



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANELOR VÂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE

OIPOSDRU



Universitatea
POLITEHNICA
din București

FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Investește în oameni!

Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Proiect POSDRU/107/1.5/S/76903 – *Formarea viitorilor cercetatori-experti prin programe de burse doctorale (EXPERT)*



UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI

Facultatea Inginerie Electrica

Departamentul Masurari, Aparate electrice si Convertoare statice

Nr. Decizie Senat 227 din 20.12.2013

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Caracterizarea și modelarea surselor optice cu LED

Characterization and modeling of LED optical sources

Autor: Ing. Dragomir Radu Bogdan

Conducător de doctorat: Prof.dr.ing. Pantelimon Brândușa

București

2014

Cuvânt de mulțumire

Elaborarea și fundamentarea temeinică a unei teze de doctorat se poate realiza numai cu condiția unei îndrumări științifice de calitate. Pe această cale doresc să adresez deosebite mulțumiri doamnei prof. univ. dr. ing. Brândușa Pantelimon pentru îndrumare științifică, răbdare și amabilitate de care a dat dovadă pe tot parcursul elaborării tezei de doctorat și a efectuării stagiului de pregătire.

Deosebită recunoștință datorez unchiului meu dr. ing. Radu Dragomir, cercetător științific în cadrul Institutului Național de Studii și Cercetări pentru Comunicații, pentru sprijinul permanent, trasarea liniilor de interes ale tezei și nu în ultimul rând pentru observațiile constructive.

De asemenea, mulțumesc domnilor prof. dr. ing. Jean-Claude Vannier, Pierre Lefranc, Philippe Dessante din cadrul Departamentului de Energie al Facultății SUPELEC din Franța pentru facilitarea stadiului de pregătire și pentru aportul adus studiului termic.

Realizarea acestei teze de doctorat nu ar fi fost posibilă fără sprijinul nemijlocit al colegilor din Departamentul de Proiectare și Cercetare a S.C. Electromagnetica S.A. care au contribuit la diferite experimente și modele efectuate pe parcursul acestei teze de doctorat. Țin să-i mulțumesc în special domnului ing. Marius Oprea care m-a sprijinit și încurajat în activitățile desfășurate.

În mod categoric finalizarea acestei teze de doctorat nu ar fi fost posibilă fără ajutorul familiei și prietenei cărora le mulțumesc pentru înțelegere, încredere, permanentă încurajare și nu în ultimul rând sprijin moral.

Autorul

CUPRINS

INTRODUCERE	14
CAPITOLUL 1	18
STADIUL ACTUAL PRIVIND TEHNOLOGIA SOLID STATE LIGHTING	18
1.1 Puncte forte/ slabe ale tehnologiei LED și implementarea în tehnologii existente	18
1.2 Analiza parametrilor caracteristici ai unei matrici de putere cu LED-uri în contextul dezvoltării actuale	20
1.3 Managementul termic	25
1.4 Sisteme optice de ghidare a fluxului luminos	28
CAPITOLUL 2	32
STANDARDE DE ILUMINAT	32
2.1 Standardul LM-79-08	32
2.2 Standardul SR EN 62384 – Aparataj electronic alimentat în curent continuu sau în curent alternativ pentru module LED. Prescripții de performanță.	35
2.3 Standardul SR EN 62031 – Module LED pentru iluminat general. Specificații de securitate.	37
2.4 Standardul SR EN 61347 – Aparataj pentru lampi – module LED	37
2.5 Standardul SR EN 60598 – Corpuri de iluminat Prescripții generale și încercări	39
CAPITOLUL 3	41
PREZENTAREA UNUI NOU PROIECT DE SURSĂ DE CURENT CE UTILIZEAZĂ BALAST INDUCTIV. COMPARAREA RIPPLURILOR CU CELE ALE UNEI SURSE ÎN COMUTAȚIE	41
3.1 Necesitatea dezvoltării unei soluții economice de sursă de alimentare	42
3.2 Proiectarea și modul de funcționare ale sursei liniare de curent	43
3.3 Valoarea ripplurilor de curent în funcție de valoarea balastului inductiv	45
3.4 Valoarea ripplurilor de curent în funcție de valoarea capacității condensatorului electrolitic	49
3.5 Principiul de funcționare și diagrama unei surse în comutație	52
3.6 Rezultate	54
CAPITOLUL 4	55
SOLUȚII AUTONOME DE ALIMENTARE A UNUI CORP DE ILUMINAT CU LED-URI	55
4.1 Oportunitatea dezvoltării unei soluții autonome de iluminat cu LED-uri	55
4.2 Descrierea montajului experimental folosit	56
4.3 Rezultate	64

4.4 Modernizarea sistemului autonom de iluminat cu LED-uri	68
CAPITOLUL 5	69
MANAGEMENT TERMIC, METODE ȘI MIJLOACE DE MĂSURARE A CĂLDURII DISIPATE DE UN LED DE PUTERE	69
5.1 Descrierea modelului	71
5.2 Metoda elementelor finite aplicată unei structuri 3D	75
5.3 Modelul staționar al transferului de căldură – ecuații, setarea condițiilor de frontieră și implementare ecuațiilor NAVIER-STOKES în software.....	78
5.4 Modelul rezistenței termice	86
5.5 Modelul experimental testat pentru studiul managementului termic	87
5.6 Interpretarea rezultatelor, comparații între modelul experimental și rezultatele simulărilor.....	92
5.7 Modelul analitic de dezvoltare și optimizare a unui radiator nou	93
5.8 Concluzii, studii ulterioare bazate pe algoritmul generativ	96
CAPITOLUL 6	98
STUDIUL RADIOMETRIC AL SURSEI EMIȚĂTOARE	98
6.1 Radiometria în contextul actual	98
6.2 Mărimi radiometrice și modele.....	102
6.3 Rezultate	105
6.4 Sumarizare - concluzii	108
CAPITOLUL 7	109
MĂSURĂRI ȘI SIMULĂRI FOTOMETRICE	109
7.1 Fotometria domeniu de interes în distribuția luminoasă a matricilor de LED-uri de putere	109
7.2 Distribuția Lambertiană.....	114
7.3 Conformitatea cu standardele actuale și metode de măsurare ANSI-NEMA- ANSLGC78.377 și IES 79-08	115
7.4 Distribuția luminii și lentilele	122
7.5 Interpretarea rezultatelor obținute în laboratorul fotometric	126
7.6 Simularea în DIALux	128
7.6.1 Simularea iluminatului unui birou folosind LED-uri de 30W fără lentile	129
CAPITOLUL CONCLUZII	133
C.1 Concluzii generale	133
C.2 Contribuții originale.....	135
C.3 Perspective de dezvoltare ulterioară	136
REFERINȚE	

INTRODUCERE

0.1 Considerații generale- Istoricul iluminatului

Primele forme de iluminat artificial au fost date de incendiile provocate de elemente naturale - fulgere. Oamenii preistorici au profitat de acest “cadou divin” creându-și singuri focuri de tabără și torțe. Aceste inovații au fost consemnate încă din anii 400.000 î.Hr., în peșterile din Peking Man. Frigând carnea, omul a descoperit proprietățile combustibile conferite de grăsimile animale sau vegetale. În mileniul III î.Hr., prin folosirea unui filtru impregnat în seu, egiptenii au inventat lămpile cu ulei.

Lumânarea a apărut în secolul al IV-lea, dar folosirea ei s-a generalizat abia în secolul al XV-lea. Mult mai târziu, farmacistul Jean Nicolas Gannal a reușit să solidifice seul cu ajutorul acizilor, inventând tehnica de fabricare a lumânărilor. La sfârșitul secolului al XIX-lea a început să fie folosită parafina, un subprodus al rafinării petrolului.

În 1802, englezul Humphry Davy, chimist și fizician, care dispunea de o pilă electrică cu 2000 de elemente, a obținut o lumină fixă, prin trecerea curentului prin panglici filamente de platină. Ulterior, a descoperit principiul lămpii cu arc, care urma să producă iluminatul electric.

În 1841, englezul Frederick de Moleyns a brevetat prima lampă electrică cu incandescență, alcătuită dintr-un filament închis într-un bec de sticlă. În 1879 americanul Thomas Alva Edison a prezentat o lampă cu filament din celuloză carbonizată. Becul a ars timp de 40 de ore și Edison, om de afaceri avizat, i-a organizat exploatarea, fără a neglija publicitatea.

Începând cu 1933 au apărut lămpile cu vapori metalici (mercur, sodiu etc.), iar în 1938, lămpile fluorescente [4].

Primul LED cu emisie în spectrul vizibil (roșu) a fost realizat în anul 1962 de către Nick Holonyak, când lucra la General Electric Company .

Primele LED-uri comercializate pe scară largă au fost folosite pentru înlocuirea indicatoarelor incandescente, întâi la echipamentele scumpe ca cele de laborator și de teste, apoi, mai târziu, la televizoare, radiouri, telefoane, calculatoare, chiar și ceasuri. Primul LED cu capacitate mare de iluminare a fost realizat de cercetătorul Shuji Nakamura în anul 1993 dintr-un aliaj de InGaN. Acesta a fost premiat în anul 2006 cu Millennium Technology Prize pentru invenția sa [5].

0.2 Obiectivele lucrării de doctorat

Principalul obiectiv al actualei teze de doctorat îl reprezintă dezvoltarea, prin simulări și studiu practic, a unei noi generații de corpuri de iluminat bazate pe tehnologia Solid State Lighting. Capabilitățile dorite sunt alinierea la standardele actuale în materie de iluminat dar și obținerea unor corpuri de iluminat foarte eficiente din punct de vedere energetic.

Primul obiectiv îl reprezintă realizarea unui nou model de sursă liniară de curent cu balast inductiv. Soluția tehnică abordată a avut în vedere obținerea caracteristicilor electrice necesare alimentării modulelor cu LED de înaltă eficiență folosite la iluminat, în condițiile unor costuri de fabricare mult diminuate față de alte soluții disponibile. Se urmărește conceperea și optimizarea schemei electrice, simularea ripplului tensiunii și curentului de comandă a LED-ului în funcție de sarcina cuplată. Se compară modelul experimental de sursă liniară de curent cu balast inductiv cu sursa în comutație, pentru a evidenția avantajele, tehnice și economice, ale primeia în raport cu cea de-a doua.

Cu ajutorul acestui model experimental se efectuează simulări termice, în paralel cu măsurări experimentale, pentru a deduce temperatura maximă pe joncțiunea matricii de LED-uri. Se urmărește realizarea unui algoritm matematic de dimensionare a radiatorului în funcție de puterea disipată de matricea de LED-uri.

Se deduce și studiază influența dispunerii LED-urilor de putere în interiorul corpului de iluminat în vederea obținerii unei forme de lumină dorite pe suprafața țintă. Este studiată realizarea unui modelul matematic ce permite distanțarea/ apropierea surselor luminoase între ele în plan cartezian. Modelul matematic va avea posibilitatea schimbării distanței între sursă și receptor. Păstrarea caracterului Lambertian al sursei optice reprezintă de asemenea un obiectiv al tezei.

Prin obținerea de date experimentale, în laboratorul fotometric, ca urmare a măsurărilor efectuate asupra unei matrici de LED-uri de putere, se urmărește confirmarea simulărilor optice folosind programe de specialitate.

CAPITOLUL 1 - STADIUL ACTUAL PRIVIND TEHNOLOGIA SOLID STATE LIGHTING

1.2 Analiza parametrilor caracteristici ai unei matrici de putere cu LED-uri în contextul dezvoltării actuale

1.2.1 Eficiența luminoasă

Eficiența luminoasă, sau randamentul luminos este definită ca eficiența conversiei din puterea electrică în putere optică, combinată cu eficiența conversiei din putere optică în flux luminos perceput de ochiul uman. De la începutul producerii lor în mediul industrial, eficiența luminoasă a LED-urilor a crescut vertiginos. Astfel, la începutul anilor 70, un LED avea o eficiență de circa 0.1 lm/W ajungând ca în 2012 un LED modern să aibă 160 lm/W.

