 lm/W до около 65 lm/W (**допълнителен разход на мощност 2,8 W**).

При използване на втората система за охлаждане – без елемент на Пелтие – фиг. 7 температурата на р-п прехода достига 96°C, като светлинната ефективност на светодиодите намалява от 80 lm/W до около 75 lm/W (**без допълнителен разход на мощност**).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създадени и изпитани са системи за активно охлаждане на светодиодни модули с мощност 12 – 13 W по време на работа при високи температури на околната среда - 100°C. Чрез използване на течно охлаждане 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 3 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.

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.