UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din BUCUREŞTI

ŞCOALA DOCTORALĂ ETTI-B

Nr. Decizie 571 din 25.09.2020

TEZĂ DE DOCTORAT

MANAGEMENTUL TERMIC ÎN CADRUL MODULELOR ELECTRONICE DE PUTERE
THERMAL MANAGEMENT FOR POWER ELECTRONIC MODULES

Doctorand: **Ing. Niculina Drăghici(Bădălan)**

COMISIA DE DOCTORAT

Preşedinte	**Prof. Dr. Ing. Gheorghe Brezeanu**	de la	**Univ. Politehnica Bucureşti**
Conducător de doctorat	**Prof. Dr. Ing. Paul Mugur Svasta**	de la	**Univ. Politehnica Bucureşti**
Referent	**C.S.I.dr.ing. Carmen Moldovan**	de la	**INCD Microtehnologie IMT Bucureşti**
Referent	**Prof. dr. ing. Ioan Liță**	de la	**Univ. din Pitești**
Referent	**Prof. dr. ing. Ciprian Ionescu**	de la	**Univ. Politehnica Bucureşti**

BUCUREŞTI 2020

Cuprins

Cuprins ..... **i**
Lista tabelelor ..... **v**
Lista figurilor ..... **vii**
Lista abrevierilor ..... **ix**
1. Introducere **1**

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat 1
1.2 Scopul tezei de doctorat 1
1.3 Conţinutul tezei de doctorat 2

2. Noțiuni Teoretice **5**

2.1 Metode de transmisie a căldurii 5
2.2 Mărimi și unități de măsură 5
2.3 Metode de obținere a luminii albe 6
2.4 Timpul de viață și cauzele de defectare ale LED-urilor 6

3. Alimentarea în impulsuri și alimentarea în curent continuu a LED-urilor de putere **7**

3.1 Concluzii 7

4. Metode de estimare a temperaturii de joncțiune a unui LED în regim staționar și în regim tranzitoriu **9**

4.1 Necesitatea estimării temperaturii de joncțiune a LED-urilor 9
4.2 Modelarea regimului termic prin analogii electro-termice 9
4.3 Modelarea în regim staționar a LED-urilor 10
4.4 Modelarea în regim tranzitoriu a LED-urilor 10
4.4.1 Impuls unic 10
4.4.2 Impulsuri continue 10

4.5 Instrumente de măsură folosite pentru estimarea temperaturii de joncțiune a LED-urilor de putere în regim de funcționare static 10
4.5.1 Concluzii 11

4.6 Metodă de estimarea temperaturii de joncțiune a LED-urilor de putere ca funcție de tensiunea directă în anumite condiții de operare direct în corpul de iluminat 11
4.6.1 LED de 18W cu radiator 12
4.6.2 LED de 1W 12
4.6.3 LED Osram Golden Dragon 12
4.6.4 Concluzii 12

5. Metode de răcire a LED-urilor de putere **13**

5.1 Metode active de răcire 13
5.1.1 Module Peltier 13

5.1.2 SynJet 13
5.1.3 Ventilatoare 13

5.2 Metode pasive 14
5.2.1 Heat pipe 14
5.2.2 Radiatoare 14

5.3 Măsurători termice și electrice asupra unor corpuri de iluminat cu LED folosind diverse metode de răcire active 14
5.3.1 Ansamblul de iluminat 1 15
5.3.2 Ansamblul de iluminat 2 15
5.3.3 Ansamblul de iluminat 3 15
5.3.4 Ansamblul de iluminat 4 15
5.3.5 Concluzii 15

6. Modelarea termică cu ajutorul schemelor termice echivalente și a modelelor geometrice a LED-urilor de putere 17

6.1 Modelarea la nivel de capsulă LED 17
6.2 Modelarea la nivel de sistem 18
6.3 Validarea modelului 18
6.4 Efectul condițiilor ambiante și al parametrilor de material asupra rezultatelor simulărilor 19
6.4.1 Efectul temperaturii ambiante 19
6.4.2 Efectul coeficientului de transfer termic prin convecție 19
6.4.3 Materialul de substrat 20
6.4.4 Efectul materialului din care este realizat radiatorul 20
6.4.5 Efectul frecvenței semnalului asupra rezultatelor simulării 21
6.4.6 Concluzii 22

6.5 Modelarea termică în regim static și tranzitoriu cu ajutorul schemelor termice echivalente și al modelelor geometrice a LED-urilor de putere 22
6.5.1 Modelarea în regim static cu două temperaturi ambiante 22
6.5.2 Modelarea în regim tranzitoriu 23
6.5.3 Concluzii 24

6.6 Soluție de îmbunătățire a capabilității termice pentru un radiator cu miez compact 24
6.6.1 Concluzii 24

6.7 Metodă de îmbunătățire soluție de răcire activă 24
6.7.1 Concluzii 26

7 Instrumente software dezvoltate 27

7.1 Interfață de comunicație PC-multimetru Keithley 2700 27
7.2 Interfață Labview pentru calculul estimativ al temperaturii de joncțiune 27

8 Aplicație ce folosește LED-uri de putere 29

8.1 Soluție constructivă pentru semafoare care funcționează în condiții meteo extreme 29
8.2 Concluzii 29

9 Concluzii 31

9.1 Rezultate obţinute.....31
9.2 Contribuţii originale 31
9.3 Lista lucrărilor originale 32
9.4 Perspective de dezvoltare ulterioară.....34

10 Anexe.....35

10.1 Program Matlab pentru reprezentarea grafică a timpului de viață pentru LED-uri 35
10.2 Interfață sistem măsură cu sensor 35
10.3 Simulări termice pentru temperatura ambiantă egală cu 0°C și 50°C.....35
10.4 Modelarea termică a unui LED de putere montat pe radiator de formă dreptunghiulară 35
10.5 Modelarea termică a unui ansamblu de ilumimat cu LED care folosește radiator și ventilator.....36
10.6 Metodă de răcire activă care utilizează modul Peltier.....36
10.7 Măsurători asupra unui ansamblu de iluminat care folosește LED cu substrat ceramic și metodă de răcire activă cu ventilator 36
10.8 Măsurători asupra unui ansamblu de iluminat care folosește LED cu substrat ceramic și metodă de răcire activă cu ventilator și heat pipe 36
10.9 Driver de curent constant cu convertor buck.....37
10.10 Evoluția temperaturii în timp pentru diferite materiale de substrat 37

Bibliografie.....39

Lista tabelelor

Tab. 3.1. Valoare temperaturilor maxime pentru cele șase situații studiate 7
Tab.5.1 Comparația metodelor de răcire din punct de vedere al costurilor(20.07.2017), consumului suplimentar de putere electrică și al zgomotului introdus 14
Tab. 6.1 Rezultatele simulărilor pentru diferite materiale 21
Tab. 6.2 Rezultatele simulărilor 21
Tab. 6.4 Valoarea temperaturii măsurate respectiv simulate obținută în anumite condiții 23
Tab. 6.5 Sinteza rezultatelor simulărilor 24

Lista figurilor

Fig. 2.1 Transfer termic dinspre un LED montat pe un cablaj imprimat către mediul înconjurător prin conducție, convecție și radiație. 5
Fig. 4.9 Standul de măsură 11
Fig. 4.15 Standul de masură 11
Fig. 5.21 Corp de iluminat cu ventilator 14
Fig. 5.22 Corp de iluminat cu ventilator și radiator cu heat pipe 14
Fig. 5.23 Corp de iluminat cu modul Peltier și radiator cu heat pipe 14
Fig. 5.24 Corp de iluminat cu SynJet 14
Fig. 6.1 Părțile componente ale LED-ului COB 17
Fig. 6.2 Rezultatele simulării pentru LED-ul COB fără radiator pentru P_d=12.8W, h=7W/m^{2}K, T_a=20ºC. 17
Fig. 6.4 Modelul ansamblului de iluminat cu LED 18
Fig. 6.6 Rezultatele măsurătorilor după 90min. 18
Fig. 6.7 Rezultatele simulării pentru substrat de aluminiu, radiator de aluminiu si h=7W/m^{2}K, P_d=12.8W, T_a=20°C 18
Fig. 6.8 Evoluția temperaturii rezultată în urma măsurătorilor respectiv simulări în Solidworks 19
Fig. 6.17 Evoluția temperaturii maxime pentru diferite valori ale coeficientului de transfer termic prin convecție 20
Fig. 6.20 Evoluția temperaturii maxime în timp pentru diferite materiale de substrat 20
Fig. 6.24 Modelul virtual redimensionat 21
Fig. 6.25 Rezultatele simulărilor pentru LED pe substrat de aluminiu, radiator din aluminiu cu lungimea dublă, h=7W/m^{2}K, P_d=12.8W, T_a =20°C 21
Fig. 6.29 Rezultatele simulării pentru P_d=12.8W, T_a=T_{a1}=293K, h=7W/m^{2}K la exterior și h_2=3W/m^{2}K în interiorul corpului de iluminat(T_{max}=74.73ºC) 22

Fig. 6.30 Rezultatele simulării pentru P_d=12.8W, T_a=293K, h=7W/m^2K la exterior și h_1=3W/m^2K, T_{a1}=296K în interiorul corpului de iluminat(T_{max}=75.31ºC).....22
Fig. 6.31 Schema electrică echivalentă în regim sttic.....23
Fig. 6.36 Structura subcircuitului Spice cu rețele Cauer pentru modelarea termică în regim tranzitoriu 23
Fig. 6.49 Modelul ansamblului de iluminat.....25
Fig. 6.50 Rezultatele simulării pentru P_D=12.8W și coeficientul de convecție naturală h=7W/m^2K. 25
Fig. 6.51 Evoluția temperaturii în regim tranzitoriu.....25
Fig. 6.53 Evoluția temperaturii măsurate respectiv simulate dacă este folosită metoda de răcire activă. 25
Fig. 6.56 Corpul de iluminat fără trei aripioare și cu canal de redirecționare a jeturilor de aer(vedere din lateral) 26
Fig. 6.60 Circulația aerului spre lentila LED-ului 26
Fig. 6.61 Rezultatele simulării pentru P_D=12.8Wși coeficientul de convecție h=14W/m^2K. 26

Lista abrevierilor

LED – Light-Emitting Diode
COB – Chip-on-Board
TEC – Thermo-Electric Cooler
SSL – Solid-state lighting
CRI – Colour Rendering Index
PWM – Pulse Width Modulation
FR4 – Flame Retardant 4
PCB – Printed Circuit Board
EMI – Electro – Magnetic Interference

Capitolul 1

Introducere

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

În timpul funcționării orice componentă electronică va disipa căldură(excepție fac modulele Peltier). Dacă cantitatea de căldură degajată este suficient de mare temperatura la nivelul elementelor constructive ale componentei poate crește.