1.2.2 Durata de viață

O durată de viață mai mare implică, pe lângă economisirea capitalului necesar achiziționării altui corp de iluminat, costuri de mentenanță a instalației de iluminat mai scăzute. Durata de viață a unei matrici de putere trebuie definită în funcție de fluxul luminos emis. Managementul termic este definitoriu în durata de viață a unui corp de iluminat cu semiconductori. Astfel, dacă dimensionarea elementelor de disipare termică este corect aleasă, durata de viață a unui CIL (corp de iluminat cu LED-uri) este de peste 50.000 de ore. Prin dezvoltarea unor noi surse de curent ce permit folosirea a cât mai puține componente active de circuit, durata de viață a corpurilor de iluminat cu LED poate crește până la 100.000 ore.

1.2.3 Indicele de redare al culorii

Indicele de redare al culorii, CRI (Color Rendering Index) reprezintă o măsură a capacității luminii artificiale de a reproduce culorile comparativ cu lumina naturală. Este o metodă de măsură avizată de Comisia Internațională a iluminatului (CIE). Cea mai bună redare a culorilor este cotate de CIE cu indicele 100, iar cea mai slabă cu 0.

Indicele CRI al unor CIL se situează în jurul valorii de 80 de puncte, ceea ce-l propulsează în unul dintre cele mai bune surse de lumină din punct de vedere calitativ.

1.2.4 Disponibilitatea componentelor

Tehnologia de producție a tuturor componentelor unui CIL este una matură, ce conferă o aprovizionare ușoară și la costuri rezonabile. Numărul producătorilor de matrici de putere este în continuă creștere, posibilitatea achiziționării de surse de alimentare este și ea diversificată.

1.2.5 Costurile de producție

De la realizarea primului prototip de LED, în 1968 și până în prezent costul de producție definit pentru un lm/W a scăzut exponențial. Dacă în 1968 o emisivitate de un lm/W era cotată la câteva sute de dolari, în prezent costul de producție se ridică la câteva zeci de cenți.

1.2.6 Temperatura de culoare

Dispozitivele de iluminare cu LED pot combina puteri optice cu lungimi de undă diferite pentru a obține temperatura de culoare dorită. Astfel, amestecul dintre radiația de 485 nm (albastru) și radiația de 583 nm (oranj), va produce culoarea albă cu o temperatură de culoare de aproximativ 4000K.

1.2.7 Dimensiunile corpului de iluminat cu LED

Spre deosebire de sursele tradiționale de iluminat, sursele de iluminat cu LED pot fi proiectate într-un mod foarte compact. Dimensiunea redusă și lumina direcțională oferă posibilitatea unor soluții inovatoare, cu un design compact. Iluminatul arhitectural este realizat aproape în totalitate prin tehnologia SSL.

1.3 Managementul termic

Nevoia de îmbunătățire a iluminanței corpurilor de iluminat este în continuă creștere. Acest lucru a dus la proiectarea unor soluții de iluminat cu LED având o putere instalată crescândă. S-a ajuns la puteri de 30 - 50 W pentru matrici de LED-uri de dimensiuni minuscule în comparație cu un bec cu incandescență.

O dată ce dioda luminiscentă se afla în conducție, cuante luminoase sunt emise din joncțiunea p-n și energia este eliberată sub formă de flux luminos. În reacție, doar o parte din energie este transformată în lumină, restul de peste 70% se transformă în căldură. Conversia energiei în flux de căldură poartă numele de efect Joule. Temperatura de funcționare a joncțiunii matricei de LED-uri este critică, de ea depinzând fluxul luminos generat cât și durata de viață a dispozitivului.

Tabelul 1.1 Conversia energiei de către diferite surse emisivă

	Bec incandescent (60W)	Bec fluorescent	Metal Halid	LED
Spectru vizibil	8%	21%	27%	15-25%
IR	73%	37%	17%	0%
UV	0%	0%	19%	0%
Energie radiată	81%	58%	63%	15-25%
Căldură (conducție+conv)	19%	42%	37%	75-85%
Total	100%	100%	100%	100%

Drumul parcurs de căldură de la producerea ei, în joncțiunea p-n, până în mediul ambiant este unul lung. Disiparea căldurii generate de joncțiune trebuie să se facă folosind trecerea între diferite materiale, fapt ce îngreunează procesul de disipare: joncțiune – punct de sudură, punct de sudură – ambază, ambază – pastă termoconductivă, pastă termoconductivă – radiator, radiator – mediu ambiant. În majoritatea trecerilor de la un material la altul este folosit procesul de conducție, excepție face trecerea de la aripioarele radiatorului la mediul ambiant unde este folosită convecția.

1.4 Sisteme optice de ghidare a fluxului luminos

Spre deosebire de corpurile de iluminat tradiționale ce emit flux luminos omnidirecțional, LED-urile au un unghi de emisie al radiației cuprins între 90° și 120° . Acest aspect face ca eficiența luminoasă să fie mult mai ridicată, doar prin simplul fapt că întregul flux luminos este concentrat doar asupra planului ce trebuie iluminat.

Lentilele reprezintă componentele cele mai importante și cele mai frecvent utilizate în construcția aparatelor optice. Ele au rolul de a forma imagini cu caracteristici impuse privind natura, poziția, mărimea, iluminarea, rezoluția.

Pentru obținerea unor soluții foarte eficiente de iluminat se poate adăuga, pe lângă lentile și un sistem de ghidaj, numit reflector. Reflectorul este în mod tradițional folosit pentru corpurile de iluminat omnidirecționale. Rolul acestuia este de a capta și redirecționa fluxul luminos ce nu este îndreptat către ieșirea sursei optice. Reflectoarele sunt folosite pentru aplicații în care este nevoie de un unghi destul de mare de emisie, au o eficiență ridicată [90%] și au o margine ascuțită de emiteră a fluxului.

Alt avantaj al folosirii tehnologiei LED, din punct de vedere al emisiei luminoase, îl reprezintă posibilitatea de „dimming” al corpului de iluminat. Dimmingul este un control al fluxului luminos emis în funcție de tensiunea și implicit curentul de alimentare a matricei de LED-uri de putere. Pe lângă posibilitatea ajustării fluxului luminos emis, dimmingul are rol și în economisirea energiei electrice.

Alt criteriu electro-optic important este obținerea unui flux luminos instantaneu la aprinderea corpului de iluminat cu LED-uri. În cazul corpurilor de iluminat cu descărcare în gaze este nevoie de o perioadă importantă de timp de preîncălzire până la obținerea fluxului luminos dorit.

CAPITOLUL 2

STANDARDE DE ILUMINAT

Standardul reprezintă un document, stabilit prin consens și aprobat de către un organism recunoscut. Standardul asigură, pentru uz comun și repetat, linii directoare sau caracteristici pentru activități sau rezultatul lor, cu scopul de a se obține gradul optim de ordine într-un anumit context [17].

Pentru accelerarea dezvoltării și implementării corpurilor de iluminat cu semiconductori s-au elaborat și se revizuiesc permanent standarde de iluminat specifice SSL. În momentul de față există două entități ce reglementează acest domeniu. Pentru Statele Unite ale Americii există IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) iar pentru Europa ISO (International Organization for Standardization).

2.1 Standardul LM-79-08

În anul 2008, IESNA a publicat standardul LM-79-08 „Metode aprobate de măsură a caracteristicilor electrice și fotometrice a corpurilor de iluminat cu semiconductori”. Chiar dacă există nenumărate standarde ce se adresează măsurărilor fotometrice, acest standard este dedicat corpurilor de iluminat cu LED-uri. Astfel, sunt definite criteriile de evaluare a caracteristicilor unei surse de lumina de tip SSL, în anumite condiții predefinite (electrice și climatice), de obicei testate la începutul vieții produsului. Standardul oferă informații referitoare la metodele de măsură acceptate și reglementările în acest domeniu. Scopul standardului îl reprezintă descrierea procesului ce trebuie urmat și a observațiilor ce permit obținerea unor rezultate reproductibile pentru: fluxul luminos, puterea electrică, distribuția intensității luminoase și cromatica unui produs LED folosit în iluminat, în condiții standard.

2.2 Standardul SR EN 62384 – Aparataj electronic alimentat în curent continuu sau în curent alternativ pentru module LED. Prescripții de performanță.

Acest standard internațional definește condițiile de performanță ce trebuie îndeplinite de sursele de alimentare (de până la 250 Vdc sau 1000Vac/ 50Hz) conectate la un modul LED conform cu standardul IEC 62031. Sursele destinate alimentării modulelor LED din prezentul standard sunt proiectate pentru generarea de curent/tensiune constantă.

Pentru testarea surselor efectuată cu modul/ module LED conectate, acestea trebuie să respecte următoarele reglementări:

- la măsurarea puterii nominale, atunci când curentul/ tensiunea nominală este fixată, aceasta nu trebuie să difere cu mai mult de 6% față de cea declarată de producător;
- testele trebuie efectuate în ordinea impusă de standard;
- o singură mostră este supusă tuturor testelor;
- testarea unei surse acoperă doar un singur tip de sursă sau, în urma discuției cu producătorul, a unei game restrânse de surse similare;
- toate sursele testate trebuie să îndeplinească condițiile date de IEC 61347-2-13;
- sursele trebuie livrate cu cabluri de alimentare de 20cm, respectiv 200cm.

2.3 Standardul SR EN 62031 – Module LED pentru iluminat general. Specificații de securitate.

Standardul SR EN 62031 se aplică modulelor LED ce nu conțin sursă de alimentare și care funcționează alimentate la tensiune constantă/ curent constant sau putere constantă (până la 250 V DC, 1000V AC 50 Hz sau 60 Hz).

Modulele LED trebuie proiectate și produse astfel încât, în condiții normale de utilizare, să funcționeze fără a periclita securitatea utilizatorului sau a mediului înconjurător. Pentru modulele LED, toate măsurările electrice trebuie efectuate pentru tensiunea limită (minimă/maximă), curentul limită (minim/ maxim) sau putere. Se mai ține cont de frecvență și de factorii ambientali, în special temperatura.

Condițiile specifice testului sunt prezentate mai jos. Temperatura ambiantă, dacă nu este specificată, trebuie să se încadreze între 10°C și 30°C. Toate testele se efectuează pe o singură mostră. Excepție se face în cazul observării unei degradări a fluxului luminos emis. Pentru modulele SELV, se aplică specificațiile standardului IEC 61347-2-13.

Clasificarea modulelor LED după modul de instalare:

- a) încastrate;
- b) independente;
- c) integrate.

2.4 Standardul SR EN 61347 – Aparataj pentru lampi – module LED

Domeniu de aplicare al acestui standard îl reprezintă modulele LED ce au o tensiune de alimentare constantă ce nu depășește 25V în sarcină sau 33V atunci când circuitul de alimentare este lăsat în gol (fără conectarea modulelor). Acest tip de sursă, capabilă să furnizeze o tensiune sau un curent constant, la o tensiune numită TFJS (tensiune foarte joasă de siguranță) este folosită pentru protecția persoanelor ce le utilizează.

Aparatajul independent TFJS trebuie să corespundă cerințelor de rezistență de izolație, rigiditate dielectrică, distanțe de izolare pe suprafețe și distanțe de izolare în aer ale carcasei exterioare.

2.5 Standardul SR EN 60598 – Corpuri de iluminat. Prescripții generale și încercări

Standardul SR EN 60598 este cel mai cuprinzător și general standard dintre cele prezentate până acum și se aplică tuturor corpurilor de iluminat, indiferent de natura sursei de lumină. Standardul specifică condiții generale impuse CIL ce funcționează la o tensiune de alimentare de până la 1000V. Condițiile impuse, precum și testele aferente acoperă noțiuni de clasificare, marcaj, proiectare/ construcție mecanică și electrică. Aspectele legate de parametrii fotometrici se afla în atenția CIE (International Commission on Illumination) și de aceea nu sunt incluse în acest standard. Sunt incluse condițiile impuse surselor de lumină cu starter și balast inductiv, având o tensiune nominală de vârf mai mică de 1000V.

Obiectivul acestui standard este de a oferi un set de cerințe și teste considerate general valabile pentru majoritatea tipurilor de corpuri de iluminat și care pot fi considerate obligatorii în standardul IEC 60598-2.

Standardul conține o clasificare a corpurilor de iluminat după: protecția la șocuri electrice, gradul de protecție la apă și particule de praf, zona de montare (corpuri Anti-Ex).

