

Метод за оценка на термичното натоварване на мощни светодиоди за осветление

Петко Машков

Evaluation method for thermal performance of power LEDs in lighting equipment: *The aims of this work are connected with development of method for fast and easy estimation of LEDs' temperature regimes of operation at different conditions.*

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. Developed method allows achieving of reliable results "in situ" about thermal performance of LEDs using non expensive experimental equipment. Results of these investigations allow optimizing lighting equipment's construction and ensure its long and reliable operation.

Key words: Power LEDs; LEDs' thermal management.

ВЪВЕДЕНИЕ

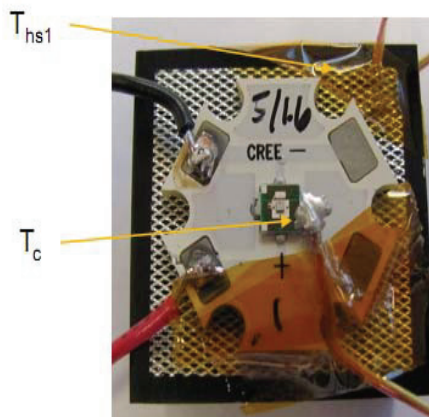
През последните години става все по-актуален въпросът за замяна на съществуващите светлинни източници с нови, базирани на разработените мощни бели светодиоди. Основание за това дават характеристиките на тези светодиоди, тъй като превъзхождат многократно досега използваните източници на светлина по всички параметри. Светлинната ефективност на широко разпространените светодиоди вече надвишава 100 lm/W (за най-добрите компактни луминесцентни лампи този показател е до 60 – 70 lm/W) [1- 5]. Като се вземат предвид загубите на светлина в корпусите на осветителните тела (много по-малки при използването на светодиоди) енергийната ефективност на осветителното оборудване на базата на светодиоди е повече от два пъти по-добра от най-добрите постижения при луминесцентното осветление. Животът на светодиодното оборудване е от пет до петдесет пъти по-дълъг от този на сега използваните светлинни източници. При това трябва да се отбележи, че при светодиодите няма внезапни откази на осветлението. При правилно проектирано и експлоатирано оборудване след няколко десетки хиляди часа (над 50000 часа) се наблюдава намаляване на светлинната ефективност на светодиодите с около 30% (характерен параметър при експлоатация на светлинно оборудване от този тип - L_{70}) [1- 5]. Мощността на светлинния поток на осветителните тела, реализирани със светодиоди може да бъде регулирана лесно в широки граници (димирание), което е голямо удобство при експлоатация. Цветовите характеристики на светлинния поток на осветителните тела могат да бъдат подбирани в зависимост от предпочитанията на клиента, като е възможно и известно регулиране на тези характеристики при експлоатация.

Важно е да се отбележи, че основните предимства на светодиодното осветление могат да бъдат реализирани само при правилно проектиране и експлоатация на оборудването. При работа около 85% от електрическата енергия, консумирана от светодиода, се отделя във вид на топлина [3, 4]. Тази топлина трябва да бъде отведена от зоната на р – n прехода, където се генерира и разсеяна в околната среда. Успешното решаване на този проблем е главното условие за осигуряване на надеждност и дълъг живот на разработваното осветително оборудване. Повишението на температурата на р - n прехода води до понижаване на светлинната ефективност на светодиодите и до намаляването на живота им (L_{70}). Посочените по-горе данни за живота и светлинната ефективност на светодиодното осветление могат да бъдат реализирани само ако температурата на р - n прехода в процеса на експлоатация не надвишава 80°C.

По тези причини методите за оценка на термичното натоварване на светодиодите в реализираните осветителни тела в реални експлоатационни условия са изключително важни.

СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

Най – често за оценка на термичното натоварване на светодиодите по време на експлоатация се измерва температурата на спойката на светодиода (T_{sp}) с помощта на термодвойка [3, 4] – Фиг. 1.

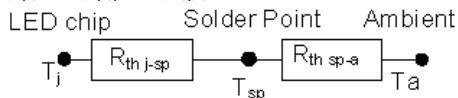


Фиг. 1. Схема за монтиране на термодвойка за измерване на температурата на спойката на светодиода [4].

Схемата е препоръчана от производителя на използвания тип светодиоди и получените данни от измерванията за температурите на спойката (T_{sp}) в процеса на експлоатация позволяват да се изчислят съответстващите температури на р – п прехода (junction - T_j). За тази цел се използва еквивалентна схема на термичните съпротивления по пътя на топлинния поток от р – п прехода към околната среда – Фиг. 2 [3, 4].

Термичното съпротивление между р - п прехода и околната среда е сума от термичните съпротивления между р – п прехода и спойката на светодиода ($R_{th\ j-sp}$) и между спойката и околната среда ($R_{th\ sp-a}$), Fig.2 [4]:

$$R_{th\ i-a} = R_{th\ i-sp} + R_{th\ sp-a} \quad (1)$$



Фиг. 2. Схема на термичните съпротивления по пътя на топлинния поток от р – п прехода към околната среда; T_j – температура на р – п прехода (junction); T_{sp} – температура на спойката; T_a – температура на околната среда; $R_{th\ j-sp}$ и $R_{th\ sp-a}$ - термични съпротивления между р – п прехода и спойката на светодиода и между спойката и околната среда

След получаването на експериментални данни за температурата на спойката T_{sp} термичното натоварване на светодиода се оценява чрез пресмятане на температурата на р – п прехода T_j (2).