Fiecare proiectant de echipamente electronice care conțin componente care degajă căldură va încerca să găsească soluția de răcire care combină cât mai bine cele trei metode de transfer termic fără a afecta funcționalitatea sistemului, fără a crește consumul energetic, dimensiunile echipamentului respectiv prețul acestuia.

Problema proiectanților nu este că în timpul funcționării este produsă foarte multă căldură ci că nu este îndepărtată cu o viteză la fel de mare ca cea cu care este produsă. De asemenea trebuie să se acorde o atenție deosebită materialelor care trebuie să fie alese astfel încât să fie compatibile din punct de vedere chimic astfel încât să nu apară îngâtuiri pe traseul de îndepărtare a căldurii.

1.2 Scopul tezei de doctorat

În lucrarea de față se încearcă să se răspundă la următoarele întrebări:

- Cum alimentăm un LED de putere?
- Cum, unde și cu ce măsurăm temperatura pe un LED?

- Cum putem estima temperatura pe joncțiunea LED-ului și la ce ne ajută cunoașterea acesteia?
- Cum asigurăm un management termic adecvat pentru un LED COB și cum putem îmbunătăți metodele de răcire existente?
- Cum pot influența condițiile de frontieră, parametrii de material și structura constructivă parametrii de performanță ai unui LED?
- Când folosim ansambluri de iluminat cu LED?
- Cum arată modelul termic al unui LED și ce informații trebuie să conțină?
- Cât de important este regimul de funcționare tranzitoriu al unui LED?
- Cum putem îmbunătăți tipurile de radiatoare existente pe piață în sensul îmbunătățirii capacității de distribuire a căldurii?

În acest sens voi analiza, evalua și valorifica soluțiile de răcire active folosite în ansamblurile de iluminat ce folosesc LED-uri de putere mare. Vor fi create modele geometrice și termice pentru o parte din corpurile de iluminat folosite în măsurători. Va fi propusă o soluție constructivă pentru îmbunătățirea unei metode de răcire active existente pe piață. Totodată va fi propusă o soluție de îmbunătățire a disipării căldurii pentru un radiator existent pe piață. Va fi propusă o soluție constructivă pentru un semafor ce lucrează în condiții termice extreme. În lucrarea de față voi analiza modalitățile de alimentare a LED-urilor de putere și modurile de estimare a temperaturii de joncțiune.

1.3 Conţinutul tezei de doctorat

Lucrarea este structurată în 8 capitole după cum urmează:

- Capitolul 1 cuprinde prezentarea domeniului tezei de doctorat, scopul și cuprinsul acesteia.

- Capitolul 2 cuprinde o scurtă introducere teoretică referitoare la metodele de transmisie a căldurii, mărimile și unitățile de măsură utilizate în cazul LED-urilor, metode de obținere a luminii albe, timpul de viață și cauzele defectării LED-urilor.

- În Capitolul 3 este studiat modul în care sunt afectați parametrii termici, electrici și optici ai unui LED dacă este alimentat în curent continuu respectiv în impulsuri de curent continuu. Astfel că este prezentat un studiu de caz referitor la alimentarea în curent continuu respectiv impulsuri de curent continuu de diferite valori, frecvențe și factori de umplere. Comparația dintre cele două metode de alimentare este făcută din punct de vedere termic, electric și optic.

- În Capitolul 4 sunt prezentate noțiuni teoretice referitoare la modelarea în regim staționar și tranzitoriu a LED-urilor și sunt prezentate 2 studii de caz referitoare la estimarea temperaturii de joncțiune. În primul studiu de caz se pornește de la premisa că temperatura de joncțiune în regim de funcționare static poate fi estimată în baza unei relații de calcul cunoscute și este identificat instrumentul potrivit pentru măsurarea temperaturii pentru a obține o valoare cât mai reală a temperaturii pe capsula LED-ului.

În al doilea studiu de caz este prezentată o metodă simplă și ieftină de estimare a temperaturii de joncțiune a unui LED direct în ansamblul de iluminat din care face parte. Această metodă diferă de metoda ”forward voltage” prin modul de alimentare a LED-ului din punct de vedere al duratei și al amplitudinii.

- În Capitolul 5 sunt prezentate noțiuni teoretice despre metodele de răcire activă și pasivă și au fost analizate, comparate și evaluate patru ansambluri de iluminat ce folosesc metode de răcire activă. Analiza acestora se face din punct de vedere termic, electric, al prețului dar și al consumului.

- În Capitolul 6 este studiat efectul condițiilor de frontieră și al parametrilor de material asupra rezultatelor măsurătorilor respectiv al simulărilor. Este dezvoltat modelul geometric și sunt efectuate simulări termice pentru ansamblul de iluminat ce folosește răcirea cu ajutorul dispozitivelor cu jeturi de aer prezentat în capitolul 5.

Tot în acest capitol este propus un model termic pentru un ansamblu de iluminat ce conține două temperaturi ambiante diferite, una la nivelul radiatorului și alta la nivelul lentilei LED-ului.

Este propusă o soluție de scădere a temperaturii pe corpul de iluminat prin folosirea unor găuri în miezul compact al radiatorului.

De asemenea este propusă o soluție de îmbunătățire a uneia dintre metodele de răcire activă prezentate în capitolul 5.

- În Capitolul 7 este prezentată o interfață LabView de comunicație între PC si un multimetru. Interfața a avut la bază exemplele deja existente în LabView care au fost îmbunătățite în vederea obținerii unui număr cât mai mare de măsurători pe secundă fără a folosi o placă de achiziție. Măsurătorile obținute cu ajutorul acestei interfețe au fost necesare studiului de caz 2 din capitolul 4.

- În Capitolul 8 este propusă o soluție constructivă pentru un semafor care să funcționeze în condiții meteo extreme de ger și zăpadă.

- ultimul capitol conține concluziile, lista de lucrări publicate precum și perspective de dezvoltare ulterioară.

Capitolul 2

Noțiuni Teoretice

2.1 Metode de transmisie a căldurii

Există trei metode de transfer termic: conducție, convecție și radiație.
Fig.2.1 ilustrează cele trei metode de transfer termic pentru un LED ce folosește o metodă de răcire pasivă.

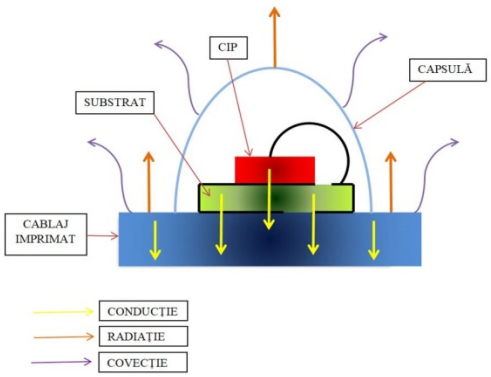


Fig. 2.1 Transfer termic dinspre un LED montat pe un cablaj imprimat către mediul înconjurător prin conducție, convecție și radiație.

În teză sunt prezentate noțiunile teoretice referitoere la metodele de transmisie a căldurii.

2.2 Mărimi și unități de măsură

În acest subcapitol unt prezentate mărimile și unităților de măsură întâlnite în fotometrie: randamentul luminos, indicele de redare a culorii, temperatura de culoare, fluxul luminos, iluminare, luminanța, intensitatea luminoasă.

2.3 Metode de obținere a luminii albe

Modul în care se obține lumina albă influențează structura dar și comportamentul din punct de vedere termic și electric pe care îl va avea LED-ul. Conform [3] există patru metode de obținere a luminii albe: mixăm lumina din trei chip-uri LED: albastru, verde, roșu; chip LED albastru mixat cu chip LED galben; chip LED albastru și un strat de pudră de fosfor galben; chip ultraviolet care excită trei tipuri de fosfor: roșu, albastru și verde.

2.4 Timpul de viață și cauzele de defectare ale LED-urilor

Putem considera ca LED-ul s-a defectat dacă:

- Valoarea iluminării a scăzut sub 70% din valoarea sa inițială
- Valoarea tensiunii directe a scăzut cu 10% din valoarea sa inițială
- A avut loc o deplasare a coordonatele cromatice cu 0.01 din valoarea lor inițială

Defectarea unui LED este un proces progresiv [8] și se datorează, în general, următoarelor cauze:

- defecte datorate fabricantului chip-ului: prezența unor defecte în cristal, degradarea electrodului, epoxi netransparent sau gelul siliconic
- defecte datorate utilizatorului chip-ului: management termic neadecvat - soluțiile de îndepărtare a căldurii produsă de LED în timpul funcționării nu sunt adaptate la sistemul real, defecte la lipire, polarizarea inversă, coroziunea, ambalarea termică.

În teză sunt prezentate formulele pentru degradarea luminoasă precum și modul în care ne ajută legea lui Arrhenius în determinarea vitezei de degradare a fluxului luminos respectiv în estimarea timpului de viață al unui material la diferite temperaturi.

Capitolul 3

Alimentarea în impulsuri și alimentarea în curent continuu a LED-urilor de putere

În acest capitol este realizată comparația dintre două metode de alimentare, în curent continuu respectiv de impulsuri. Aceasta fost făcută pe baza temperaturii LED-ului (temperatura pe joncțiunea LED-ului nu poate fi măsurată direct), căldurii evacuate, iluminării și consumului de energie. Au fost alese frecvențele de 100Hz respectiv 1KHz iar factorul de umplere a fost 25%, 50%, 75%. A fost alimentat LED-ul la I_{LED}=500mA. Rezultatele măsurătorilor sunt centralizate în Tab. 3.1.

Tab. 3.1. Valoare temperaturilor maxime pentru cele șase situații studiate

	Temperatura maximă(˚C)		
Frecvența semnalului	Factor de umplere a semnalului de 25%	Factor de umplere a semnalului de 50%	Factor de umplere a semnalului de 75%
100Hz	34.4	52.2	66.1
1kHz	48.4	63.2	67.5

3.1 Concluzii

A fost realizată o comparație între un LED alimentat în curent constant și acelaşi LED alimentat în impulsuri de curent constant. Rezultatele obținute arată o temperatură scăzută pe LED și un consum mai mic de putere dacă utilizăm impulsuri de curent constant dar se va reduce și iluminarea.