Tabelul 2.1 Grade de protecție IP			
IP	Prima cifră Protecție împotriva corpurilor solide	IP	A doua cifră Protecție împotriva lichidelor
0	Nici o protecție	0	Nici o protecție
1	Protecție împotriva corpurilor solide, care sunt mai mari de 50mm	1	Protecție împotriva picăturilor de apă care cad vertical
2	Protecție împotriva corpurilor solide, care sunt mai mari de 12mm	2	Protecție împotriva picăturilor de apă care cad sub un unghi mai mic de 15° de la verticală
3	Protecție împotriva corpurilor solide, care sunt mai mari de 2,5mm	3	Protecție împotriva picăturilor de apă care cad sub un unghi mai mic de 60° de la verticală
4	Protecție împotriva corpurilor solide, care sunt mai mari de 1 mm	4	Protecție împotriva apei care stropește din toate direcțiile
5	Protecție împotriva pătrunderii particulelor, care sunt mai mici de 1mm	5	Protecție împotriva unui jet de apă, din toate direcțiile
6	Protecție împotriva prafului	6	Protecție împotriva jetului de apă sub presiune
7		7	Protecție împotriva scufundării (până la 150mm)
8		8	Protecție împotriva scufundării (până la 1000mm)

CAPITOLUL 3

PREZENTAREA UNUI NOU PROIECT DE SURSĂ DE CURENT CE UTILIZEAZĂ BALAST INDUCTIV. COMPARAREA RIPPLURILOR CU CELE ALE UNEI SURSE ÎN COMUTAȚIE

3.2 Proiectarea și modul de funcționare al sursei liniare de curent

Figura 3.1 prezintă schema electrică a sursei realizată în programul de simulare PSIM.

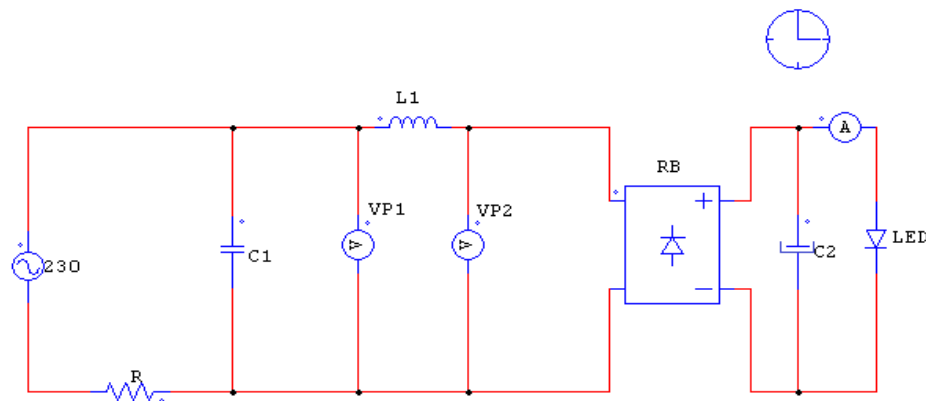


Fig. 3.1 Schema electrică sursă de curent continuu

Sursa de alimentare este alcătuită din trei părți. Primul etaj este etajul de alimentare al sursei fiind conectat la rețeaua electrică națională (intrare alternativă: 230VAC, 50Hz). Este alcătuită dintr-un rezistor R cu rol de protecție, un condensator de filtraaj C1 și un balast inductiv L1. În caz de scurtcircuit pe intrare, rezistența R se comportă ca o siguranță și deconectează sarcina prevenind astfel distrugerea componentelor sensibile. Mulțumită proprietății de stocare a energiei electrice, condensatorul este folosit pentru absorbția de supratensiuni de scurtă durată ce pot fi recepționate pe intrare, dinspre rețea. Un alt rol al acestui condensator îl reprezintă îmbunătățirea factorului de corecție al puterii (PFC). Experimental s-a demonstrat că, folosind un condensator adecvat, valoarea obținută a factorului de corecție s-a îmbunătățit de la 0.75 (la o putere activă de 160W) la 0.92 (pentru o putere activă de 120W).

Componenta principală a sursei este balastul inductiv L1. Valoarea acestuia trebuie aleasă astfel încât sursa să livreze către matricea de LED-uri un curent constant necesar obținerii distribuției luminoase impuse. De asemenea, L1 rejectează semnalele de înaltă frecvență provenite prin intermediul rețelei de alimentare (semnale conduse). Curentul ce

poate trece prin balast este limitat la valoarea curentului de saturație ($I_{\max}=1.2A$), dat de curba de histerezis a miezului magnetic. Acesta previne supraîncălzirea spirelor din balast.

Puntea redresoare RB reprezintă al doilea etaj al sursei de curent și asigură alimentarea LED-urilor cu tensiune continuă. Curentul redresat în punte, ca urmare a procesului de comutație de scurtă durată, încarcă condensatorul C2 până la o valoare superioară tensiunii de deschidere a matricii de LED-uri. Odată atinsă această valoare, puntea iese din conducție, alimentarea LED-urilor fiind asigurată de condensatorul electrolitic.

Ultimul etaj al sursei este condensatorul electrolitic C2. Acesta, împreună cu matricia de LED-uri reprezintă etajul de ieșire al sursei, respectiv consumatorul. Condensatorul C2 are rol de filtraj al tensiunii redresate, asigurând o valoare a rippleului în limite acceptabile.

În Figura 3.2 este reprezentată schema electrică a consumatorului/ sarcinii. Întreaga sarcină are nevoie să fie alimentată la o tensiune nominală de 100Vdc și un curent de aproximativ 300mA.

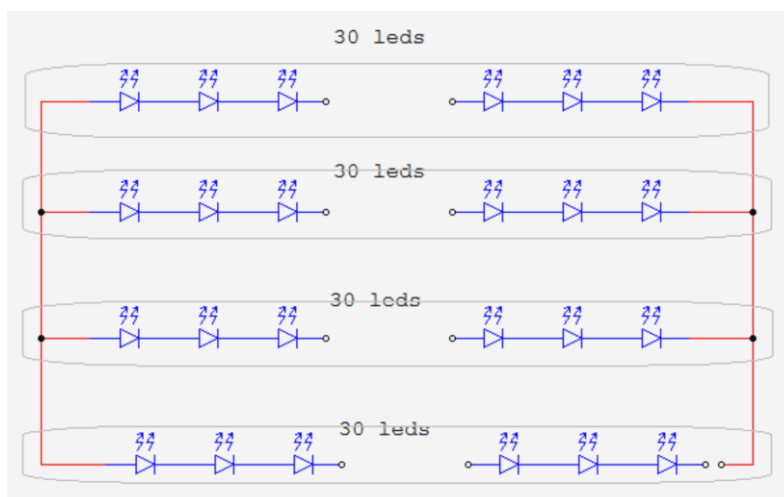


Fig. 3.2 Schemă electrică sarcină (LED-uri de putere)

Funcționarea sursei se bazează pe un compromis între valoarea impedanței balastului ce funcționează la o frecvență de 50Hz și valoarea capacității condensatorului de filtraj. Cu cât avem o inductivitate mai mare cu atât trebuie montat un condensator de filtraj mai mic, lucru ce îmbunătățește caracteristica rippleului de ieșire a sursei [25].

3.3 Valoarea rippleurilor de curent în funcție de valoarea balastului inductiv

Programele PSIM și MATLAB au fost folosite pentru simularea fluctuației curentului de alimentare al matricii de LED-uri în funcție de balastul și condensatorul electrolitic folosit. Rippleurile de curent sunt cele ce conduc la modificarea, în sensul creșterii sau scăderii, valorii curentului de alimentare pe LED-uri. O valoare mare a variației amplitudinii curentului pe ieșirea sursei poate afecta matricia de LED-uri, implicațiile fiind multiple, respectiv: variația fluxului luminos emis, supraîncălzirea matricii de LED-uri sau chiar distrugerea acestora.

În Figura 3.4 sunt vizualizate cu ajutorul unui osciloscop forma de undă a curentului. În figura din stânga se poate vedea o amplitudine mare a rippleului iar în partea din dreapta una foarte scăzută.



Fig. 3.4 Amplitudine mare/ mică a rippleului de curent

Actualul studiu s-a efectuat pe un eșantion de 3 bobine având inductivitatea de $L= 30$ mH, 100 mH și 381 mH, păstrând valoarea condensatorului electrolitic la valoarea de $100 \mu\text{F}$. Aceste valori au fost menținute pe parcursul ambelor regimuri studiate (regimul tranzitoriu și regimul permanent). Rezistența ohmică echivalentă a consumatorului a fost estimată la $r= 10\Omega$.

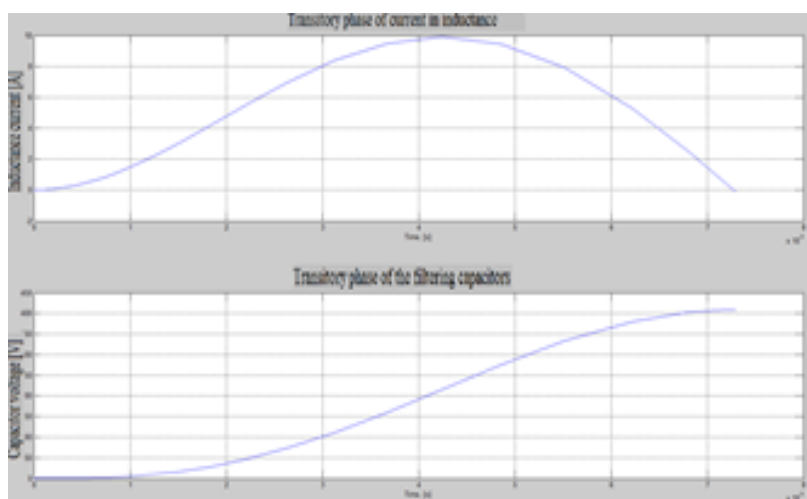


Fig. 3.5 Regimul tranzitoriu măsurat pe inductanța - curentul și pe condensator – tensiune ($L= 30\text{mH}$, $C = 100\mu\text{F}$, $r= 10\Omega$)

Figura 3.5 arată forma de undă a curentului pe bobină, respectiv a tensiunii pe condensator, în regim tranzitoriu ($t < 15\text{ms}$). Valoarea tensiunii pe condensator crește de la 0 V până la valoarea maximă atinsă în decursul funcționării. La $t = 7.3$ ms, când valoarea

curentului ce alimentează condensatorul atinge 0 mA, condensatorul începe să aibă rolul de furnizor de energie către matricea de LED-uri. Maxima curentului pe bobina este $I_L = 10A$.

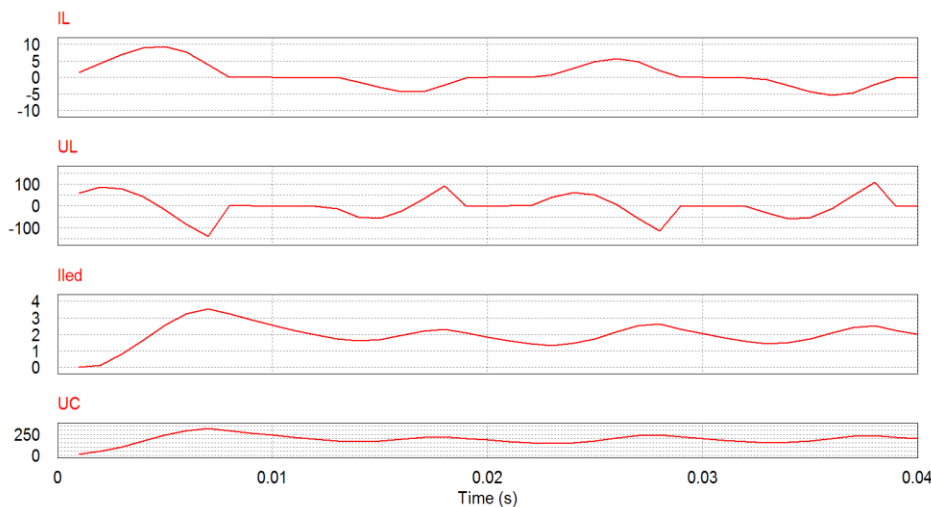


Fig. 3.6 I_L , U_L , I_{LED} , U_C Curbe obținute în regim permanent
 $L = 30\text{mH}$, $C = 100\mu\text{F}$

Curentul pe inductanță, I_L , tensiunea pe inductanță, U_L , tensiunea pe condensatorul de filtrare, U_C și curentul pe cele 4 matrice de LED-uri, I_{LED} , au fost prezentate grafic în Figura 3.6. Curentul extras din rețea încarcă condensatorul de filtraj până la o valoare a tensiunii maxime, care alimentează sarcina formată din LED-uri când acestea se afla în conducție. O dată ce regimul permanent se instalează, condensatorul de filtraj se încarcă și se descarcă ușor în jurul valorii sale nominale de funcționare ca urmare a procesului de intrare în conducție (pentru o foarte scurtă perioadă de timp) a punții redresoare. Ripplul suprapus pe curentul de alimentare I_{LED} , este de aproximativ 0.45A. Valoarea ripplului de tensiune pe condensatorul electrolitic este mai mare și poate atinge chiar și 40V.

