

METHODS FOR LEDS' THERMAL LOADING ESTIMATION

**Assoc. Prof. Petko Mashkov, PhD**  
 Department of MMEEG and Physics,  
 “Angel Kanchev” University of Ruse  
 Phone: 082-888 218  
 E-mail: pmashkov@uni-ruse.bg

**Abstract:** Design of LED luminaire demands precise thermal management calculations and investigations. Thermal management calculations allow estimating temperature distribution on the LEDs, metal – core printed circuit boards (MCPCB) and heat sink but often real results may be different and experimental investigations are obligatory. Three measuring methods for estimation LEDs’ junction temperature variations at different operating conditions are presented – by thermocouple, by infrared camera and by employing the temperature dependence of LEDs’ forward voltage drop. Application of IR thermography for the middle spectral region (8 - 13 μm) gives appropriated results. Suitable, cheap and reliable method for direct measuring LEDs’ junction temperatures during operating of lighting equipment is proposed. It is based on the variations of forward voltage drop on LEDs’ junction in dependence of junction’s temperature. Recommendations about calibrations, calculations and junctions’ temperatures evaluations are presented. Developed method allows achieving of reliable results “in situ” about thermal performance of LEDs using non expensive experimental equipment. Results of these investigations allow determining proper LEDs’ regimes of operation.

**Keywords:** Power LEDs; LEDs’ luminous flux control, LEDs’ thermal management.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

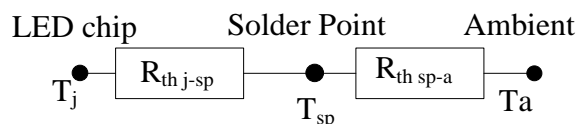
Мощните светодиоди имат много предимства за приложение в осветителното оборудване. Енергийната ефективност на светодиодно осветителното тяло е няколко пъти по-добра от ефективността на други източници на светлина. Дългият живот на LED е забележителен - пет до петдесет пъти по-дълъг от другите източници на светлина, преди да се наложи поддръжка. Но всички предимства на светодиодите в осветителното оборудване могат да бъдат реализирани само при правилни температурни режими на работа. По време на работа на светодиодите около над 70% от електрическата енергия се превръща в топлина в чипа на светодиода ([https:// www.cree.com/xlamp](https://www.cree.com/xlamp)). Известно е, че по-голямата част от механизмите за повреда на светодиодите са зависими от температурата. Повишените температури на p-n прехода причиняват намаляване на светлинната ефективност и предизвикват ускорена деградация на чипа.

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

**Методи за оценка на термичното натоварване на светодиоди по време на експлоатация.**

В повечето случаи мощните светодиоди се монтират върху печатни платки с метална сърцевина (MCPCB), които се прикрепят към отвеждащ топлината радиатор. Топлината, отделена от p-n прехода на светодиода, преминава през MCPCB до радиатора в резултат на топлопроводност. Радиационен и конвективен топлообмен от този тип светлинен източник към околната среда практически отсъства. Термичното съпротивление между p-n прехода на светодиода и околната среда е сума от топлинни съпротивления от p-n прехода до точката на запояване ( $R_{th j-sp}$ ), от точката на запояване до радиатора ( $R_{th sp-h}$ ) и от радиатора до околната среда ( $R_{th ha}$ ), (Фиг.1):

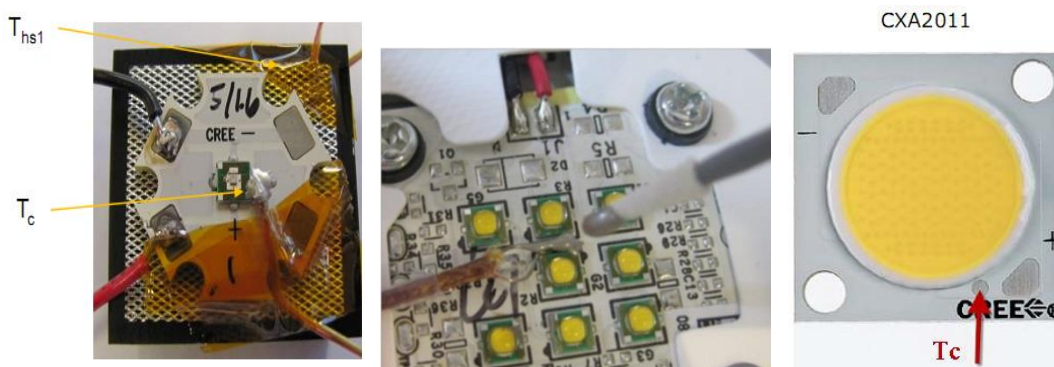
$$R_{th j-a} = R_{th j-sp} + R_{th sp-h} + R_{th h-a} \tag{1}$$