Capitolul 4

Metode de estimare a temperaturii de joncțiune a unui LED în regim staționar și în regim tranzitoriu

4.1 Necesitatea estimării temperaturii de joncțiune a LED-urilor

În acest subcapitol, în teză, sunt prezentate noțiunile teoretice referitoare la modul de influență al temperaturii de joncțiune asupra fluxului luminos, tensiunii directe respectiv coordonatelor cromatice.

4.2 Modelarea regimului termic prin analogii electro-termice

În modelarea fenomenelor termice se folosește analogia între propagarea curentului electric și propagarea căldurii prin conducție. În acest subcapitol sunt prezentate corespondențele termic-electric care vor fi folosite pentru echivalarea modelului termic cu un circuit electric.

4.3 Modelarea în regim staționar a LED-urilor

Modelul termic al unui LED în regim de funcționare staționar va conține doar rezistențe termice deoarece puterea disipată este constantă(pentru LED-urile multichip se va presupune că toate chip-urile au aceeași valoare a puterii disipate) iar temperatura nu mai variază în timp și nu se ține cont de capacitatea termică.

4.4 Modelarea în regim tranzitoriu a LED-urilor

4.4.1 Impuls unic

În cazul regimului dinamic, de alimentare în impulsuri sau în regiunea micro-milisecunde, trebuie să se țină cont de toate capacităților termice ale părților constituente ale componentei.

4.4.2 Impulsuri continue

În regim de alimentare în impulsuri continue, din punct de vedere termic peste temperaturile medii datorate funcționării continue se suprapun și vârfuri de temperatură datorate impulsurilor.

4.5 Instrumente de măsură folosite pentru estimarea temperaturii de joncțiune a LED-urilor de putere în regim de funcționare static

În acest subcapitol este realizat un experiment ce are ca scop determinarea instrumentului adecvat pentru măsurarea temperaturii sorlder-point utilizată în estimarea temperaturii de joncțiune in regim de funcționare static. În acest sens au fost realizate măsurători termice asupra unui LED de mare putere utilizând patru instrumente: cameră cu termoviziune, multimetru Velleman DVM4200 cu termocuplu de tip K, termometru fără contact Raynger ST şi un sistem de măsură a temperaturii cu senzor DS1821 conectat la PC(Fig.4.9).

Punctele de măsură în prezentul studiu de caz au fost pad-urile de alimentare ale LED-ului și lentila acestuia.

Metode de estimarea a temperaturii de joncțiune a unui LED în regim staționar și în regim tranzitoriu

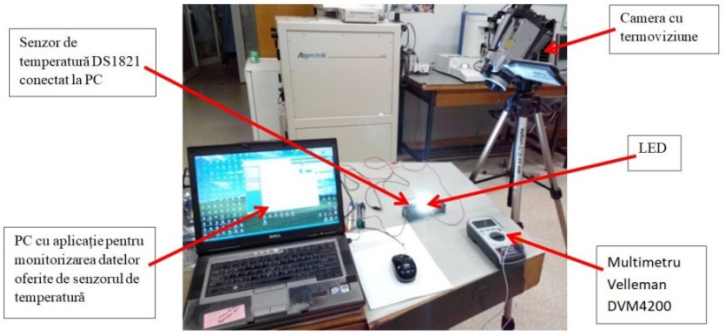


Fig. 4.9 Standul de măsură

4.5.1 Concluzii

Pentru a putea folosi termocuplul pentru măsurarea temperaturii de pe lentilă ar trebui ca acesta să fie ecranat. Pentru a obţine informaţii cât mai corecte recomand ca măsurătorile să fie făcute iniţial atât cu termocuplul cât şi cu camera cu termoviziune pentru a fi siguri că parametrii acesteia au fost setaţi corect.

4.6 Metodă de estimarea temperaturii de joncțiune a LED-urilor de putere ca funcție de tensiunea directă în anumite condiții de operare direct în corpul de iluminat

În acest capitol este utilizată metoda care se bazează pe o dependență liniară între temperatura joncțiunii și căderea de tensiune pe joncțiunea P-N în anumite condiții de operare direct în ansamblul de iluminat. Părțile constituente ale standului sunt prezentate în Fig.4.15.

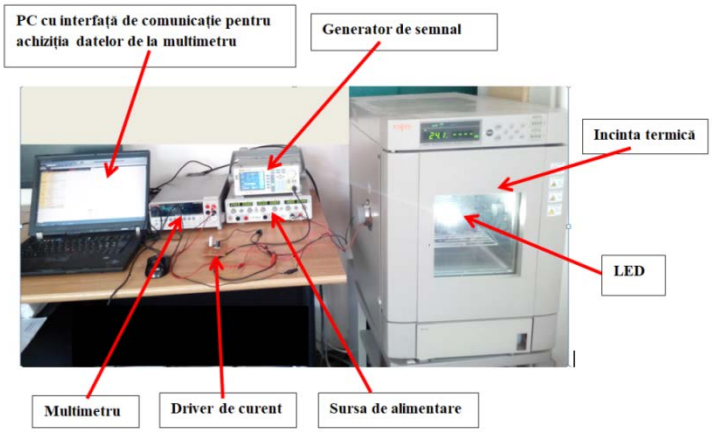


Fig. 4.15 Standul de masură

Procedura de măsurare este prezentată în teză.

4.6.1 LED de 18W cu radiator

Au fost realizate măsurătorile pentru LED-ul de 18W care fost prevăzut cu radiator, valoarea curentului prin LED a fost 500mA respectiv 1A, frecvența semnalului a fost 20Hz iar factorul de umplere 50%. Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în teză. Pentru ambele situații se constată că o dată cu creșterea temperaturii de operare tensiunea directă scade însă nu cu o valoare constantă. Pentru 500mA ia valori intre 4-7mV/˚C iar pentru 1000mA ia valori intre 4-10mV/˚C.

4.6.2 LED de 1W

Au fost realizate măsurătorile pentru LED-ul de 1W. Acestuia i s-au aplicat impulsuri de curent de frecvență 20Hz cu factor de umplere de 50% și amplitudinea de 350mA. Temperatura ambiantă din incintă a fost variată între -20˚C și +65˚C. Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în teză. Intervalul în care ia valori $K_{T,\,UF}$ pentru 350mA este 4-6mV/˚C.

4.6.3 LED Osram Golden Dragon

Au fost realizate măsurătorile pentru un alt LED de putere: Golden Dragon de la Osram. Acestuia i s-au aplicat impulsuri de curent de frecvență 20Hz cu factor de umplere de 50% și amplitudinea de 350mA respectiv 100mA. Temperatura ambiantă din incintă a fost variată între -10˚C și +90˚C. Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în teză. Intervalul în care ia valori $K_{T,\,UF}$ pentru 350mA este 1-2mV/˚C iar pentru 100mA este tot 1-2 mV/˚C.

4.6.4 Concluzii

Metoda diferă de metoda ”forward voltage” prin faptul că LED-ul a fost alimentat la o tensiune de lucru normală, perioada de alimentare a fost de 5s din care au fost extrase primele 5 rezultate din care s-a făcut media iar intervalul de citire dintre două măsurători a fost 2ms. De asemenea un alt element de noutate îl constituie faptul că se foloseşte şi un LED COB iar domeniul temperaturilor în care s-au realizat măsurătorile cuprind şi temperaturii mai mici de 25˚C. Aceasta metodă permite estimarea temperaturii de joncţiune a LED-ului fără sa fie necesare echipamente scumpe şi permite obţinerea unor rezultate personalizate pentru fiecare LED.

Capitolul 5

Metode de răcire a LED-urilor de putere

5.1 Metode active de răcire

5.1.1 Module Peltier

În acest capitol sunt prezentate noțiuni teoretice referitoare la modulele Peltier.

5.1.2 SynJet

În acest capitol sunt prezentate noțiuni teoretice referitoare la dispozitivel ce produc jeturi sintetice de aer.

5.1.3 Ventilatoare

În acest capitol sunt prezentate noțiuni teoretice referitoare la ventilatoare.

5.2 Metode pasive

5.2.1 Heat pipe

În acest capitol sunt prezentate noțiuni teoretice referitoare la heat pipe.

5.2.2 Radiatoare

În acest capitol sunt prezentate noțiuni teoretice referitoare la radiatoare.

5.3 Măsurători termice și electrice asupra unor corpuri de iluminat cu LED folosind diverse metode de răcire active

Au fost realizate patru ansambluri de iluminat(Fig.5.21, Fig.5.22, Fig.5.23, Fig.5.24). Acestea au folosit același LED ca sursă de lumină și același material de interfață termică. Fiecare soluție de răcire activă a fost comparată cu cea pasivă obținută prin nealimentarea dispozitivului activ sau prin îndepărtarea acestuia deoarece s-au folosit diverse forme, dimensiuni și materiale pentru radiatoare.

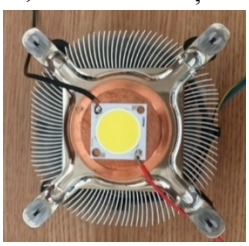


Fig. 5.21 Corp de iluminat cu ventilator

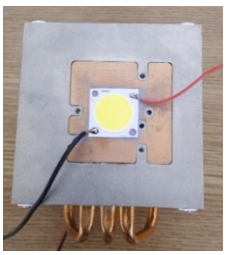


Fig. 5.22 Corp de iluminat cu ventilator și radiator cu heat pipe

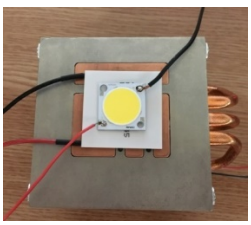


Fig. 5.23 Corp de iluminat cu modul Peltier și radiator cu heat pipe

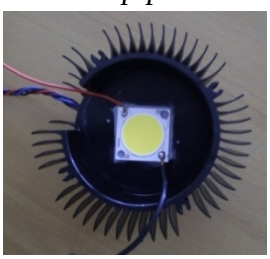


Fig. 5.24 Corp de iluminat cu SynJet

O comparație a acestora realizată în Tab. 5.2.

Tab.5.2 Comparația metodelor de răcire din punct de vedere al costurilor(20.07.2017), consumului suplimentar de putere electrică și al zgomotului introdus

Nr. Crt.	Solutie răcire	Consum suplimentar de putere electrică introdus (W)	Zgomot introdus (dB)	Pret total (lei)

1.	SynJet	0.84	15	190
2.	Radiator si ventilator Intel	0.96	20	94
3.	Radiator cu heat pipe si ventilator Sunon	0.34	17.8	120
4.	Modul Peltier si radiator cu heat pipe	10	0	150

5.3.1 Ansamblul de iluminat 1

Sunt prezentate rezultatele comparării primului ansamblu de iluminat pentru două situații cand este pornit respectiv oprit ventilatorul.