3.4 Valoarea ripplurilor de curent în funcție de valoarea capacității condensatorului electrolitic

Condensatorul electrolitic ajută circuitul electric să aibă o valoare a ripplului pe ieșire mai scăzută. Curentul tranzitoriu ce alimentează LED-urile provine de la condensatorul de filtrare, de aceea ripplurile de curent depind de performanțele acestuia. Acesta se comportă ca un filtru ce netezește pantele de creștere a fluctuațiilor.

Au fost alese două valori diferite ale condensatorului DC ($C = 220 \mu\text{F}$ și $1000 \mu\text{F}$) folosind aceeași valoare a inductivității balastului ($L = 30 \text{mH}$).

Prima simulare a folosit $L = 30 \text{mH}$ și $C = 220 \mu\text{F}$. Rezultatele regimului tranzitoriu sunt prezentate în Figura 3.11. Comparând cu prima simulare, a cărei rezultate au fost arătate

în Figura 3.5, timpul necesar încărcării condensatorului a scăzut la $t = 8.9$ ms, iar valoarea maximă a curentului pe bobina a scăzut la $I_L = 6.7$ A.

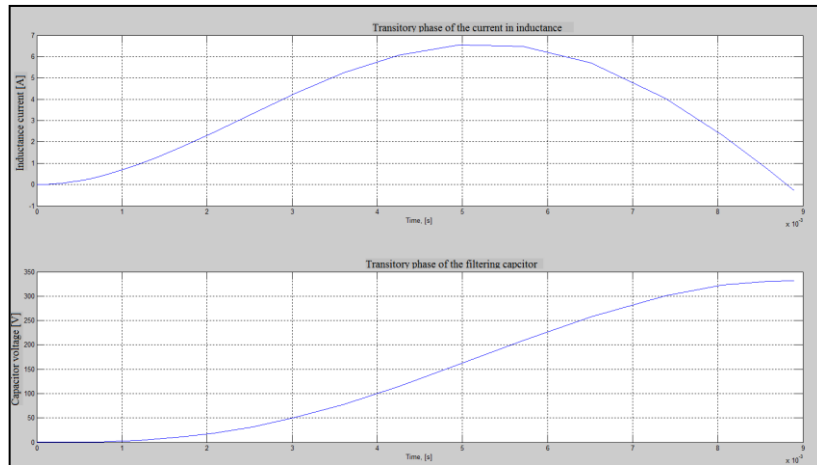


Fig. 3.11 Regimul tranzitoriu măsurat pe inductanța - curentul și pe condensator –tensiune ($L = 30$ mH, $C = 220$ μ F)

Curbele obținute în Figura 3.12 arată o modificare importantă a ripple-ului de tensiune în sensul scăderii, dacă ne raportăm la Figura 3.6. Nivelul obținut este de 20V, cu 100% mai bun decât precedentul. Și ripple-ul măsurat pe curent a scăzut până la o valoare de 0.25A, fapt ce înseamnă o îmbunătățire de 80%.

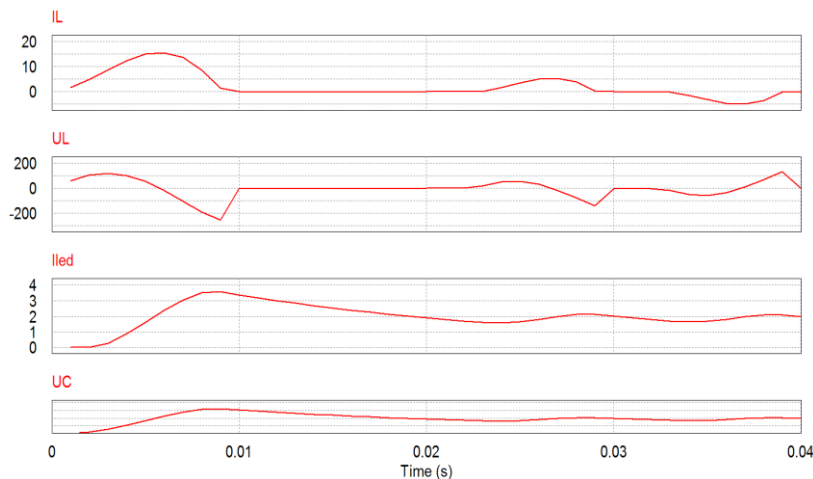


Fig. 3.12 I_L , U_L , I_{LED} , U_C Curbe obținute în regim permanent
 $L = 30$ mH, $C = 220$ μ F

Un ripple de 7.5 V al tensiunii face ca ripple-ul pe curent să scadă la o valoare de numai 0.05A, astfel încât forma de undă a curentului livrat spre LED-uri să fie aproape plată.

Luând în considerație toate simulările efectuate mai sus, s-a decis realizarea unei surse de curent. Prototipul a reprezentat un succes și a fost implementat în producția de serie a corpurilor de iluminat cu LED-uri. Specificațiile acestui prototip sunt: un balast inductiv de inductivitate 381 mH folosit cu un condensator electrolitic de 220 μ F.

3.5 Principiul de funcționare și diagrama unei surse în comutație

Schema electrică este compusă dintr-un filtru de rejecție al interferențelor electromagnetice montat pe intrare (filtru EMI), un condensator de filtraj pe intrare, un etaj de comutație alcătuit din: transformator, tranzistori de comutație și punte de redresare; etajul de modulare PWM (pulse width modulation), filtrul de ieșire, bucla de reacție a circuitului precum și protecții: protecția la suprasarcină, protecția la supracurent, protecția la supratensiune [31], [33].

Diagrama bloc a unei surse în comutație este prezentată în Figura 3.15.

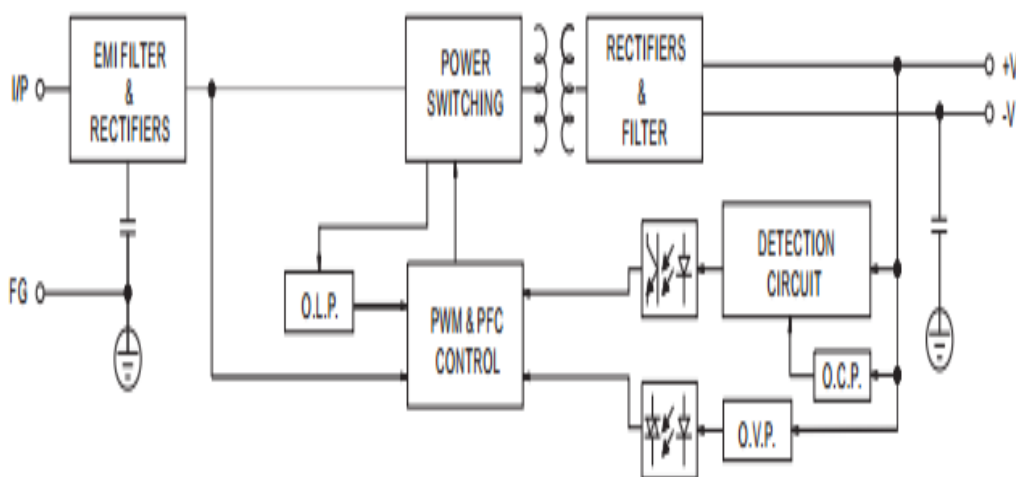


Fig. 3.15 – diagrama bloc a unei surse în comutație [32]

Tabelul 3.1 Caracteristicile sursei liniare vs. sursa în comutație

	Sursa liniară	Sursa în comutație	Comentarii
Dimensiune	x	80% mai mic	Aceeași putere pe ieșire
Greutate	x	80% mai ușor	Aceeași putere pe ieșire
Variația acceptată a tensiunii de alimentare	-10%...+15%	-150%...+150%	
Eficiența	<60%	>80%	
Siguranța în exploatare	$\lambda=10^{-7} \text{ h}^{-1}$	$\lambda=10^{-7} \text{ h}^{-1}$	
Rippluri	~ mV	~ 100 mV	
Emisii	Zgomot zero	10000 mai rău	LED imun la emisii
Răspunsul în timp al sursei	50 microsecunde	3000 microsecunde	
Cost de producție	X	300% mai ridicat	La aceeași valoare a puterii

3.6 Rezultate

Din simulările efectuate au reieșit valorile inductanței și ale condensatorului folosite pentru dezvoltarea sursei. Inductanța balastului și valoarea capacității de filtraj au fost calculate pentru asigurarea unui curent de ieșire constant cu un ripple de curent de 50 mA.

Figura 3.17 este o diagramă caracteristică valorii optime în alegerea capacității în funcție de inductanța balastului, obținută în baza simulărilor efectuate în MATLAB. Pentru soluții în care ripplel trebuie să aibă o valoare foarte scăzută, se recomandă folosirea unui balast inductiv de valoare mare și a unui condensator electrolitic mare, așa cum a reieșit din simulări.

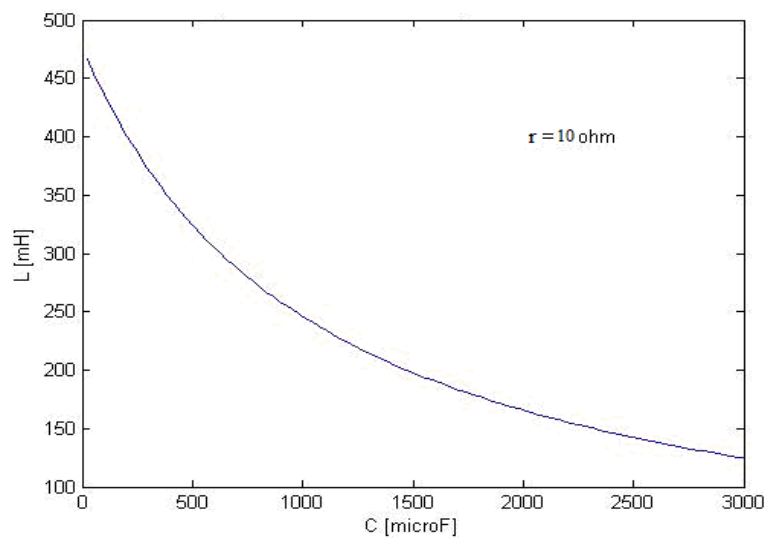


Fig. 3.17 Caracteristica $L = f(C)$

Ecuția folosită pentru definirea caracteristicii $L=f(C)$ este:

$$L = \frac{50 \times \frac{1000 \times R}{2 \times \pi \times f}}{2 \times \pi \times f \times R \times C \times 10^{-6} + 1}$$

Costul de producție al unei surse liniare de 140W este de aproximativ 50 euro, în timp ce costul de achiziție al unei surse în comutație depășește 160 euro.

CAPITOLUL 4

SOLUȚII AUTONOME DE ALIMENTARE A UNUI CORP DE ILUMINAT CU LED-URI

4.2 Descrierea montajului experimental folosit

Sistemul autonom de iluminat a fost realizat din: două panouri fotovoltaice (50W fiecare) conectate în paralel, un generator eolian, un controller MPPT, doi acumulatori de 12Vdc 100Ah, un inverter de 300W, un temporizator programabil și un corp de iluminat cu LED-uri de 36W alimentat la 230Vac.

Arealul de interes în care s-a efectuat și implementat modelul experimental este București și împrejurimile sale (coordonate geografice longitudine: 26° 10'; latitudine: 44° 12'). Numărul mediu de zile ploioase pe an este de aproximativ 100 (28% din an). S-au efectuat documentări asupra timpului mediu însorit în situațiile cele mai defavorabile (iarna: 4.5 ore de soare/ zi) și cel mai favorabil (vara: 8 ore de soare/ zi).