Фиг.1. Модел на термичните съпротивления между светодиод и околната среда

### Оценка на термичното натоварване на светодиоди чрез измерване на температура с помощта на термодвойки.

Температурата на p-n прехода най-често не може да се измери директно, но тази стойност може да бъде изчислена, като се използват данни за температурата, измерена на изходите на светодиода, или в най-близката точка до извода на пистата, върху която е запоен светодиода ( $T_{sp}$  или  $T_c$ ), (Фиг.2).



Фиг.2. Препоръчителни места за монтаж на термодвойки за оценка на термичното натоварване на светодиоди по време на работа ([https:// www.cree.com/xlamp](https://www.cree.com/xlamp)).

Обикновено се измерва температурата в точката на спойката на светодиода и за всяка стойност на температурата на точките ( $T_{sp}$  или  $T_c$ ) се изчислява съответната температура на p-n прехода на светодиода в съответствие с (2):

$$T_j = T_{sp} + R_{th\ j-sp} * P_{THLED} \quad (2)$$

където  $P_{THLED}$  е мощността на LED чипа, а  $R_{th\ j-sp}$  се получава от данни на производителя на светодиода. Правилното използване на уравнение (2) изисква получаването на следните данни: надеждни резултати за температурата на точката на запояване  $T_{sp}$ ; резултати за топлинно съпротивление от p-n прехода до точката на запояване ( $R_{th\ j-sp}$ ); реалните стойности на мощността на светодиода  $P_{LED}$  по време на работа.

При нормални работни условия приблизително 50% до 60% от входната мощност се извежда като топлина, докато останалата част от входната мощност се преобразува в светлина. При консервативен подход се приема, че светодиодите преобразуват 25% от входната мощност в светлина и извеждат 75% от входната мощност като топлина ([https:// www.cree.com/xlamp](https://www.cree.com/xlamp)). Тази оценка варира в зависимост от плътността на тока, яркостта и конкретния обект на изследване, но е добра оценка за термичен дизайн. Уравнение 3 по-долу показва как да се изчисли топлинната мощност.

$$P_{THLED} = 0,75 * I_F * U_F, \quad (3)$$

където:  $P_{THLED}$  е топлинната мощност (W);  $U_F$  е напрежението в права посока върху светодиода (V);  $I_F$  е големината на тока през светодиода (A).

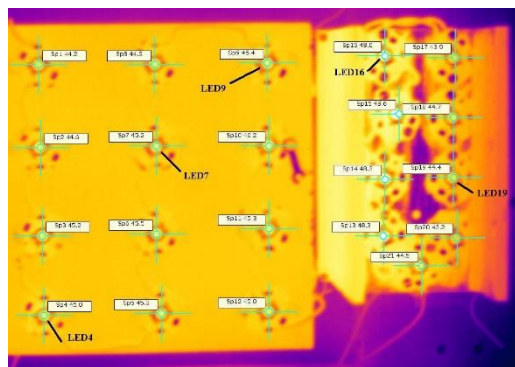
Напрежението  $U_F$  и токът  $I_F$  могат да бъдат измерени директно и може лесно да се изчисли топлинната мощност. Това е количеството енергия, което системата/радиаторът трябва да разсее. Трудностите, свързани с правилната оценка на  $P_{THLED}$ , водят до факта, че най-често за общата електрическа мощност  $P_{LED}$  на светодиодите при термичния мениджмънт се използва зависимостта (4):

$$P_{LED} = I_F * U_F, \quad (4)$$

Препоръчителният начин за измерване на температурата в точката на запояване  $T_{sp}$  (или на платката  $T_c$ ) е прост и дава надеждни резултати, но има значителни недостатъци. На практика температурата може да се измери само в няколко точки. Монтирането на термодвойки (особено върху малки обекти, каквито са светодиодите) е сложна задача; проводниците на термодвойката трябва да бъдат с диаметър, по-малък от 0,3 mm и т.н.