5.3.2 Ansamblul de iluminat 2

Sunt prezentate rezultatele comparării celui de-al doilea ansamblu de iluminat pentru două situații cand este pornit respectiv oprit ventilatorul.

5.3.3 Ansamblul de iluminat 3.

Sunt prezentate rezultatele comparării celui de-al treilea ansamblu de iluminat pentru două situații cand este este prezent respectiv absent modulul Peltier.

5.3.4 Ansamblul de iluminat 4

Sunt prezentate rezultatele comparării celui de-al patrulea ansamblu de iluminat pentru două situații cand este pornit respectiv oprit dispozitivul entru producerea jeturilor de aer.

5.3.5 Concluzii

S-a constatat ca una dintre cele mai silențioase și mai eficiente metode din punct de vedere termic și electric este cea în care folosim dispozitive pentru generarea jeturilor sintetice de aer.

Capitolul 6

Modelarea termică cu ajutorul schemelor termice echivalente și a modelelor geometrice a LED-urilor de putere

6.1 Modelarea la nivel de capsulă LED

A fost realizat un model simplificat al LED-ului din punct de vedere al array(LED-ul este de tip COB) în sensul că a fost folosită o zona compactă de siliciu și a fost neglijată influența materialelor termice de interfață dintre părțile componente ale COB-ului. Acest subcapitol are la bază articolul [52] publicat de autoare. Părțile componente ale LED-ului COB sunt prezentate în Fig.6.1.

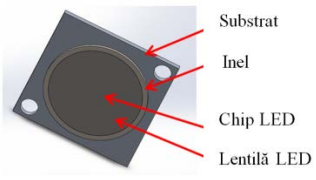


Fig. 6.1 Părțile componente ale LED-ului COB

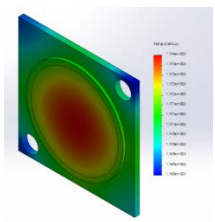


Fig. 6.2 Rezultatele simulării pentru LED-ul COB fără radiator pentru P_d=12.8W, h=7W/m^{2}K, T_a=20ºC.

Proprietățile materialelor părților componente ale ansamblului de iluminat folosite în simulare sunt prezentate în teză. Rezultatele simuării sunt prezentate în Fig.6.2. Observăm că valoarea obținută în urma simulărilor este foarte mare(1174°C).

6.2 Modelarea la nivel de sistem

A fost realizat modelul unui ansamblu de iluminat(Fig.6.4) format dintr-un modul LED de tip COB de foarte mare putere aflat pe substrat metalic(aluminiu) și radiator realizat din aluminiu(Fig. 6.4).

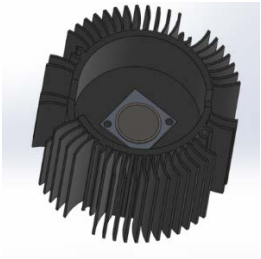


Fig. 6.4 Modelul ansamblului de iluminat cu LED

Au fost realizate măsurători asupra corpului de iluminat. Rezultatele măsurării după 90min. când corpul de iluminat a ajuns la echilibru termic sunt prezentate în Fig.6.6.

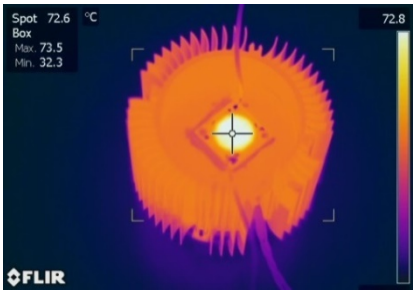


Fig. 6.6 Rezultatele măsurătorilor după 90min.

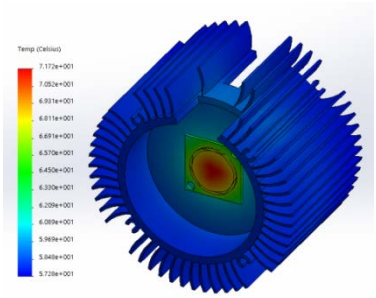


Fig. 6.7 Rezultatele simulării pentru substrat de aluminiu, radiator de aluminiu si h=7W/m^{2}K, P_d=12.8W, T_a=20°C

Pentru contactul dintre modulul LED și radiator a fost estimată o rezistență termică de 0.2˚C/W. Rezultatele simulării sunt prezentate în Fig.6.7.

6.3 Validarea modelului

Validarea modelului se va face prin compararea rezultatelor simulărilor cu cele rezultate din măsurători(Fig.6.8.)

Modelarea termică cu ajutorul schemelor termice echivalente și a modelelor geometrice a LED-urilor de putere

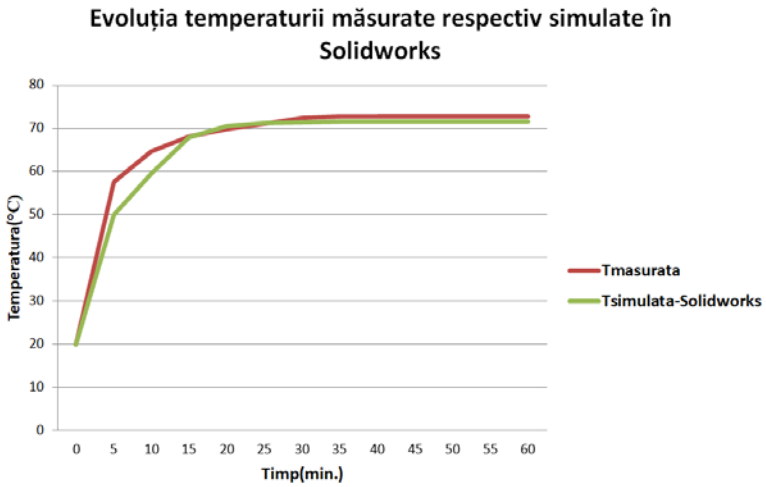


Fig. 6.8 Evoluția temperaturii rezultată în urma măsurătorilor respectiv simulări în Solidworks

Diferența dintre rezultatele oferite de simulări și cele din măsurători este mai mică de 2ºC. Așadar modelul propus si setarile utilizate au fost validate.

6.4 Efectul condițiilor ambiante și al parametrilor de material asupra rezultatelor simulărilor

6.4.1 Efectul temperaturii ambiante

A fost realizată simularea termică a ansamblului de iluminat pentru 5 valori ale temperaturi ambiante -20ºC , 0ºC , 20ºC, 40ºC respectiv 60ºC. Valoarea puterii disipate respectiv a coeficientului de convecție rămânând aceeași: P_d=12.8W, h=7W/m^2K. În teză sunt prezentate rezultatele simulărilor.

6.4.2 Efectul coeficientului de transfer termic prin convecție

Coeficientul de transfer temic prin convecție este un parametru care este foarte greu de măsurat. În general valoarea acestuia este estimată. A fost realizată simularea pentru ansamblul de iluminat pentru 3 valori ale coeficientului de transfer termic prin convecție: h=5W/m^2K , h=7W/m^2K, h=10W/m^2K (Fig.6.17) Valoarea puterii disipate respectiv a temperaturii ambiante rămânând aceeași: P_d=12.8W, T_a=20°C.

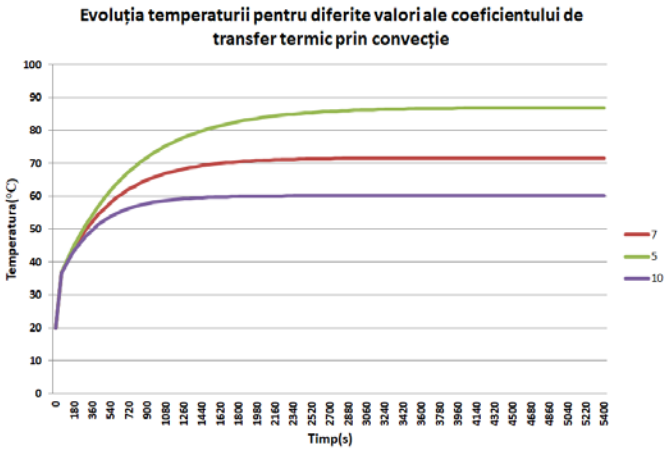


Fig. 6.17 Evoluția temperaturii maxime pentru diferite valori ale coeficientului de transfer termic prin convecție

6.4.3 Materialul de substrat

Substratul folosit în realizarea LED-urilor de putere are un rol important în caracterizarea termică a acestuia. Există trei tipuri de materiale predominant folosite ca substrat: metalice, ceramice sau organice. Au fost realizate simulări pentru 3 materiale: aluminiu, alumina si FR4(Fig. 6.20).

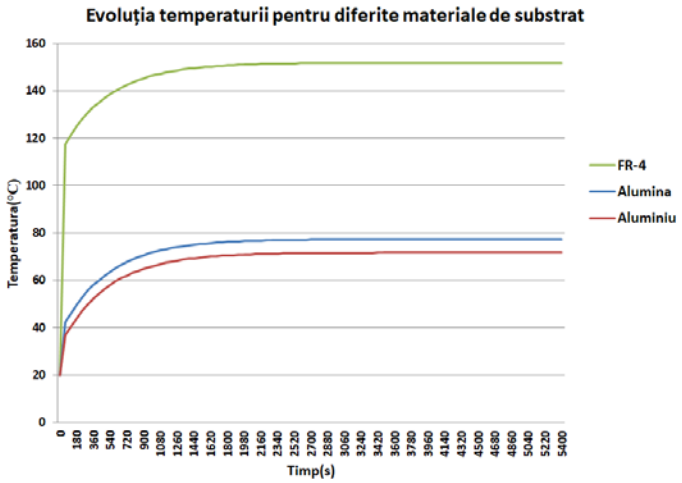


Fig. 6.20 Evoluția temperaturii maxime în timp pentru diferite materiale de substrat

6.4.4 Efectul materialului din care este realizat radiatorul

Forma, dimensiunile, materialul și modul de prelucrare al radiatorului afectează performanțele termice ale acestuia. Au fost realizate simulări pentru trei tipuri de material pentru radiator aluminiu, cupru și grafit restul setărilor ramanând aceeași(Tab.6.1).