Suprafața receptoare a panourilor fotovoltaice a fost direcționată către sud. Pentru o optimizare a captării radiației solare în decursul unui an calendaristic s-a optat pentru o înclinare a panourilor de 45° față de orizontală.

Montajul experimental s-a efectuat în două etape: prima etapă a cuprins întreg montajul enumerat mai sus, iar în cea de-a doua etapa s-a înlăturat generatorul eolian. Testele au fost finanțate și realizate în incinta societății S.C. Electromagnetica S.A.. Costul aproximativ al materialelor folosite, la data efectuării montajului – August 2011, s-au ridicat la aproximativ 1880 euro pentru sistemul cu generator eolian și de 910 euro pentru sistemul fără generator.

4.2.8 Sistemul autonom de iluminat cu LED

Actualul sistem utilizat pentru iluminat stradal și pietonal a fost alcătuit, așa cum a fost prezentat, din: panouri fotovoltaice, generator eolian, controller MPPT, acumulatori, inverter, temporizator programabil și un corp de iluminat cu LED-uri de 36W.

Componenta principală a sistemului, de la care s-a pornit dezvoltarea, a fost matricea LED. Unul dintre avantajele iluminatului cu SSL, eficiența energetică, este „responsabilă” pentru posibilitatea dezvoltării acestui sistem autonom de iluminat.

Cea de-a doua componentă foarte importantă este regulatorul MPPT, ce este folosit pe lângă rolul său de optimizare în captarea energiei și încărcarea acumulatorilor și ca dispecer în utilizarea energiei înmagazinate.

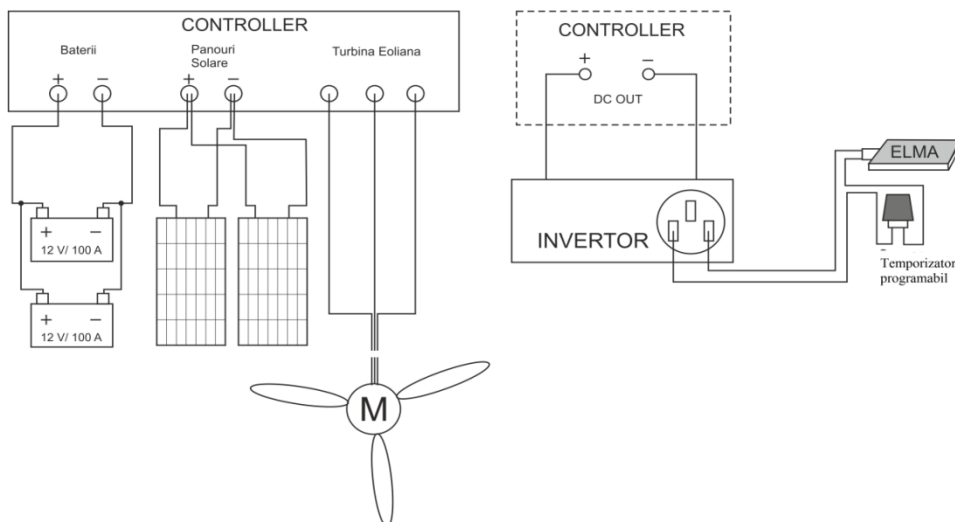


Fig. 4.9 Schema de montaj a sistemului autonom de iluminat cu LED-uri

Conectarea corectă a componentelor reprezintă un element important în realizarea sistemului autonom. S-a pornit de la ideea de folosire a unor acumulatori de 12 V. Deoarece capacitatea unui singur acumulator nu permitea funcționarea îndelungată a sarcinii fără a descărca acumulatorul mai mult de 30%, s-a decis montarea în paralel a unui acumulator adițional. Alegerea panourilor fotovoltaice a fost făcută în funcție de randament și de ieșirile de tensiune ale acestora. Astfel s-au ales panouri monocristaline cu ieșire 12 V pentru a reduce pierderile generate de un divizor de tensiune. Implementarea soluției de iluminat este prezentată în Figura 4.9. Aceasta ilustrează modul de conectare a elementelor componente.



Fig. 4.10 Montajul experimental

Principiul de funcționare este următorul: în timpul zilei, iradianța solară ce intră în contact cu panoul fotovoltaic (PF) duce la generarea de energie electrică la bornele de ieșire

ale PF. În paralel este produsă energie electrică și de generatorul cu magneți permanenți antrenat de elicea pusă în mișcare de masele de aer. Regulatorul monitorizează în permanență valoarea tensiunii și curentului pe intrări (generator eolian, panouri fotovoltaice și bornele acumulatorului) și realizează optimizarea încărcării acumulatorilor.

Regimul de cuplare a sarcinii este impus de temporizatorul programabil ce comandă și realizează punerea în funcțiunea a corpului de iluminat cu LED-uri prin anclanșarea unui releu.

4.3 Rezultate

Tabelul de măsurări conține orientarea panoului fotovoltaic față de punctele cardinale și față de orizontală, starea vremii la momentul efectuării măsurărilor, tensiunea și curentul instantaneu de ieșire a panourilor fotovoltaice, tensiunea și curentul instantaneu de ieșire a generatorului eolian, mărimea sarcinii electrice stocate în acumulatori, energia încărcată în acumulatori, puterea instantanee, sarcina electrică absorbită din acumulator. Datele măsurate au fost colectate de 3 ori pe zi.

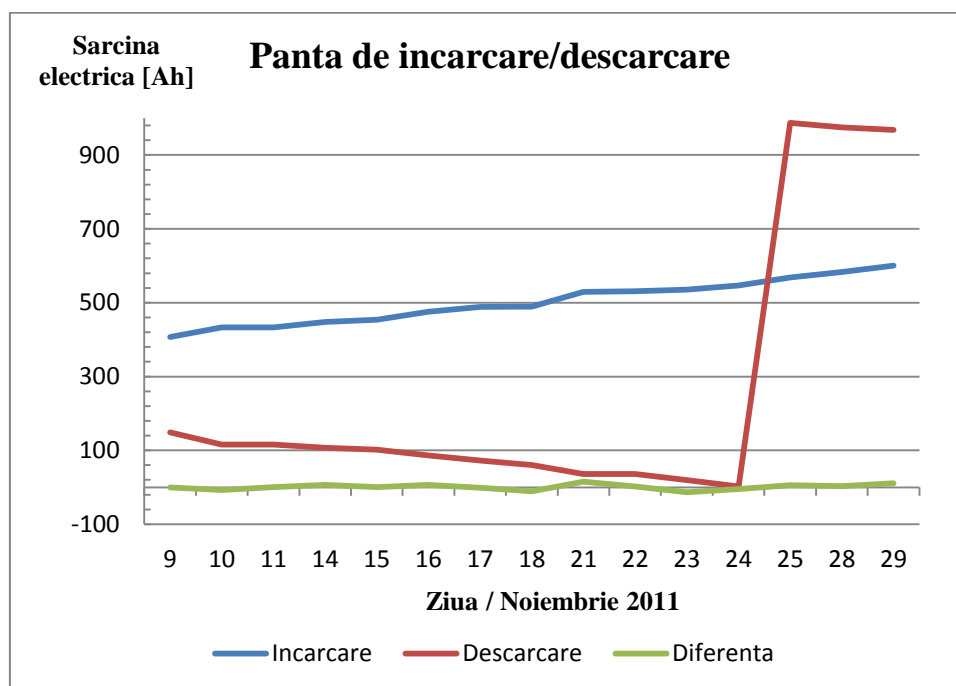


Fig. 4.11 Grafice de încărcare/ descărcare și diferența dintre acestea

Graficele de încărcare/ descărcare și diferența între ele sunt prezentate în Figura 4.11. Bilanțul total obținut este unul pozitiv, de + 39,2 Ah. Însă, dacă scădem echivalentul unei descărcări medii a capacității acumulatorilor de 2 x 15 Ah/ noapte, pentru cele 2 nopți în care lampa nu a funcționat, ajungem la un surplus de numai 10 Ah.

CAPITOLUL 5

MANAGEMENT TERMIC, METODE ȘI MIJLOACE DE MĂSURARE A CĂLDURII DISIPATE DE UN LED DE PUTERE

Teza de doctorat abordează un model comprehensiv al unei diode electroluminiscente (LED) în vederea determinării și descrierii proprietăților sale termice. Studiul prezintă concepte și idei necesare fundamentării modelului. Caracterizarea termică a unei matrici de LED-uri se face prin determinarea experimentală a căldurii disipate de joncțiune și simularea regimului termic de funcționare. Temperaturile joncțiunii și capsulei matricii sunt simulate 3D pe baza unui model de rețea rezistivă prin metoda elementelor finite. Studiul analizează sistemul pasiv de răcire. Stresul termic și transferul căldurii dinspre sursele calde către elementele disipative ale radiatorului sunt determinate pe baza procesului de conducție termică și a coeficienților de transfer termic al materialelor. Pe baza modelului termic se dimensionează un radiator ce satisface cerințele aplicației studiate (rezistența termică totală, intervalele dintre aripioarele de răcire, număr de aripioare, greutate, eficiența, puterea maxim disipabilă, etc.). Studiul precizează factorii de optimizare ai modelului termic și compară rezultatele simulării cu cele experimentale.

Conducția este procesul dominant de transport a căldurii disipate în joncțiunile LED-urilor către capsula matricii. Este nevoie de o rezistență termică cât mai scăzută între joncțiune și capsulă, dublată de o conductivitate ridicată a materialelor și tehnologii bune de transfer termic la suprafețele de separare între diferite materiale.

Convecția reprezintă procesul principal de evacuare a căldurii din radiator către mediul ambiant. O soluție economică impune folosirea convecției naturale. O matrice de LED-uri de putere complică soluția termică. O matrice compactă poate avea mai mult de 30 LED-uri de putere, dispuse pe o suprafață mai mică de 16cm^2 , în condițiile în care temperatura joncțiunii trebuie limitată la 145°C [46].

Metoda elementelor finite folosită într-o simulare 3D, precum și modelul termic al unei rețele de rezistențe sunt folosite pentru a descrie transportul căldurii într-un ansamblu de matrici de LED-uri de putere.

Au fost realizate măsurări experimentale ale temperaturii pentru validarea modelului teoretic. Măsurarea temperaturii folosește atât metode experimentale intrusive, bazate pe termocuplu, cât și metoda neintrusivă de imagistică termică.

5.1 Descrierea modelului

Modelul studiat este compus din două structuri importante: radiatorul și matricea de LED-uri. Ambele structuri vor fi discutate separat în secțiunea de mai jos:

5.1.1 Radiatorul

Modelul radiatorului pe care s-au efectuat testele este o placă de aluminiu de dimensiunile 0.18m x 0.16 m având pe partea opusă montării matricii de LED-uri un număr de 5 aripioare echidistante. Fiecare aripioară are o înălțime de 5 cm și o grosime de 1mm. Puritatea materialului utilizat în extrudare trebuie să fie mai mare de 95%. Distanța dintre aripioare este de aproximativ 2.9 cm.

Figura 5.1 prezintă forma fizică a lămpii testate. Matricea de LED-uri de putere este centrată pe placa de aluminiu.