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

В зависимост от типа на използваните светодиоди за стойностите за термичното съпротивление между p – n прехода и спойката $R_{th\ j-sp}$ се използват данни на производителя. За използваните светодиоди XLamp XPC – White, CREE Inc.

$$R_{th\ j-sp} = 12\ K/W.$$

Този метод за оценка на термичното натоварване на светодиодите по време на експлоатация на осветителното оборудване е прост, лесно се реализира и дава надеждни резултати, но притежава и съществени недостатъци. На практика монтажът и измерванията с термодвойки при реализирани осветителни тела не е лесна задача. Поради това температурните режими могат да се следят за един – два светодиода и е почти невъзможно да се следи температурното разпределение по цялата площ на осветителното тяло. Разработени са методи, с чиято помощ тези задачи може да се решават успешно [2], но те изискват сравнително скъпо експериментално оборудване и е почти невъзможно резултатите да се получават „in situ”, т. е. по време на самите тестови изпитания на осветителното тяло. В [1] е представен метод за оценка на термичното натоварване на мощни светодиоди чрез измерване на пада на напрежение върху светодиода в права посока по време на работа. Експерименталните изследвания са извършени и методът е верифициран за светодиоди тип XLamp XR – E White, CREE Inc. Доказано е, че падът на напрежение в права посока за този тип светодиоди намалява линейно при повишаване на температурата със среден ъглов коефициент – 3,3 mV/K. При известен пад на напрежение за даден светодиод при известна температура на p – n прехода чрез измерване на напрежението върху p – n прехода може надеждно и бързо да се определи температурата му в процеса на експлоатация [1]. Нашите изследвания показаха, че получените данни могат да бъдат използвани само за светодиоди от същата група. В експлоатация навлизат все повече светодиоди със съществено различни характеристики – размер на чипа, различни използвани материали и др. Ето защо изследванията в тази работа са посветени на оценка на приложимостта на описания метод [1] за оценка на термичното натоварване на светодиоди от типа XLamp XPC – White, CREE Inc. по време на експлоатация.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Върху алуминиев радиатор са монтирани два типа светодиоди - XLamp XR – E White, CREE Inc. и XLamp XPC – White, CREE Inc., предварително запоени върху платки с метална сърцевина (MCPCB). Избраният радиатор е използван при предишни изследвания [1, 2] и е известно, че осигурява необходимото топлоотвеждане и равномерно разпределение на температурата при отделните светодиоди.

Освен светодиодите, обект на тези изследвания (XPC – White), върху радиатора са монтирани и светодиоди от типа XR – E White, за които е установено, че избраният метод за оценка на термичното натоварване дава добри резултати. За тях (тип XR – E White) е доказано, че приложението на инфрачервена термография дава надеждни резултати при температурните измервания. Всички светодиоди са свързани последователно и работят при еднакви условия. Използването и на вече изпитвани диоди позволява извършването на сравнителни анализи за температурните натоварвания при двата типа светодиоди и по – лесното верифициране на получените резултати.

За оценка на термичните натоварвания при различни условия на околната среда така създаденото осветително тяло е поставено в топлинна камера. Тъй като при неклиматизирани помещения околната температура може да надвиши 45°C, температурата в камерата е променяна от 20°C до 50°C. Изследванията са извършени при постоянен ток през светодиодите, при две стойности на тока – 400 mA и 600 mA.

Разпределението на температурата за различните светодиоди при различни условия на работа е оценявано чрез измервания с помощта на термодвойки, монтирани съгласно препоръките - Фиг.1 [4] и с помощта на термографски измервания, извършени с инфрачервена камера ThermoCam E300 – FLIR-Systems.

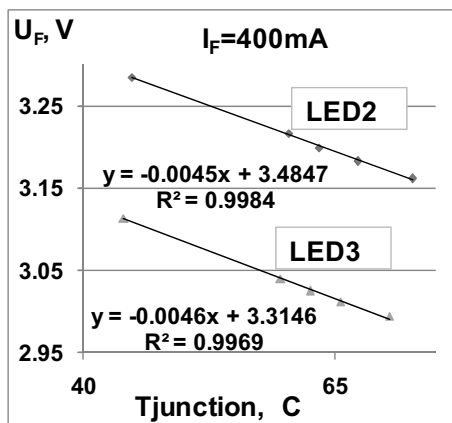
При достигане на стационарно състояние за всяка температура са измервани падовете на напрежение върху светодиодите и е изчислявана електрическата мощност, консумирана от всеки от тях.

Измерванията на напреженията са извършвани с помощта на мултиметър MS-8050 (точност до 0.03%).