Modelarea termică cu ajutorul schemelor termice echivalente și a modelelor geometrice a LED-urilor de putere

Tab. 6.1 Rezultatele simulărilor pentru diferite materiale

Nr. crt.	Materialul radiatorului	Temperatura maximă obținută (°C)
1	Aluminiu	71.72
2	Cupru	69.69
3	Radiator cu inima de cupru si aripioare din aluminiu	70.11
4	Grafit	69.38

A fost dublată lungimea radiatorului(Fig.6.24).

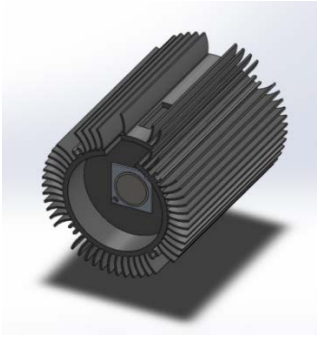


Fig. 6.24 Modelul virtual redimensionat

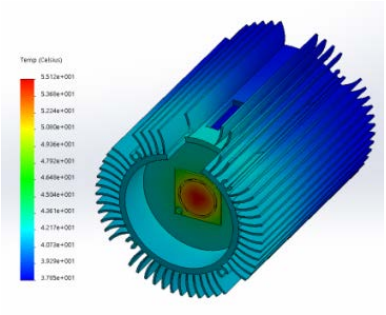


Fig. 6.25 Rezultatele simulărilor pentru LED pe substrat de aluminiu, radiator din aluminiu cu lungimea dublă, $h=7W/m^2K$, $P_d=12.8W$, $T_a=20°C$

Rezultatele simulării sunt prezentate in Fig.6.25. Observăm că valoarea maximă a temperaturii este 55.12°C. Aceasta este valoarea rezultată pentru cazul în care am folosit metoda de răcire activă cu jeturi sintetice de aer.

6.4.5 Efectul frecvenței semnalului asupra rezultatelor simulării

A fost aplicat un semnal cu frecvența de 5Hz, 25Hz, 50Hz respectiv de 100Hz cu factorul de umplere 50%. Valorile obținute după o secundă de la alimentare sunt centralizate în Tab.6.2.

Tab. 6.2 Rezultatele simulărilor

Tipul de alimentare	Temperatura pe chip după 1s(°C)
Curent continuu	29.63
Impulsuri cu frecvența de 100Hz și factor de umplere 50%	24.569
Impulsuri cu frecvența de 50Hz și factor de umplere 50%	24.526
Impulsuri cu frecvența de 25Hz și factor de umplere 50%	24.426
Impulsuri cu frecvența de 5Hz și factor de umplere 50%	24.161

6.4.6 Concluzii

S-a constatat că creșterea temperaturii ambiante va duce la creșterea cu aceeași valoare a temperaturii maxime de pe ansamblul simulat. Coeficientul de convecție deși are valori din domeniul convecției naturale o creștere cu 1W/m^{2}K poate duce la modificarea temperaturii cu până la 5°C. Pentru materialul de substrat metalic s-au obținut cele mai bune performante termice și nu ar fi recomandat ca un astfel de LED de foarte mare putere sa aibă substrat din FR4. Nu sunt foarte mari diferențe între rezultatele obținute pentru cupru comparativ cu aluminiul încât să justifice utilizarea. Alimentarea în impulsuri duce la obținerea unei temperaturi mai mici pe chip decât în cazul alimentării în curent continuu însă valoarea iluminării se reduce foarte mult.

6.5 Modelarea termică în regim static și tranzitoriu cu ajutorul schemelor termice echivalente și al modelelor geometrice a LED-urilor de putere

în realizarea modelului termic atât ca schema echivalentă Spice cât si la nivel de simulare termică Solidworks se pornește de la premisa că vor fi două temperaturi ambiante: una la nivelul radiatorului si alta deasupra lentilei primare a LED-ului. Aceasta diferență se datorează faptului că LED-ul face parte dintr-un corp de iluminat ce prezintă lentila/dispersor de lumină care împiedică schimbul de fluide dintre lentila primară a LED-ului și exteriorul corpului de iluminat.

6.5.1 Modelarea în regim static cu două temperaturi ambiante

În Fig.6.29 sunt prezentate rezultatele simulării o singură valoare a temperaturii ambiante dar coeficienți de convecție diferiți. În Fig.6.30 sunt reluate măsurătorile pentru două valori ale temperaturii ambiante T_a=293K la exterior și T_{a1}=296K în interiorul incintei create între chip-ul montat pe radiator și lentilă.

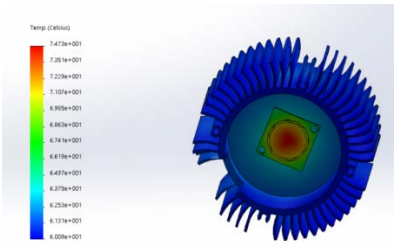


Fig. 6.29 Rezultatele simulării pentru P_d=12.8W, T_a=T_{a1}=293K, h=7W/m^{2}K la exterior și h_2=3W/m^{2}K în interiorul corpului de iluminat(T_{max}=74.73ºC)

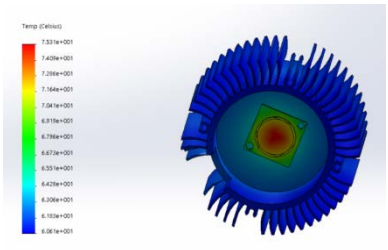


Fig. 6.30 Rezultatele simulării pentru P_d=12.8W, T_a=293K, h=7W/m^{2}K la exterior și h_1=3W/m^{2}K, T_{a1}=296K în interiorul corpului de iluminat(T_{max}=75.31ºC)

Modelarea termică cu ajutorul schemelor termice echivalente și a modelelor geometrice a LED-urilor de putere

Schema electrică echivalentă în regim static este prezentată în Fig.6.31.

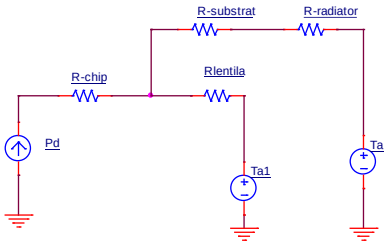


Fig. 6.31 Schema electrică echivalentă în regim sttic

În această schemă se ține cont și de rezistența termică a lentilei. Rezultatul simulării în regim staționar cu temperaturile egale cu 20°C a condus la o temperatură maximă de 76.109°C, iar cu două temperaturi ambiante de 20°C, respectiv 23°C a condus la o temperatură maximă de 77.417°C.

6.5.2 Modelarea în regim tranzitoriu

Structura subcircuitului Spice cu rețele Cauer pentru modelarea termică în regim tranzitoriu este prezentată în Fig.6.36:

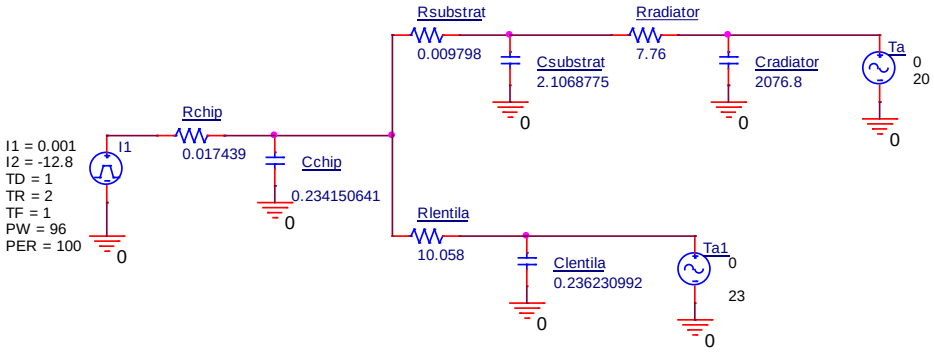


Fig. 6.36 Structura subcircuitului Spice cu rețele Cauer pentru modelarea termică în regim tranzitoriu

În Tab. 6.4 sunt centralizate valorile temperaturii obținute în urma măsurătorilor respectiv simulărilor Solidworks și Spice în regim tranzitoriu.

Tab. 6.4 Valoarea temperaturii măsurate respectiv simulate obținută în anumite condiții

	Temperatura ambiantă(°C)				
				T_a	T_{a1}
	20	0	40	20	23
Valoare măsurată(°C)	72.6	-	-	-	
Valoare rezultată în simularea Solidworks(°C)	71.72	51.72	91.72	75.31	

Valoare rezultată în simularea Spice(°C)	76.082	56.082	96.082	77.389

6.5.3 Concluzii

S-a constatat că pentru a obține modele cat mai realiste se recomandă să se țină cont de diferența dintre valorile parametrilor fluidului de deasupra lentilei primare respectiv a radiatorului.

6.6 Soluție de îmbunătățire a capabilității termice pentru un radiator cu miez compact

Pornind de la premisa că temperatura maximă de pe un corp de iluminat este afectată de suprafața de contact cu aerul nu doar de volum am realizat simulări pentru corpul de iluminat studiat în 6.1 însă am modificat miezul radiatorului în sensul găuriri acestuia în zona în care nu se află în contact cu baza LED-ului. Rezultatele simulărilor sunt centralizate în Tab. 6.5.

Tab. 6.5 Sinteza rezultatelor simulărilor

	Distanța între găuri(mm)	T_{max}(°C)
Fără găuri în miezul radiatorului		71.72
Gaura de 3mm	8	70.97
	4	68.97
Gaura de 2mm	8	71.09
	4	68.66

6.6.1 Concluzii

S-a constatat că cele mai bune performanțe termice se obțin în cazul în care numărul de găuri a fost cel mai mare.

6.7 Metodă de îmbunătățire soluție de răcire activă

Modelului Solidworks dezvoltat în 6.1 i s-a adăugat carcasa dispozitivului pentru producerea jeturilor sintetice de aer(Fig.6.49) astfel am obținut modelul ansamblului de iluminat cu jeturi sintetice de aer studiat în 4.4. Acest material a fost publicat de autoare în [59].

Modelarea termică cu ajutorul schemelor termice echivalente și a modelelor geometrice a LED-urilor de putere

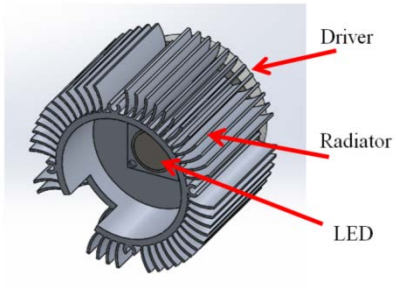


Fig. 6.49 Modelul ansamblului de iluminat

A fost realizată simularea acestuia cu următoarele condiții inițiale: P_D=12.8W și coeficientul de convecție naturală h=7W/m^{2}K..