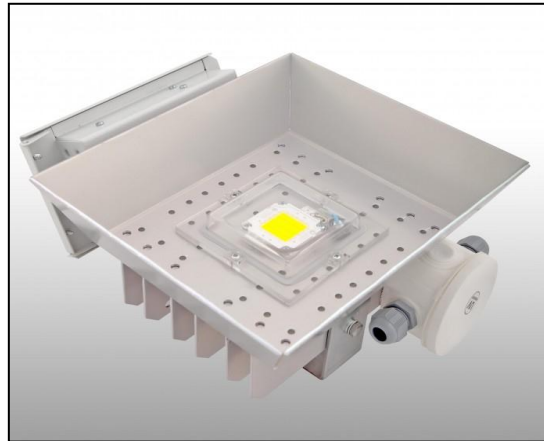


Fig. 5.1 Lampa cu LED-uri Cetus 1M – modelul testat

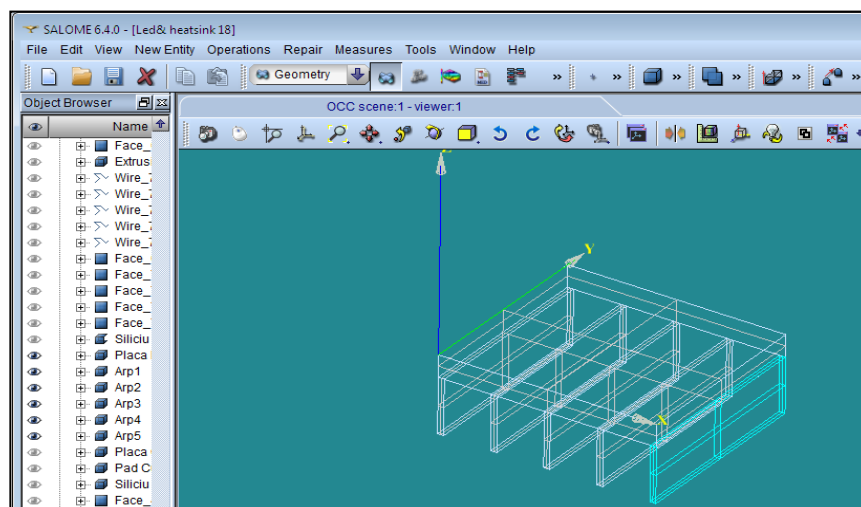


Fig. 5.2 Modul de afișare ‚wireframe’ al radiatorului, în SALOME

5.1.2 Matricea de LED-uri

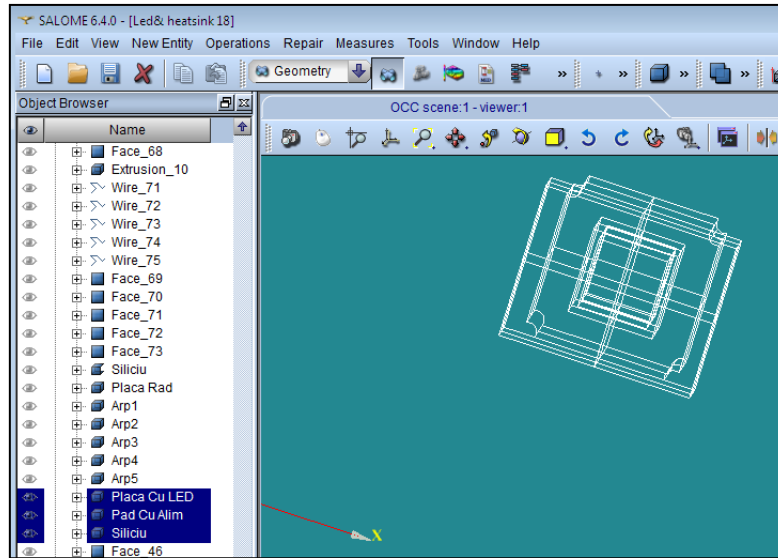


Fig. 5.4 Modul de afișare ,wireframe' al matricei de putere cu LED-uri, în Salome

Modul de simulare al structurii LED-ului a fost și el simplificat. LED-ul de putere a fost constituit din 4 corpuri distincte: radiatorul LED-urilor (talpa LED-urilor) ce a fost montat direct pe radiatorul din aluminiu extrudat, cablajul ce alimentează structura semiconductoră activă, dispozitivul semiconductor și o capsulă de plastic pentru izolare.

Pentru construirea modelului fizic a fost folosit programul Salome 6.4.0. Funcțiile folosite în cadrul simulării au fost:

- Crearea/ modificarea, import/ export (fișiere în formatul IGES, STEP), reparare/ ștergere a unor modele CAD – în modul de operare GEOMETRY;
- Funcția de mesh a unor elemente CAD, verificarea și schimbarea calității de meshuire, import/ export (pentru fișiere în format MED, UNV, ASCII) – în modul de operare MESH [48].

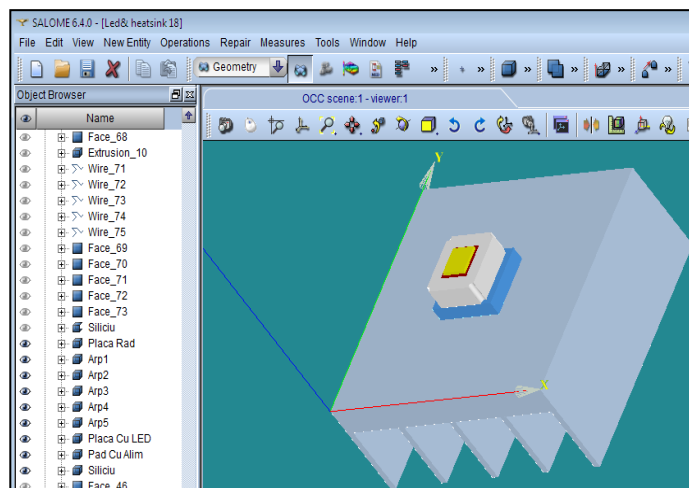


Fig. 5.5 Structura generală LED radiator.

Pentru descrierea și crearea modelului de simulare s-a folosit modulul de operare GEOMETRY. În meniul GEOMETRY am folosit elemente ca: ',vertex', 'edge', 'wire', 'shell', 'face', 'solid', 'extrusion' și altele. Varianta finală a structurii geometrice ce a fost utilizată în simulări poate fi observată în Figura 5.5.

5.2 Metoda elementelor finite aplicată unei structuri 3D

Metoda elementelor finite (MEF), sau analiza elementelor finite (AEF) se bazează pe construirea unui obiect complicat din blocuri simple sau împărțirea unui obiect complicat în părți simple ușor de controlat și simulat.

Etapile principale ce stau la baza implementării algoritmului MEF într-un proiect sunt: împărțirea structurii în subdiviziuni elementare (formate din elemente și noduri); descrierea comportamentului fiecărei subdiviziuni obținute, conectarea subdiviziunilor în jurul unor noduri prestabilite și aproximarea ecuațiilor defnitorii ale sistemului, rezolvarea sistemelor de ecuații știind numărul de noduri, calculul datelor necunoscute inițial pentru fiecare subdiviziune în parte.

Implementare soluției de rezolvare a structurii este împărțită în 3: preprocesarea (construirea modelului MEF, sarcini și constrângeri – parte ce a fost realizată folosind Salome GEOMETRY); rezolvarea prin AEF (asamblarea și rezolvarea sistemului de ecuații – parte realizată de către SALOME MESH) și postprocesarea (sortarea și afișarea rezultatelor – realizat cu ajutorul programului ELMER).

Regiunea investigată este acoperită de o rețea de discretizare formată dintr-un număr finit de elemente 3D generate de algoritm. Programul SALOME, în sesiunea de lucru Mesh, a fost folosit pentru divizarea și partiționarea caracteristicilor termice și mecanice ale structurii create.

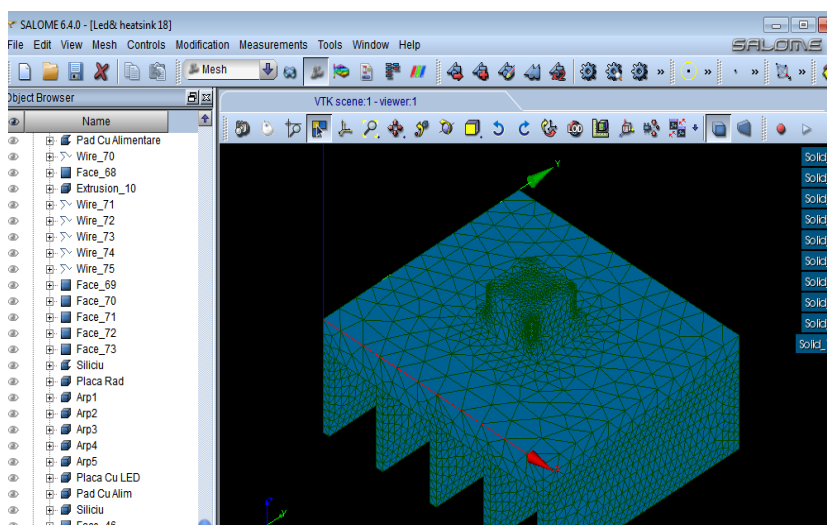


Fig. 5.7 Structura unui LED de putere

Modelul utilizat reprezintă o matrice compactă de LED-uri de putere montate pe același MCPCB (plăcuță din aluminiu). Ansamblul de LED-uri este acoperit cu o peliculă de silicon ce face ca unghiul optic al matricii să fie mai larg. Figura 5.7 ilustrează structura de „sandwich” a unui LED.

5.3 Modelul staționar al transferului de căldură – ecuații, setarea condițiilor de frontieră și implementare ecuațiilor NAVIER-STOKES în software

Conducția într-un solid metalic este datorată deplasării electronilor în structura metalică. Electronul ce se află în partea mai caldă a solidului, de obicei lângă o sursă de căldură, are o energie cinetică mai ridicată decât un electron aflat în partea rece a solidului. Un corp ce este un bun conductor termic este de asemenea bun conductor electric.

În domeniul de aplicare ingineresc, ecuațiile Fourier sunt suficiente pentru descrierea procesului complicat de conducție.

$$\Delta Q = -\lambda A \frac{\Delta u}{\Delta x} \Delta t \quad (5.1)$$

unde λ reprezintă conductivitatea termică [W / (m*K)], A este suprafața în secțiune a barei de transfer [m²], Δu reprezintă variația temperaturii [K], Δx este lungimea totală a barei considerate [m], Δt timpul total în care a fost studiat fenomenul de transfer termic [s].

Un model simplificat de a scrie legea lui Fourier este următorul:

$$q = -\lambda \nabla T \quad (5.4)$$

Ecuația de difuzie termică în trei dimensiuni devine:

$$\nabla \lambda \nabla T + q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (5.5)$$

Convecția poate fi exprimată ca transferul de căldură dintre un solid și un fluid aflat în mișcare. În realitate reprezintă o combinație între difuzie și mișcarea liberă a moleculelor.

Convecția naturală a fost studiată în simulare datorită faptului că atât radiatorul cât și matricea de LED-uri de putere au fost montate în interiorul unei capsule metalice închise (învelișul corpului de iluminat), deci o convecție forțată nu poate să apară.

Ecuațiile diferențiale parțial nonlineare ce definesc convecția sunt cele ce descriu viteza, nu poziția. Rezultatul va fi furnizat sub forma unui câmp de viteze. Ecuațiile devin nelineare la rezolvarea în 2D și 3D a problemei din cauza derivatei vitezei (acelerația) în fenomenul de conducție. O altă ipoteză făcută: fluidul este continuu și nu se mișcă cu o viteză relativistă.

Ecuția generală Navier Stokes este de forma: $\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t} + u\nabla u\right) = -\nabla P + \nabla T + f = 0$ (5.13)

având în ecuație T ca fiind tensorul de stres iar f ca fiind forța exercitată de mișcarea fluidului [52].

Condițiile la frontieră aplicate în timpul simulării au fost: temperatura ambiantă 20°C (sau 293.15 K), toate frontierele structurii sunt guvernate de ecuația de căldură, sursa de căldură a fost aleasă ca fiind blocul de GaN cu siliciu având o putere de 30W pe un volum de (0.021 x 0.021 x 0.003) m³ însemnând o putere medie distribuită de 2.267x10⁷ W/m³. Temperatura inițială a structurii a fost aleasă de 20°C. Toate rezultatele sunt prezentate după atingerea stării de echilibru [56], [57].