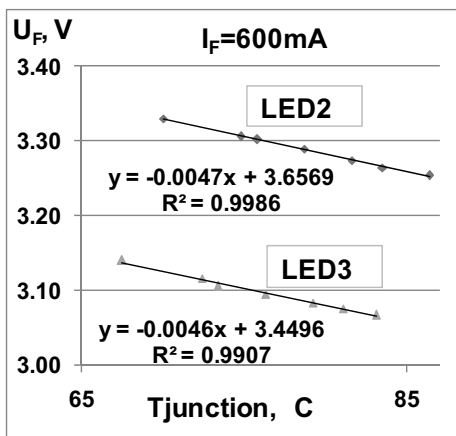
При всяка измерена стойност на температурата на спйката T_{sp} за всеки светодиод съответстващата температура на p – n прехода T_j е изчислявана съгласно (2).

РЕЗУЛТАТИ

При няколко серии експериментални изследвания са използвани 15 светодиода от типа XLamp XPC – White, CREE Inc., монтирани върху алуминиев радиатор. За тях са получени зависимостите между пада на напрежение в права посока върху светодиода и температурата на p – n прехода му. На Фиг. 4 и Фиг. 5 са показани някои от получените резултати за два светодиода при токове 400 mA и 600 mA.



Фиг. 4. Зависимост на пада на напрежение в права посока върху светодиода U_F от температурата на p – n прехода T_j . Големина на тока $I_F=400mA$.



Фиг. 5. Зависимост на пада на напрежение в права посока върху светодиода U_F от температурата на р – п прехода T_j . Големина на тока $I_F=600\text{mA}$.

Експерименталните резултати са обработени с помощта на програмата Microsoft Excel. За всички светодиоди коефициентът R^2 , който е показател за линейността на функционалната зависимост е $R^2 \geq 0.99$. Това показва много добра линейна зависимост между пада на напрежение върху светодиода U_F и температурата на р – п прехода T_j .

Температурният коефициент при намаляване на пада на напрежение U_F е между $-4,5 \text{ mV/K}$ и $-4,8 \text{ mV/K}$ за светодиодите от типа XLamp XPC – White, CREE Inc., като за около 90% от тях стойността на този коефициент е $-4,6 \text{ mV/K}$. Ако тази стойност се приеме за представителна за този тип светодиоди, температурната зависимост на пада на напрежението върху светодиода може да бъде представена:

$$U_{LED,T} = U_{LED,IN} - 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta T, \quad (3)$$

където: $U_{LED,IN}$ е измереният пад на напрежение при някаква начална температура на р – п прехода $T_{j,in}$; $U_{LED,T}$ е измереният пад на напрежение при друга температура на р – п прехода T_j , но при същата големина на тока през светодиода; ΔT е разликата между тези две температури. Началната температура $T_{j,in}$ може да бъде определена по описания по – горе начин. Удобно е началната температура на спойката на светодиода $T_{sp,IN}$ да бъде измерена при стайна околната температура при постоянен ток. Тогава при други условия на работа (но при същата големина на тока) за същия светодиод температурата на р – п прехода T_j може да бъде определена с помощта на израза:

$$T_j = T_{j,in} + (U_{LED,IN} - U_{LED,T}) / (4,6 \cdot 10^{-3}) \quad (4)$$

Чрез този метод може да се следят измененията на температурата на р – п прехода T_j при различни условия по време на експлоатация на осветителното оборудване. Може лесно и с помощта на сравнително евтино оборудване да се изследва термичното натоварване на отделните светодиоди в зависимост от разположението им върху радиатора и то да се оптимизира.

За всички светодиоди от изследвания тип (XLamp XPC – White, CREE Inc.) е приета средна стойност на температурния коефициент ($-4,6 \text{ mV/K}$). Дори ако за някой светодиод този коефициент се различава малко изчисленията показват, че реално грешката при определянето на температурата на р – п прехода T_j ще бъде по-малка от $3 \div 4 \text{ K}$, което е напълно приемливо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представен е метод за оценка на термичното натоварване на мощни светодиоди тип XLamp XPC – White, CREE Inc. по време на експлоатация. Методът се основава на зависимостта на пада на напрежение върху светодиода от температурата на р – п прехода му. Той е лесен за приложение, позволява получаването на надеждни резултати "in situ" и не изисква скъпо експериментално оборудване.

Изследванията, използвани в тази работа са извършени при изпълнение на проект ВУ – ЕЕС – 301/2007 и 2011-ФЕЕА-01.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Mashkov P., T. Pencheva, B. Gyoch. *Temperature Measurement Methods for Power LEDs' Thermal Performance Investigations*. Proc. of International Conference **ELECTRONICS ET 2010**, book 2, Sozopol, Bulgaria, 2010, pp.72-75.

[2] Mashkov P., T. Pencheva, and B. Gyoch. LEDs' Thermal Management Aided by Infrared Thermography. Micro Tech – 2010, Cambridge, England, pp.68 - 73. [3] XLamp long – term lumen maintenance; www.cree.com/xlamp.

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

[5] LED Luminaire Design Guide; www.cree.com/xlamp.

За контакти:

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

Докладът е рецензиран.