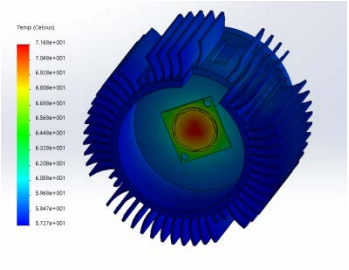


Fig. 6.50 Rezultatele simulării pentru P_D=12.8W și coeficientul de convecție naturală h=7W/m^{2}K.

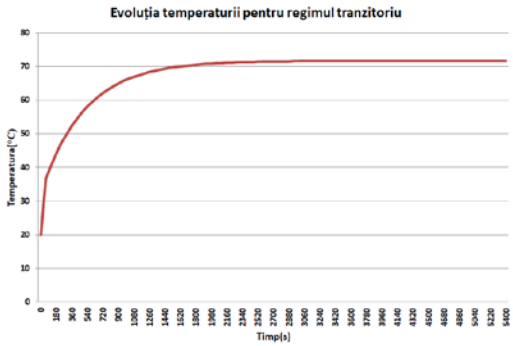


Fig. 6.51 Evoluția temperaturii în regim tranzitoriu

A fost realizată analiza în regim tranzitoriu(Fig.6.51).
A fost modificată valoarea coeficientului de transfer termic de pe aripioarele radiatorului la 14 W/m^{2}K(printre acestea este mișcat aerul datorită generatorului de jeturi sintetice), în rest acesta a rămas tot la valoarea de 7W/m^{2}K. În Fig.6.53 sunt comparate rezultatele măsurători respectiv simulării.

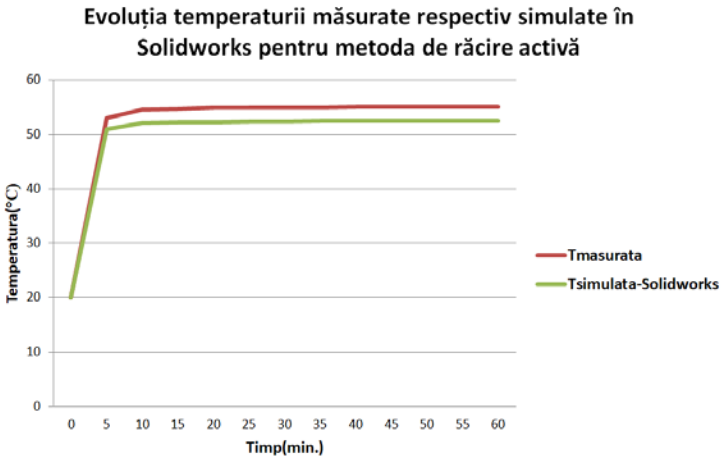


Fig. 6.53 Evoluția temperaturii măsurate respectiv simulate dacă este folosită metoda de răcire activă.

Pentru a scădea temperatura pe modulul LED a fost modificată geometria radiatorului. Au fost îndepărtate trei aripioare(Fig.6.56) iar in locul acestora a fost pusă o structură care să ghideze aerul ieşit prin duze spre lentila LED-ului, astfel încât să se creeze o convecție forțată deasupra lentilei(Fig.6.60).

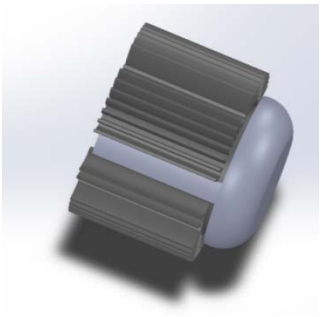


Fig. 6.56 Corpul de iluminat fără trei aripioare și cu canal de redirecționare a jeturilor de aer(vedere din lateral)

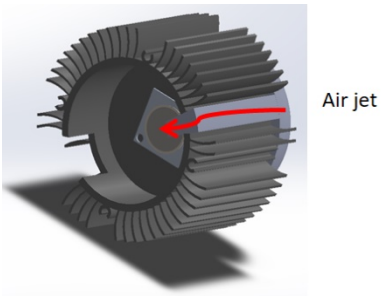


Fig. 6.60 Circulația aerului spre lentila LED-ului

A fost reluată simularea dar în acest caz valoarea coeficientului de transfer termic prin convecție a fost setată la 14W/m^{2}K pe întreaga suprafață a corpului de iluminat.(Fig.6.61).

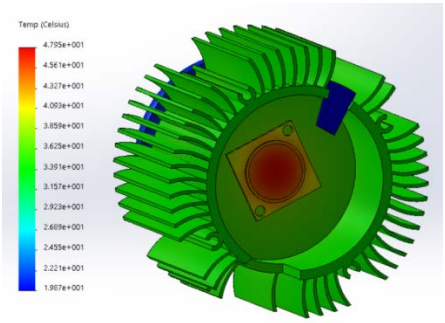


Fig. 6.61 Rezultatele simulării pentru P_D=12.8W și coeficientul de convecție h=14W/m^{2}K.

6.7.1 Concluzii

A fost propusă o metodă de îmbunătățire a unei metode de răcire active existente pe piață. Aceasta metoda de îmbunătățire constă în redirecționarea unor jeturi de aer generate sintetic de la dispozitivul pentru generarea acestora, dealungul corpului radiatorului și direcționarea acestora asupra lentilei LED-ului. S-a avut în vedere faptul ca LED-ul poate fi răcit și dinspre partea prin care emite lumina. Corpul de iluminat modificat a fost simulat iar rezultatele au fost comparate cu cele obținute în urma măsurătorilor respectiv a simulărilor ansamblului nemodificat al corpului de iluminat cu LED. Temperatura obținută pe LED pentru ansamblul modificat fiind mai mică cu 4.53°C decât în cazul ansamblului de iluminat nemodificat.

Capitolul 7

Instrumente software dezvoltate

7.1 Interfață de comunicație PC-multimetru Keithley 2700

In vederea obținerii unui număr mare de măsurători pe secundă a fost realizată o interfață, folosind LabView, de comunicare într PC și multimetru Keithley via GPIB. Aceasta a avut la bază exemplele deja existente în LabView care au fost utilizate în vederea obținerii unui număr cât mai mare de măsurători pe secundă fără a folosi o placă de achiziție. Intervalul minim dintre două măsurători a fost de 2ms. În teză este prezentată această interfață și programul aferent acesteia.

7.2 Interfață Labview pentru calculul estimativ al temperaturii de joncțiune

A fost realizată o interfață utilizând Labview pentru a permite calculul estimativ al temperaturii de joncțiune utilizând rezultatele măsurătorilor atât în regim de funcționare continuu cât și tranzitoriu. Interfața permite alegerea modului de funcționare cât și introducerea de la tastatură a parametrilor obținuți din măsurători. În teză este prezentată această interfață și programul aferent acesteia.

Capitolul 8

Aplicație ce folosește LED-uri de putere

8.1 Soluție constructivă pentru semafoare care funcționează în condiții meteo extreme

În acest capitol este prezentat un model de semafor publicat de autoare în [60] ce utilizează un modul Peltier pentru încălzirea lentilei externe a semaforului prevăzut cu un modul LED de putere de tip RGBW. Pentru răcirea LED-ului se va folosi un modul Peltier. LED-ul va fi montat pe partea rece a acestuia iar pe partea caldă/fierbinte va fi montată carcasa corpului de iluminat ce va prelua căldura şi o va transporta către lentila externă ce va avea înserate firicele subţiri dintr-un metal bun conductor pentru a încălzi cât mai uniform lentila dar fără a afecta transparenţa/rolul acesteia. Sunt realizate simulări pentru diverse valori ale temperaturii ambiante respectiv diverse valori ale curentului prin modulul Peltier.

8.2 Concluzii

Semafoarele care utilizează module Peltier pot fi folosite pentru zone în care sunt întâlnite fenomene meteo extreme.

Capitolul 9

Concluzii

9.1 Rezultate obţinute

În acest subcapitol, în teză, sunt prezentate rezultatele obținute pe capitole.

9.2 Contribuţii originale

- Prezentarea unei soluții de îmbunătățire a sistemului de răcire cu SynJet prezentată în capitolul 6 și publicată în [11].
- Prezentarea unei metode de estimare a temperaturii de joncțiune a LED-ului direct în ansamblul de iluminat descrisă în capitolul 4 și publicată în [6].
- Prezentarea unei metode de creștere a capabilității termice pentru un radiator cu inimă de aluminiu și aripioare laterale prin utilizarea unor găuri de trecere de tip vias prezentată în capitolul 6 și nepublicată încă.
- Realizarea unui model termo-electric echivalent în care se ține cont de diferența de temperatură între mediul ambiant și cel de deasupra lentilei descrisă în caoitolul 6 și publicată în [13].
- Prezentarea unei soluții constructive de semafor care să lucreze în condiții meteo extreme descrisă în capitolul 8 și publicată în [4].

- Analiza prin intermediul simulărilor a efectului condițiilor de frontieră, a parametrilor materialelor precum și a tipului dev alimentare asupra rezultatelor simulărilor descrisă în capitolul 6 și publicată în [7, 12,14].
- Analiza comparativă din punct de vedere termic și electric a alimentării în curent continuu respectiv impulsuri de curent continuu pentru alimentarea LED-urilor de putere prezentată în capitolul 3 și realizată in baza articolului publicat în [2].
- Analiza comparativă a instrumentelor de măsurare a temperaturii la nivel de componentă și de ansamblu de iluminat descrisă în capitolul 4 și publicată în [5].
- Realizarea de măsurători termice, electrice și optice asupra unor ansambluri de iluminat cu LED pe substrat ceramic sau metalic ce utilizează metode de răcire activă cu modul Peltier[1, 12], ventilator[9,10,12], sau dispozitive de tip SynJet[8, 12] prezentată în capitolul 5.
- Realizarea de modele Solidworks pentru LED-urile folosite în măsurători cu diverse forme de radiatoare și simularea termică a ansamblului format de acestea[7, 11, 12].
- Realizarea de modele Solidworks pentru LED-ul cu substrat metalic folosit în măsurători și diverse forme de radiatoare și simularea termică a ansamblului format de acestea cu parametrii fizici modificați(materialul de substrat respectiv materialul radiatorului), sau cu radiatorul redimensionat [12].
- Realizarea unei interfețe de comunicație între PC și multimetru Keithley în vederea creșterii vitezei de măsurare și achiziție fără să fie folosită o placă de achiziție prezentată în capitolul 7.
- Realizarea unui program ce permite reprezentarea grafică a timpului de viață estimat dacă se cunosc timpi de viață utili pentru trei valori diferite.
- Analiza comparativă din punct de vedere al costurilor de achiziție, al zgomotului introdus de dispozitivele de răcire dar și al dimensiunilor al celor patru corpuri de iluminat ce folosesc metode de răcire activă realizată în capitolul 5.