Rezultatele simulării în Elmer sunt arătate în Figurile 5.11, 5.12 și 5.13:

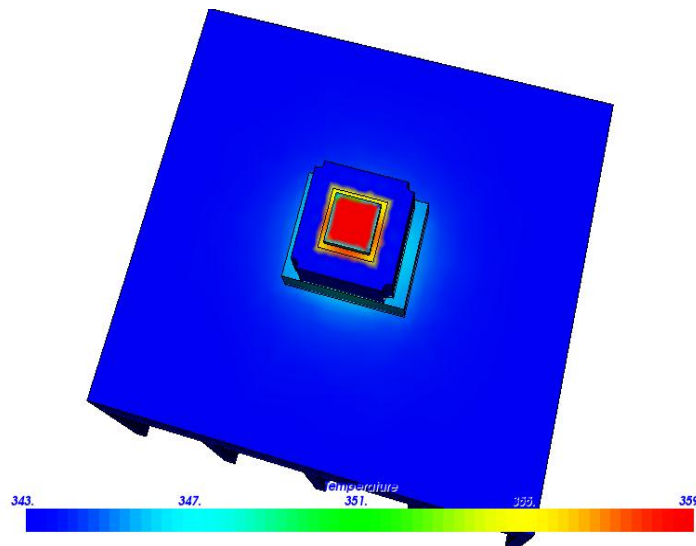


Fig. 5.11 Simulare în Elmer vedere din față

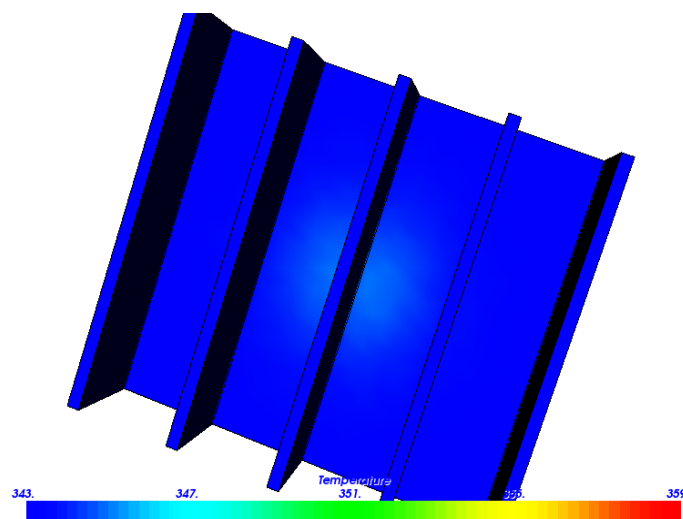


Fig. 5.12 Simulare în Elmer vedere din spate

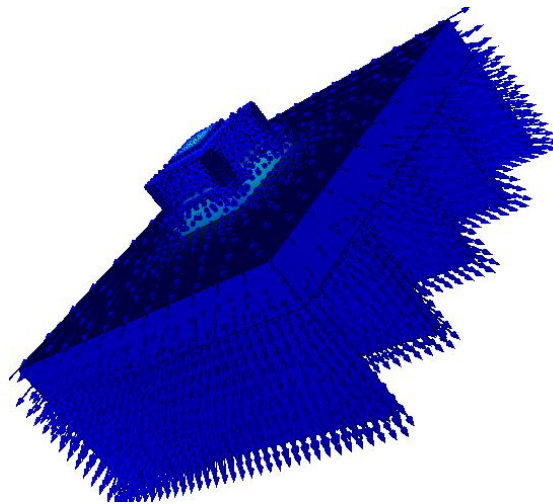


Fig. 5.13 Simulare în Elmer dispersia fluxului de căldură

Simulările obținute cu ajutorul programului Comsol Multiphysics sunt evidențiate în Figurile 5.14, 5.15 și 5.16:

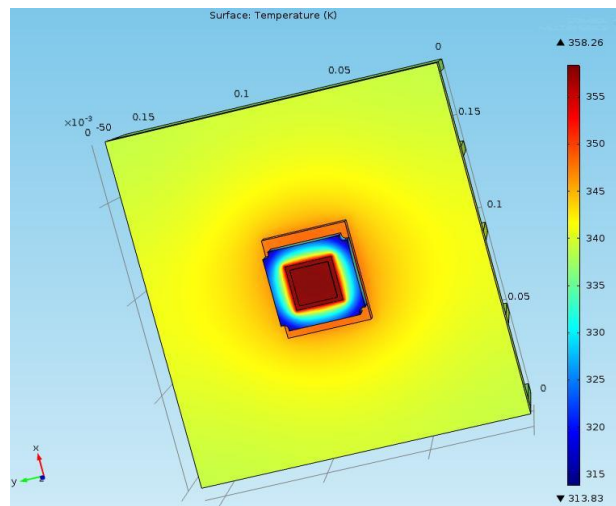


Fig. 5.14 Simulare în Comsol – vedere din față

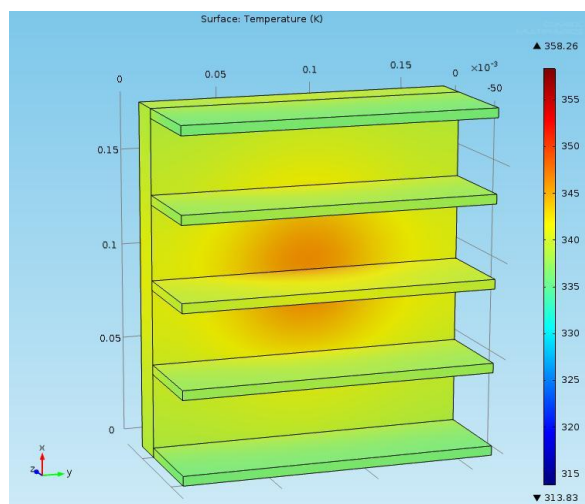


Fig. 5.15 Simulare în Comsol – vedere din spate

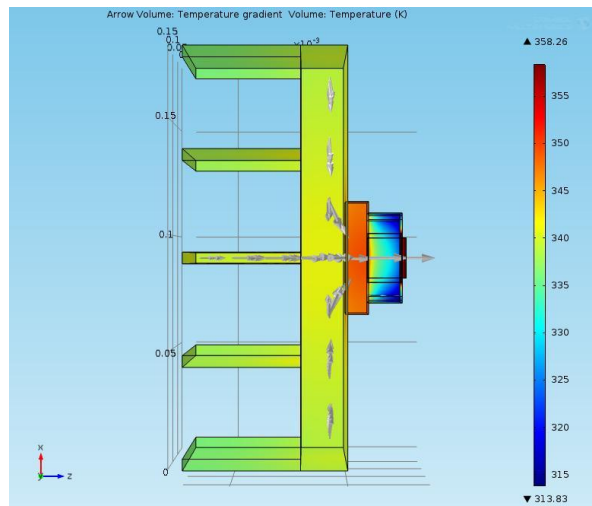


Fig. 5.16 Simulare în Comsol – disiparea fluxului de căldură

5.4 Modelul rezistenței termice

Principalele componente ale unei matrici de LED-uri sunt: LED-urile de putere, firele de alimentare din cupru, dielectricul, plăcuța de aluminiu pe care se montează straturile, interfața cu radiatorul și radiatorul propriu-zis.

Modelul termic al matricii de LED-uri este prezentat în Figura 5.17 și respectă ecuația:

$$T_J - T_A = P_D R_{thJA} \quad (5.14)$$

unde T_J reprezintă temperatura joncțiunii [K], T_A este temperatura ambiantă [K], P_D este puterea electrică disipată [W], R_{thJA} rezistența termică dintre joncțiune și mediul ambiant [$m^2 \cdot K/W$].

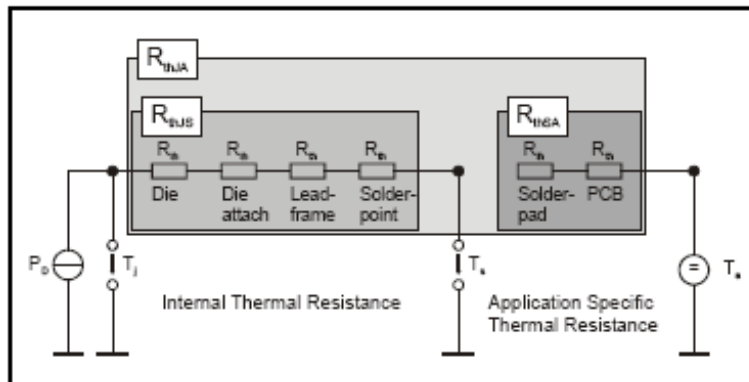


Fig. 5.17 Circuitul static echivalent

Temperatura pe joncțiune a unei matrici de 30 de LED-uri de putere ce disipă pe un radiator este:

$$T_J = T_A + P_D \left(\frac{R_{thJS}}{30} + R_{thS-h} + R_{thh-A} \right) \quad (5.18)$$

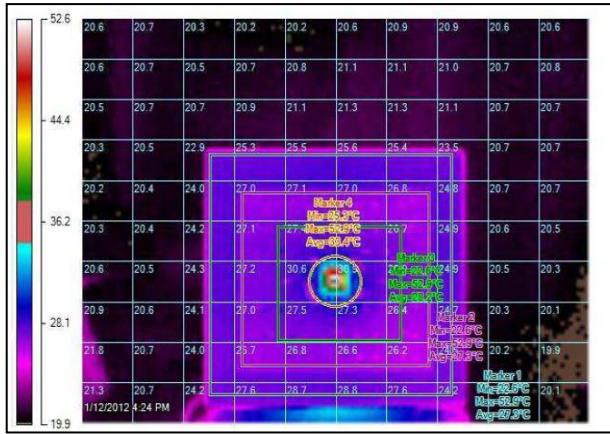


Fig. 5.22 Imagine capturată în infraroșu (cu Fluke TI20) – fără difuzor

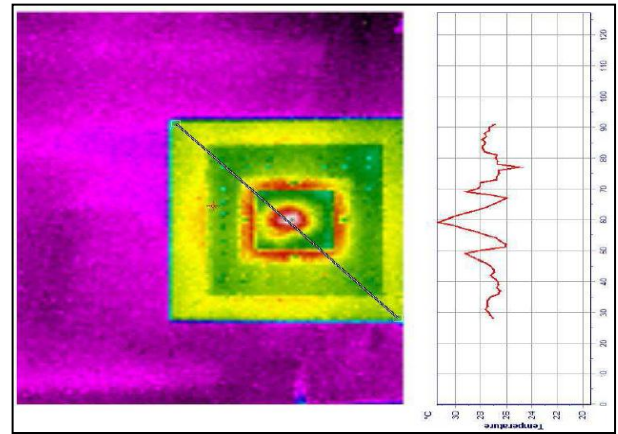


Fig. 5.23 Variația temperaturii în funcție de distanța față de sursa de căldură

Din Figurile 5.22 și 5.23 deducem că difuzorul are o rezistență termică foarte mare, deoarece menține temperatura în interiorul incintei și împiedică dezvoltarea procesului de convecție. În urma măsurărilor efectuate cu camera de termoviziune în infraroșu s-a constatat o temperatură maximă, deasupra sursei de căldură, de aproximativ 31.4°C , cu difuzorul montat, și de 52.9°C fără acesta. Se poate observa clar conturul termic lăsat de difuzor, în Figura 5.21.

5.6 Interpretarea rezultatelor, comparații între modelul experimental și rezultatele simulărilor

În rezultatele simulărilor obținute cu ajutorul programului Elmer, valoarea maximă a temperaturii înregistrate pe joncțiunea LED-urilor a fost de 359 K (86°C). Temperatura minimă a fost de circa 340 K (67°C) înregistrată pe aripioarele laterale ale radiatorului, unde procesul de convecție are rol principal. Din această simulare reiese că dimensionarea radiatorului a fost bine aleasă, temperatura joncțiunii nu a atins temperatura maximă admisă de producător, de 400 K (127°C) chiar și în cazul în care LED-urile au fost forțate la supratensiune. Valoarea maximă a temperaturii din simularea făcută cu Elmer se apropie de valoarea maximă obținută cu ajutorul simulării în Comsol. Diferențele medii între modelele simulate și cele experimentale sunt de aproximativ 10% (în cazul studiului experimental temperaturile sunt puțin mai scăzute). Acest lucru este explicabil deoarece, în cazul modelului experimental, s-a folosit pasta termoconductivă aplicată între padul LED-ului și suprafața radiatorului. Simularea efectuată în Comsol este mai precisă, dar nu datorită definirii modelului matematic, ci prezenței mai multor opțiuni și plugin-uri ce pot fi actualizate de la producătorul softwareului. Acest model a fost validat de modelul experimental și poate sta la baza următoarelor studii.

CAPITOLUL 6

STUDIUL RADIOMETRIC AL SURSEI EMITĂTOARE

Modelul radianței studiate permite sursei multi-LED să livreze caracteristica de formă dorită pe planul țintă, podeaua. Modelul este conceput pentru a permite formarea caracteristicii dorite fără a fi necesară formarea fasciculului cu ajutorul altor dispozitive optice costisitoare. Prin eliminarea unui sistem de ghidaj optic de tip lentilă externă, sistemul de iluminare cu LED-uri evită pierderi optice.