### Оценка на термичното натоварване на светодиоди с помощта на инфрачервена термография.

Инфрачервената термография е широко използван метод за изследване на разнообразни термични процеси. Голямото предимство на тези методи на изследване е свързано с факта, че се извършват при условията на нормална експлоатация на изследваните системи.



Фиг.3. Термографско изображение на повърхността на светодиодни осветителни тела

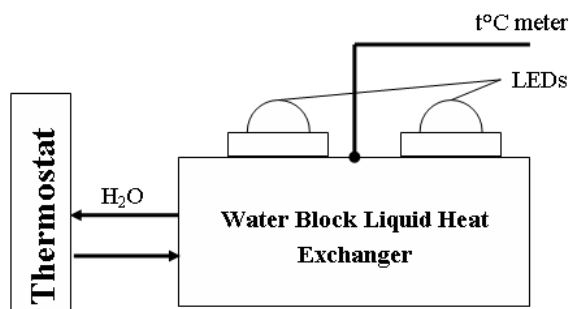
На Фиг.3 са представени термографски изображения, получени чрез безконтактно измерване с помощта на инфрачервена камера за средната IR спектрална област. Разработеният метод дава много предимства и позволява лесно и бързо да се оцени разпределението на температурата върху всички светодиоди в светлинното оборудване ( $T_{sp}$ ), по повърхностите на MCPCBs и по цялата площ на радиатора.

Въпреки това термографският метод има някои недостатъци. Изисква прилагане на сложно и сравнително скъпо експериментално оборудване. Много е трудно да се оцени температурата на p-n преходите на светодиодите „in situ“, по време на работа на осветителното оборудване в реални условия на експлоатация.

### Метод за оценка на термичното натоварване на светодиоди чрез директно следене на температурата на p-n прехода на светодиодите.

За правилно прилагане на зависимости (3) и (4) падът на напрежение в права посока на светодиодите трябва да се измерва по време на работа на светлинното оборудване. Разбира се, логично е да се изследва как точно могат да се използват тези данни, за да се определят температурите на p-n преходите на светодиодите. Този метод е добре познат и се основава на линейната зависимост между температурата на прехода и пада на напрежението върху p-n прехода в права посока. Нашите изследвания показват, че предложеният метод е подходящ за приложение, позволява да се получат надеждни резултати „in situ“ и не изисква скъпо експериментално оборудване. Както може да се очаква, семейството от различни светодиоди (светодиодни матрици) имат доста различни характеристики.

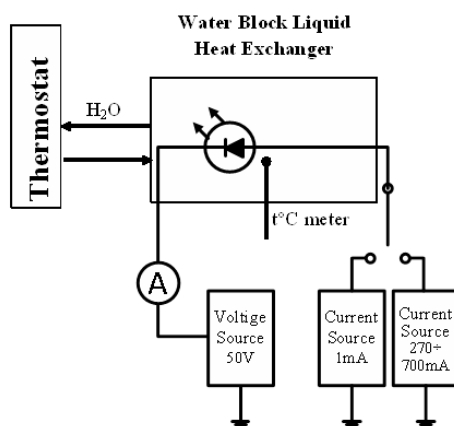
Светодиодите са монтирани върху масивен топлообменник, свързан с термостат. За добра топлопроводимост се използва топлопроводима паста между платките на светодиодите и повърхността на топлообменника. Теплообменникът със светодиоди (Фиг.4) се поставя в топлоизолирана камера, където температурата на топлообменника се измерва и поддържа на желаните стойности с точност, по-добра от 0,2 K.



Фиг.4. Схема на експерименталното оборудване

Температурата на топлообменника (и температурата в топлоизолираната камера) се променят в диапазона от  $20^{\circ}\text{C} \div 85^{\circ}\text{C}$ . Експериментите се провеждат по следния начин:

- Светодиодът, чиито характеристики ще се измерват, е свързан към източник на ток (Фиг.5); волтметър MS-8050 с точност 0,03% е свързан успоредно на светодиода.