9.3 Lista lucrărilor originale

[1]. **N. Bădălan**, P. Svasta, *Peltier elements vs. heat sink in cooling of high power LEDs,* 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), 2015, pp: 124-128 , DOI: 10.1109/ISSE.2015.7247975, WOS:000374113000026.

[2]. **N. Bădălan**, P. Svasta , F. Draghici, *Constant current versus pulse current for power supplies on high power LED,* 2015 IEEE 21st International Symposium for Design and Technology of Electronics Packaging (SIITME), Brașov, 2015, pp: 263-266, DOI: 10.1109/SIITME.2015.7342337, WOS:000377765500049.

[3]. **N. Bădălan**, P. Svasta, *Analysis of LEDs thermal properties,* 2016 IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Oradea, 2016, pp. 155-158, DOI: 10.1109/SIITME.2016.7777267, WOS:000390557400032.

[4]. **N. Bădălan (Drăghici)**, P. Svasta, C. Marghescu, *Thermal Simulation of Traffic Lights in Extreme Weather Conditions*, 2016 IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology of Electronics Packaging (SIITME), Oradea, 2016, pp. 223-226, ISBN:978-1-5090-4446-7, WOS:000390557400047.

[5]. **N. Bădălan (Drăghici),** P. Svasta, A. Drumea, *Temperature measurements of high power LEDs*, Proc. SPIE 10010, Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies VIII(ATOM-N), Constanța, 2016, 1001019 (14 December 2016); DOI: 10.1117/12.2245729, WOS:000391359600045.

[6]. **N. Bădălan (Drăghici)**, P. Svasta and C.Ionescu, *Determining the LEDs junction temperature as a function of forward voltage in given operating conditions*, 2016 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Ploiesti, 2016, pp. 1-4., DOI: 10.1109/ECAI.2016.7861120, WOS:000402541200056.

[7]. **N. Bădălan (Drăghici)**, C. Ropoteanu and C. Marghescu, *Investigation of heat dissipation limits for high power LEDs*, 2016 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Ploiești, 2016, pp. 1-4, DOI: 10.1109/ECAI.2016.7861189, WOS:000402541200125.

[8]. **N. Bădălan((Drăghici),** P. Svasta and N. D. Codreanu, *Comparison of synthetic air jet vs. passive heat sinks for cooling COB LED modules*, 2017 40th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), Sofia, 2017, pp. 1-4, DOI: 10.1109/ISSE.2017.8000897, WOS:000426973000020.

[9]. **N. Bădălan((Drăghici),** P. Svasta and C. Marghesu, *Fan vs. passive heat sinks for cooling high power COB-type LEDs*, 2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Targoviste, 2017, pp. 1-4, DOI: 10.1109/ECAI.2017.8166477, WOS:000425865900093.

[10]. **N. Bădălan((Drăghici)**, P. Svasta, *Fan vs. passive heat sink with heat pipe in cooling of high power LED*, 2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Constanta, 2017, pp. 296-299. DOI: 10.1109/SIITME.2017.8259911, WOS:000428032300062.

[11]. **N. Bădălan((Drăghici)**, P. Svasta and C. Marghesu, *A Method for Improving an Active Cooling Solution for LEDs*, 2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME**)**, Iași, 2018, pp. 5-8, DOI: 10.1109/SIITME.2018.8599197, WOS:000466960400001.

[12]. **N.Bădălan(Drăghici)** , P.Svasta , C. Marghescu, *Active cooling method for chip-on-board LEDs*, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 80, Iss. 2, 2018, ISSN 2286-3540, WOS:000434342000008.

[13]. **N.Bădălan(Drăghici)**, P.Svasta , C. Marghescu, *Thermal Model for LED Luminaire*, 2019 IEEE 25th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)**,** *Cluj-Napoca*, 2019, pp: 335-358, DOI: 10.1109/SIITME47687.2019.8990735

[14]. **N. Drăghici(Bădălan)**, *The Effect of Boundary Conditions and Material Parameters on the Temperature of High Power LEDs*, 2019 11th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Pitești, 2019, pp. 1-6, DOI: 10.1109/ECAI46879.2019.9042007.

9.4 Perspective de dezvoltare ulterioară

Una dintre direcțiile viitoare de dezvoltare ar putea fi verificarea soluției de îmbunătățire a metodei active de răcire cu SynJet în aplicații practice, corectarea erorilor de realizare și proiectare și îmbunătățirea eficienței.

Ar putea fi realizată găurirea radiatorului în vederea realizării practice a metodei de îmbunătățire a parametrilor termici ai radiatorului cu miez compact, omogen.

O altă direcție de dezvoltare ulterioară ar putea fi realizarea de măsurători cu sfera integratoare pentru revalidarea modelelor propuse.

De asemenea în ceea ce privește utilizarea modulelor Peltier în răcirea LED-urilor de putere în cercetările viitoare se va încerca recuperarea unei părți din tensiunea electrică și reducerea consumului modulului Peltier.

Referitor la modelul termic echivalent cu două temperaturi ambiante s-ar putea găsi o soluție astfel încât să se regăsească în schemă si coeficientul de convecție.

Referitor la propunerea de soluție constructivă a unui semafor care să funcționeze în condiții extreme s-ar putea realiza practic ansamblul de iluminat respectiv.

10 Anexe

10.1 Program Matlab pentru reprezentarea grafică a timpului de viață pentru LED-uri

Este prezentat programul Matlab utilizat la realizarea graficului timpului de viață respectiv timpul de viață util pentru un LED.

10.2 Interfață sistem măsură cu sensor

În teză este prezentată interfața PC-senzor.

10.3 Simulări termice pentru temperatura ambiantă egală cu 0°C și 50°C

Sunt prezentate rezultatele simulărilor pentru modelul de semafor propus însă pentru temperatura ambiantă egală cu 0°C repectiv 50°C.

10.4 Modelarea termică a unui LED de putere montat pe radiator de formă dreptunghiulară

A fost realizat modelul corpului de iluminat cu LED-ului din capitolul 4. Sunt realizate simulări pentru diferite materiale ale radiatorului, puterii disipate respectiv coeficient de transfer termic prin convecție.

10.5 Modelarea termică a unui ansamblu de ilumimat cu LED care folosește radiator și ventilator

A fost realizat modelul corpului de iluminat cu ventilator asupra căruia am realizat măsurătorile în Capitolul 3. .În teză sunt realizate simulări pentru diferite materiale de substrat respectiv coeficient de transfer termic prin convecție.

10.6 Metodă de răcire activă care utilizează modul Peltier

In teză sunt prezentate rezultatele măsurătorilor pentru experiment asemanator celui în care folosim metoda de răcire activă cu module Peltier însă LED-ul folosit are substrat ceramic iar radiatorul folosit este cel de la dispozitivul cu jeturi de aer.

10.7 Măsurători asupra unui ansamblu de iluminat care folosește LED cu substrat ceramic și metodă de răcire activă cu ventilator

Acest material a fost publicat de autoare în [64]. In teză sunt prezentate rezultatele măsurătorilor pentru experiment asemanator celui prezentat în 5.3.1 însă LED-ul folosit are substrat ceramic.

10.8 Măsurători asupra unui ansamblu de iluminat care folosește LED cu substrat ceramic și metodă de răcire activă cu ventilator și heat pipe

Acest material a fost publicat de autoare în [65]. In teză sunt prezentate rezultatele măsurătorilor pentru experiment asemanator celui prezentat în 5.3.2 însă LED-ul folosit are substrat ceramic.

10.9 Driver de curent constant cu convertor buck

În vederea alimentării LED-ului de mare putere a fost proiectat și realizat un driver de curent constant cu convertor buck. În teză este prezentată schema electrică și modul de funcționare al acestuia.

10.10 Evoluția temperaturii în timp pentru diferite materiale de substrat

În teză este prezentat un tabel cu evoluția temperaturii în timp pentru diferite materiale de substrat.

Bibliografie

[1] A.Pope C. Lasance, *Thermal management for LED application*.: Springer pg. 289. ISBN 978-1-4614-5090-0, 2014.

[2] Chemical%20compatibility%20of%20LEDs.pdf. [Online]. http:/www.osram-os.com

[3] osram-os.com. [Online]. https://ledlight.osram-os.com/wp-content/uploads/2013/01/OSRAM-OS_LED-FUNDAMENTALS_Basics-of-LEDs_v1_09-01-10_SCRIPT.pdf

[4] C. Yuan, Bo Sun, Bob Li, X. Fan and G. Q. Zhang S. Koh, "Product level accelerated lifetime test for indoor LED luminaires," in *14th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*, Wroclaw, 2013, pp. 1-6.

[5] Jian-Jang, Kuo, Hao-Chulg and Shen, Styh-Chiang Huang, *Nitride Semiconductor Light-Emitting Diodes (LEDs): Materials, Technologies and Application*. New Delhy Oxford: Woodhead Publishing, 2014, vol. 54.

[6] (2011, June) led-profesional. [Online]. https://www.google.ro/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi2ycKLupXWAhUJchQKHQ7LAAsQFghMMAU&url=https%3A%2F%2Fwww.led-professional.com%2Fresources-1%2Fled-reports-roadmaps%2Fdoe-publishes-updated-recommendations-for-testing-

[7] Next Generation Lighting Industry. energy.gov. [Online] 2014. [Cited: 08 27, 2017.] Alliance. (2015, Jan.) energy.gov. [Online]. https://energy.gov

[8] Titu-Marius, Bîzu M. Bajanescu, *Mecanisme de defectare ale componentelor electronice*.: Martrix Rom, 2012.

[9] M. Vladescu I. Plotog, "Power LED efficiency in relation to operating temperature," *Proc. SPIE 9258, Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies VII(ATOM)*, no. 92S820, 2015.

[10] Niculina Bădălan, Paul Svasta, and Florin Drăghici, "Constant current versus pulse current for power supplies on high power LED," in *2015 IEEE 21st International Symposium for Design and Technology of Electronics Packaging (SIITME)*, Brașov, 2015, pp. 263-266.

[11] osram-os.com. [Online]. http://www.osram-os.com/Graphics/XPic1/00165234_0.pdf/Thermal%20Consideration %20of% 20Flash%20LEDs.pdf

[12] Ekaterina Schütt, "Thermal management and design optimization for a high power LED work light.," 2014.

[13] Niculina Bădălan and Paul Svasta, "Analysis of LEDs thermal properties," in *2016 IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, Oradea, 2016, pp. 155-158.

[14] Q. Dai Q. Shan, "Analysis of thermal properties of GaInN light-emitting diodes and laser diodes," in *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 108, 084504*, 2010.

[15] I., Narendran,N., Liu, Y. Perera, "Accurate measurement of LED lens surface temperature, LED-based Illumination Systems," *Proc. SPIE 8835, LED-based Illumination Systems*, no. 883506, 2013.

[16] Pablo Venegas , Jon Guerediaga , Laura Vega , Julio Molleda and Francisco G. Bulnes Rubén Usamentiaga, "Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing," *Sensors*, vol. 14, no. https://doi.org/10.3390/s140712305, pp. 12306-12348, 2014.

[17] Dongyeob Han , Choonghyun Kang , Achintya Haldar and Jungwon Huh Quang Huy Tran, "Effects of Ambient Temperature and Relative Humidity on Subsurface Defect Detection in Concrete Structures by Active Thermal Imaging," *Sensors*, vol. 17, no. https://doi.org/10.3390/s17081718, p. 1718, 2014.

[18] Niculina Bădălan(Drăghici), Paul Svasta, and Andrei Drumea, "Temperature measurements of high power LEDs," in *Proc. SPIE 10010, Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies VIII(ATOM-N)*, Constanța, 2016.

[19] I., Narendran,N., Liu, Y. Perera, "Accurate measurement of LED lens surface temperature," , 2013.

[20] E.F. Schbert Xi Y., "Junction–temperature measurement in GaN ultraviolet light-emitting diodes using diode forward voltage method," *Applied Physics Letters*, vol. 85, September 2004.

[21] "LEDs, Optimizing PCB Thermal Performance for Cree XLamp; www.cree.com/xlamp.".

[22] J. H. Choi L.Kim, "Thermal Analysis of LED Array System with Heat Pipe," *Thermochimica Acta*, vol. 499, pp. 21-25, 2007.

[23] S. Graham A. Christen, "Thermal Effects in Packaging High Power Light Emitting Diode Arrays," *Applied thermal engineering*, vol. 20, pp. 364-373, 2009.

[24] M. Ivanova, et al. Y. Avenas, "Thermal Analysis of Thermal Spreads Used in Power Electronics Cooling," *IEEE, 37th IAS Annual 2002 Conference Record of the Industry application conference*, vol. 1, pp. 216-221, 2002.

[25] Y. , Lien, W., Huang, Y., Chen, N. Yang, "Junction temperature measurement of light emitting diodes by voltage-temperature relation method", (2007).," *Conference on Lasers and Electro-Optics - Paci_c Rim*, 2007.

[26] H., Han, K., Liu, M., Fan S. Shen, "Improved Electrical Measurement Method for Junction Temperature of Light Emitting Diodes," *Przglad Elektrotechniczny(Electrical Review)*, no. ISSN 0033-2097, R. 88 NR 3b/2012, 2012.

[27] W.R.Ryckaert, G.Deconinck, P.Hanselaer Keppens A, "High power light emitting diode junction temperature determination from current-voltage characteristics; ," *Journal of Applied Physics 104* , no. 093104, 2008.

[28] Niculina Bădălan(Drăghici), Paul Svasta, and Ciprian Ionescu, "Determining the LEDs junction temperature as a function of forward voltage in given operating conditions," in *2016 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, Ploiești, 2016, pp. 1-4.

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

[30] Berkant Gyoch, Stanislav Penchev and Hristo Beloev Petko Mashkov, "Method for in-situ power LEDs' junction temperature measurements," *Proc. of 33th International Spring Seminar on Electronics Technology - ISSE 2012*, vol. Bad Aussee, Austria, pp. 95-100, 9-13 May 2012.

[31] Lucian Baia. (2003) phys.ubbcluj.ro. [Online]. http://www.phys.ubbcluj.ro/~lucian.baia/courses/Efectul%20Peltier2003.pdf

[32] tec-mycrosystems. [Online]. http:/tec-microsystems//Download/Thermoelectric cooler basics

[33] R., Heffington. S., Jones, L. and Williams, R Mahalingam, "Synthetic Jets for Forced Air Cooling of Electronics ," in *Electronics Cooling*, May 2007.

[34] aavid.com. [Online]. http://www.aavid.com/sites/default/files/products /led/pf_SynJet%20PAR25%20 LED%20 Cooler%20Design%20Guide%20v1%200.pdf.

[35] Markus Schwickert, Nuventix, "Improving system reliability with Synjet cooling," in *Central Texas Electronics Association Electronics Design & Manufacturing Symposium* , 2012.

[36] (2020, aprilie) https://www.europeanthermodynamics.com.

[37] (2020, aprilie) https://www.amazon.co.uk.

[38] Amir Faghri, "Heat pipes: review, opportunities and challenges," *Global Digital Central*, 2014.

[39] kamk.fi. [Online]. https://www.kamk.fi/loader.aspx?id=ada3e007-8d37-46b5-b653-a207b58726f6

[40] Marius Popovici, "Radiatoare pentru dispozitive electronice," *Electronica Azi*, aprilie 2007.

[41] [16] http://www.cree.com/~/media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20 Application%20Notes/XLampThermalManagement.pdf.

[42] [Online]. http://www.zseries.in/electronics%20lab/heat%20sinks/#.XNskLP5R1PY

[43] [Online]. https://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampThermalManagement.pdf

[44] Niculina Bădălan, Paul Svasta, and Cristina Marghescu, "Active cooling method for chip-on-board LEDs," *U.P.B. Sci. Bull.*, vol. 80, no. ISSN 2286-3540, Series C 2018.

[45] http://www.formfactors.org/developer/specs/rev1_2_public.pdf.

[46] Niculina Bădălan and Paul Svasta, "Peltier elements vs. heat sink in cooling of high power LEDs," in *38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, Egger, 2015, pp. 124-128.

[47] Niculina Bădălan(Drăghici), Paul Svasta, and Norocel Dragoș Codreanu, "Comparison of synthetic air jet vs. passive heat sinks for cooling COB LED modules," in *2017 40th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, Sofia, 2017, pp. 1-4.

[48] Stefan Müller , Thomas Zahner, and Frank Singer , "Evaluation of thermal transient characterization methodologies," in *Microelectronics Journal 44*, 2013, pp. 1005–1010.

[49] Mehmet Arik, Charles Beckerb, and Stanton Weaverb, "Thermal Management of LEDs: Package to System," *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, vol. 5187, pp. 64-75, ianuarie 2004.

[50] Mehmet Arik, James Petroski, and Stanton Weaver, "Thermal Challenges in the future generation solid-state lighting applications: Light Emitting Diodes," in *Pro. of the ASME/IEEE ITHERM-Conference*, San Diego, 2002.

[51] E. Liu, T. Zahner, S. Besold, W. Kalb and G. Elger S. Tandon, "Transient thermal simulation of high power LED and its challenges," in *," 2017 18th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*, Dresden, 2017, pp. 1-8.

[52] Niculina Drăghici(Bădălan), "The Effect of Boundary Conditions and Material Parameters on the Temperature of High Power LEDs," in *2019 11th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, Pitești, 2019, pp. 1-6.

[53] D.Roncati, "Iterative calculation of the heat transfer coefficient," in *Progettazione Ottica Roncati, via Panfilio, 17 – 44121 Ferrara*, https://lisafea.com, 2016.

[54] http://www.frostytech.com.

[55] P. Ptak K. Górecki, "Modelling power LEDs with thermal phenomena taken into account," *Proceedings of 22nd International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems Mixdes*, 2015.

[56] K. Górecki, "Modelling mutual thermal interactions between power LEDs in SPICE," vol. 55(2), no. pp.389-395. , 2015.

[57] Niculina Bădălan(Drăghici), Paul Svasta, and Cristina Marghescu, "Thermal Model for LED Luminaire," in *2019 IEEE 25th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, Cluj-Napoca, 2019, pp. 335-358.

[58] V. Szekely, "A new evaluation method of thermal transient measurement results," *Microelectronics Journal*, vol. 28, no. 3, pp. 277-292, Martie 1997.

[59] Niculina Bădălan(Drăghici), Paul Svasta, and Cristina Marghescu, "A Method for Improving an Active Cooling Solution for LEDs," in *2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, Iasi, 2018, pp. 5-8.

[60] Niculina Bădălan(Drăghici), Paul Svasta, and Cristina Marghescu, "Thermal Simulation of Traffic Lights in Extreme Weather Conditions," in *2016 IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology of Electronics Packaging (SIITME)*, Oradea, 2016, pp. 223-226.

[61] patents/US8262263.

[62] patents/US20120255942.

[63] Niculina Bădălan(Drăghici), Constantin Ropoteanu, and Cristina Marghescu, "Investigation of heat dissipation limits for high power LEDs," in *2016 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, Ploiesti, 2016, pp. 1-4.

[64] Niculina Bădălan(Drăghici), Paul Svasta, and Cristina Marghescu, "Fan vs. passive heat sinks for cooling high power COB-type LEDs," in *2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, Targoviste, 2017, pp. 1-4.

[65] Niculina Bădălan(Drăghici) and Paul Svasta, "Fan vs. passive heat sink with heat pipe in cooling of high power LED," in *2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, Constanta, 2017, pp. 296-299.

[66] madehow.com. [Online]. http://www.madehow.com/Volume-1/Light-Emitting-Diode-LED.html

[67] A.Pope, C. Lasance, *Thermal management for LED application.*: Springer, 2014.

[68] Ruta & Matejka, Milan & Ostachowicz, W & Kurowski, Marcin & Malinowski, Pawel & Wandowski, Tomasz & Rimasauskas, Marius. Rimasauskiene, "Experimental research of the

synthetic jet generator designs based on actuation of diaphragm with piezoelec," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 50-51, 2015.

[69] P. Ptak K. Górecki, "Modelling LED lamps in SPICE with thermal phenomena taken into account," *Microelectronics Reliability, Poland, pp. 440-447*, vol. 79, 2017.

[70] Schubert EF, *Light-Emitting Diodes Second Edition Cambridge University Press*. New York, 2008.

[71] (2014) osram-os. [Online]. https://www.osram-os.com/Graphics/XPic5/00165201_0.pdf/Reliability%20and%20Lifetime%20of%20LEDs.pdf.

[72] www.cree.com