Фиг.5. Схема на измерванията

- Контролерът (на термостата) поддържа температурата на топлообменника на желаната стойност  $T_D$ , (Фиг. 5). Стойността на тока  $I_F$  през светодиодите се избира 1 mA за регистрация при достигане на температурно равновесие. При тази стойност самонагреването на p-n прехода може да се пренебрегне и температурата на LED' чипа е равна на температурата на топлообменника (потвърдено от независими измервания).

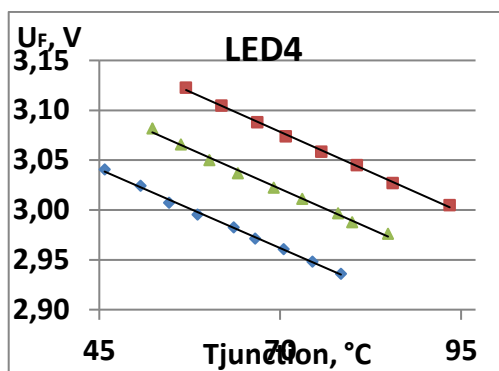
Измерва се падът на напрежението в права посока върху светодиода. Когато падът на напрежението остане постоянен ( $U_1$ , Фиг.5), температурата на p-n прехода на светодиода е постоянна и е равна на температурата на топлообменника  $T_D$ .

- След това източникът на ток се превключва на желаната номинална стойност на тока за съответния светодиод при експлоатация ( $300\text{mA} \div 1000\text{mA}$ ). Измерва се падът на напрежението върху светодиода  $U_2$ . Продължителността на тази процедура на измерване е много кратка – по-малко от 2 секунди и поради топлинния капацитет температурите на останалите светодиоди на топлообменника не се изменят.

- След това регулаторът се настройва на следващата желана стойност на температурата и процедурата по измерване се повтаря. Падовите на напрежението на светодиодите се измерват при 8  $\div$  10 температури в диапазона от  $20^{\circ}\text{C} \div 85^{\circ}\text{C}$ .

## РЕЗУЛТАТИ

По време на експериментални изследвания са получени температурни зависимости на пада на напрежението върху светодиодите от температурите на p-n прехода за различни светодиоди. На Фиг. 7 са показани някои от резултатите при токове през светодиодите 400 mA, 500 mA и 600 mA.



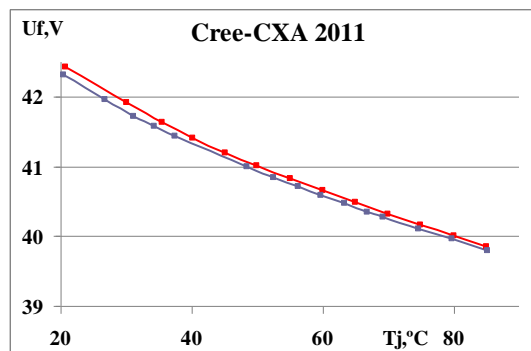
Фиг. 7. Температурни зависимости: пад на напрежението в права посока  $U_F$  / температури на прехода  $T_j$  за светодиоид № 4,  $y - U_F$ ,  $x - T_j$ .

- ◆  $I_F=400\text{mA}$ ;  $y = -0.0032x + 3.1832$ ,  $R^2 = 0.9975$ ;
- ▲  $I_F=500\text{mA}$ ;  $y = -0.0032x + 3.2458$ ,  $R^2 = 0.9953$ ,
- $I_F=600\text{mA}$ ;  $y = -0.0032x + 3.3044$ ,  $R^2 = 0.9983$ .

Температурният коефициент на пада на напрежението в права посока е между  $-3,1 \text{ mV/K}$  и  $-3,5 \text{ mV/K}$  за всичките изследвани светодиоди XLamp XR – E White, CREE Inc.; за 90% от светодиодите този коефициент е от  $-3,2 \text{ mV/K}$  до  $-3,4 \text{ mV/K}$ .

По този начин е възможно да се изследват вариациите на температурите на p-n преходите на светодиодите при различни условия по време на работа на осветителното оборудване. Използвайки температурната зависимост на пада на напрежението, е възможно да се оптимизира разположението на светодиодите върху радиатора, да се контролира работата на светодиодите и да се избегнат критични режими на работа.

Като продължение на метода на напрежението в права посока, описан по-горе, са извършени експериментални изследвания, свързани с оценка на приложимостта на метода за измерване на температурата на p-n прехода на различни видове мощни LED модули.



Фиг.8. Температурни зависимости: напрежение в права посока  $U_F$  / температури на p-n прехода  $T_j$  за Cree XLamp CXA2011 LED;  $I_F = 270 \text{ mA}$ .

По време на експериментални изследвания са изследвани температурните зависимости на пада на напрежението на светодни модули като функция от температурата на p-n преходите за 10 модула от всеки тип: 1. Cree XLamp CXA2011 LED; 2. SAMSUNG LED SPHWWTHDD805WHV0ED и 3. LUSTROUS, C513XXFQXX. На Фиг. 8 са показани типични резултати за 2 светодиодни модула Cree XLamp CXA2011.

Процедурите за измерване отнемат около няколко часа за няколко десетки светодиода, но дават надеждни резултати. Максималната неточност за стойността на  $T_j$ , получена от зависимости като тези, показани по-горе може да се счита за под  $2^\circ \div 3^\circ\text{C}$ , което е напълно приемливо. Методът е подходящ за реални приложения. По този начин е възможно да се изследват вариациите на температурите на p-n преходите на светодиодите (модулите) при различни реални условия по време на работа на осветително оборудване.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представени са методи за изследване на топлинното натоварване на светодиоди и светодиодни модули по време на работа в осветително оборудване. Освен традиционните методи – измерване чрез термодвойки и чрез инфрачервена термография е представен и метод за директно измерване на температурата на р-п преходите на светодиодите при експлоатация. Той се основава на вариациите на пада на напрежението в права посока на р-п прехода на светодиодите в зависимост от температурата на р-п прехода. Представени са препоръки за калибриране, изчисления и оценки на температурите. Разработеният метод позволява постигането на надеждни резултати „in situ” за топлинните натоварвания на светодиодите с помощта на евтино експериментално оборудване.

## ACKNOWLEDGMENT

Тази статия представя резултати от работата по проект № 2021–FT-02, финансиран от Фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.

## REFERENCES

Bunea, R., Svasta, P., Codreanu, N.-D. (2011), Modeling of heat dissipation in SMD chip components, IEEE, Proc. of 34<sup>th</sup> International Spring Seminar on Electronics Technology - ISSE 2011, High Tatras, Slovakia, May 11th – 15th 2011, art. no. 6053893 , pp. 386-390.

Keppens A, W.R.Ryckaert, G.Deconinck, P.Hanselaer; High power light emitting diode junction temperature determination from current-voltage characteristics; Journal of Applied Physics 104, 093104, 2008.

Petko Mashkov, Berkant Gyoch, Stanislav Penchev and Hristo Beloev, (2012), Method for in-situ Power LEDs' Junction Temperature Measurements, IEEE, Proc. of 35th International Spring Seminar on Electronics Technology - ISSE 2012, May 11th – 15th 2012, Bad Aussee, Austria, B02, art. no. 6273116 , pp. 95-100.

Weilguni M., J. Nicolics, R. Medek, M. Franz, G. Langer and F. Lutschounig, (2010) Characterization of the Thermal Impedance of High-Power LED Assembly based on Innovative Printed Circuit Board Technology, IEEE, Proc. of 33th International Spring Seminar on Electronics Technology - ISSE 2010, Warsaw, Poland, May 12th – 16th 2010, D14, pp. 1 - 6.

Tingzhu Wu, Yue Lin, Honghui Zhu, Ziquan Guo, Lili Zheng, Yijun Lu, Tien-Mo Shih, And Zhong Chen, (2016), Multi-function indoor light sources based on light-emitting diodes—a solution for healthy lighting, OPTICS EXPRESS, Vol. 24, No. 21 , 2016, pp.24401-24412.

URL: [https:// www.cree.com/xlamp](https://www.cree.com/xlamp). (Accessed on 06.10.2021 )

URL: [https:// www.samsung.com](https://www.samsung.com) (Accessed on 06.10.2021 )

URL: [https:// www.lustrous.com](https://www.lustrous.com) (Accessed on 06.10.2021 )