Pentru definirea modelului radianței [68], [69], [70], s-au folosit următoarele mărimi radiometrice:

a) Intensitatea radiației, $I_r(x, y, z)$ este fluxul radiat Φ_r împărțit la unghiul solid

$$\text{elementar } d\Omega, I_r(x, y, z) = \frac{d\Phi_r(x, y, z)}{d\Omega}$$

b) Iradianța, $E_r(x, y, z)$, este fluxul luminos radiat pe o suprafață elementară receptoare

$$\text{definită de suprafața } dA, E_r(x, y, z) = \frac{d\Phi_r(x, y, z)}{dA}$$

c) Iradianța totală este:

$$E_r(x, y, z) = \sum_{k=1}^n \frac{z^2 I_{r,0}}{\left[(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2 + z^2 \right]^2} \quad (6.9)$$

Disponerea fizică a sistemului de LED-uri : un număr de 5 LED-uri de putere poziționate la același nivel $z=0.4$. LED-urile sunt dispuse în cerc, iar cel de-al 5-lea este localizat în centrul cercului descris.

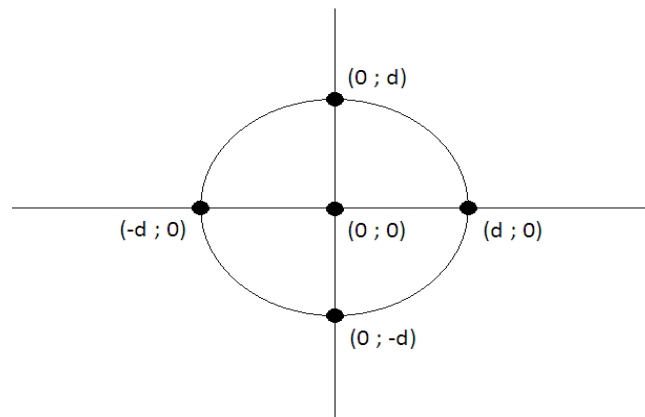


Fig. 6.6. Disponerea circulară a ansamblului format din 5 LED-uri

Un sistem de iluminat alternativ la prima variantă este prezentat în Figura 6.7, unde, un număr de 8 LED-uri sunt dispuse într-o rețea, având distanța între sursele emițătoare egală cu d .

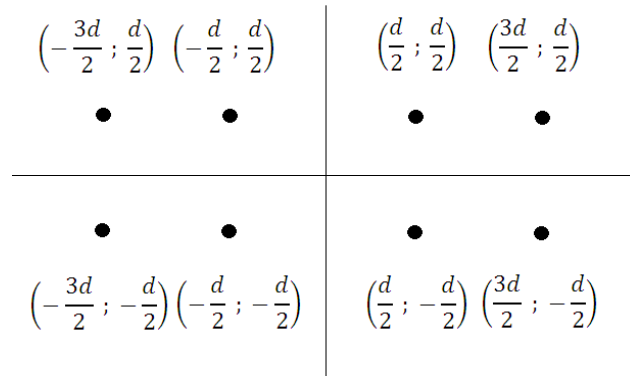


Fig. 6.7. Dispunerea în formă de rețea a 8 LED-uri

6.3 Rezultate

Rezultatele distribuției iradianței ansamblul de 5 LED-uri sunt prezentate în Figurile 6.8, 6.9 și 6.10 pentru trei valori ale distanței d și o valoare a intensității radianței de $I_{r,0} = 1000 \text{ W/sr}$.

Pentru $d=0.4\text{m}$, distribuția iradianței este mult mai omogenă, datorită unei suprapunerii accentuate a componentelor luminii emise. Pentru $d= 2.5\text{m}$, distribuția din Figura 6.9 ilustrează apariția unei creste a iradianței emise. Figura 6.10 arată că, pentru o distanță $d = 4\text{m}$, distribuția iradianței este sub forma a cinci turnuri, fiecare LED fiind responsabil de câte un turn.

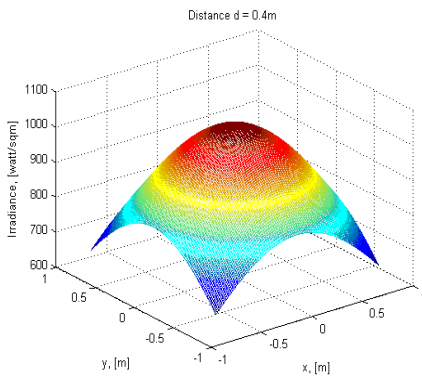


Fig. 6.8. Distribuția iradianței pentru o dispunere circulară cu $d=0.4\text{m}$

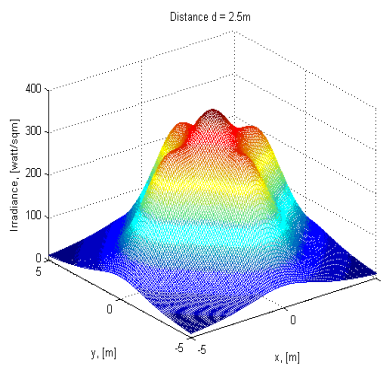


Fig. 6.9. Distribuția iradianței pentru o dispunere circulară cu $d = 2.5\text{m}$

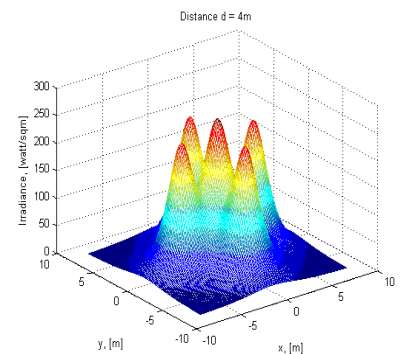


Fig. 6.10. Distribuția iradianței pentru o dispunere circulară cu $d=4\text{m}$

Figurile 6.11, 6.12 și 6.13 demonstrează distribuția iradianței produse de o rețea de 8 LED-uri. Distanțele între sursele emitente sunt notate cu d și au valorile $d = 0.4/ 2.5/ 4 \text{ m}$, la

o valoare individuală de iradianță a fiecărui LED de $I_{r,0} = 1000 \text{ W/sr}$. Distanța până la planul țintă de iluminat este $z = 2.15\text{m}$. Cu cât distanța d este mai mare, cu atât distribuția iradianței percepută de planul țintă este mai brută. Confortul vizual optim este dat de o valoare cât mai mică a distanței d din cadrul rețelei de LED-uri.

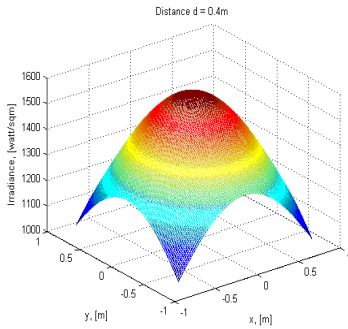


Fig. 6.11. Distribuția iradianței pentru o dispunere tip rețea cu $d=0.4\text{m}$

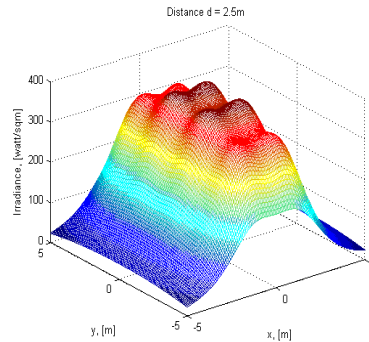


Fig. 6.12. Distribuția iradianței pentru o dispunere tip rețea cu $d=2.5\text{m}$

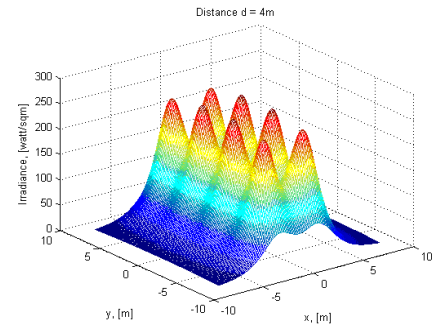


Fig. 6.13. Distribuția iradianței pentru o dispunere tip rețea cu $d=4\text{m}$

Figura 6.14 confirmă faptul că distribuția iradianței, pentru $d = 4\text{m}$, este non-Lambertiană. Sistemul de iluminat va face ca scenele de iluminat să succedă: zone foarte luminoase, zone crepusculare și zone întunecate.

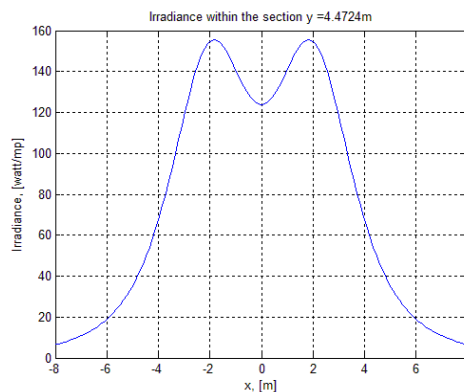


Fig. 6.14. Distribuția iradianței, model 2D, pentru o rețea de 8 LED-uri cu $d = 4\text{m}$

6.4 Sumarizare - concluzii

Distribuția uniformității în interiorul modelului definit de sursă pe planul țintă depinde foarte mult de localizarea LED-urilor în interiorul sursei (distanța dintre LED-uri) și de definirea fotometrică a sursei. Fiecare LED din ansamblu livrează o parte a fasciculului din modelul iradianței totale. Iradianța fiecărei surse punctiforme este amestecată cu iradianțele celorlalte surse pentru a defini iradianța totală la nivelul podelei. [71].

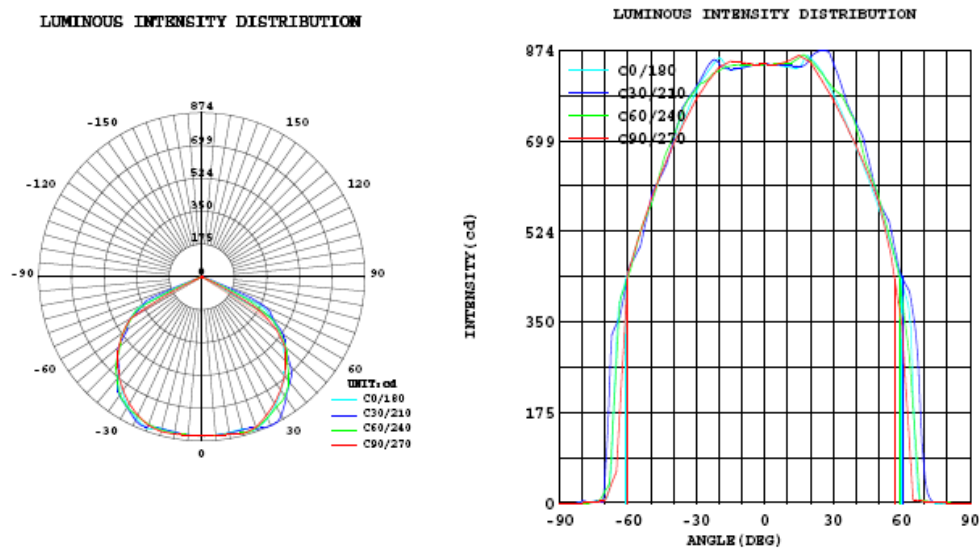
CAPITOLUL 7

MĂSURĂRI ȘI SIMULĂRI FOTOMETRICE

Acest capitol a fost realizat în scopul validării studiului radiometric în domeniul surselor emițătoare, pe un spectru de frecvențe sensibil ochiului uman, în domeniul vizibil.

7.5 Interpretarea rezultatelor obținute în laboratorul fotometric

În urma efectuării măsurărilor experimentale pe modulul LED de putere prezentat mai sus, fără montarea lentilei divergente, s-a obținut distribuția intensității luminoase - conform Figura 7.20. Se observă obținerea unei intensități maxime de 874 cd. Fluxul luminos obținut a fost de 2376.4 lm, cu aproximativ 200 lm mai puțin decât fluxul declarat de producători. Eficiența luminoasă a corpului de iluminat testat, conținând sursa de alimentare, a fost de 67 lm/W. Pe tot parcursul testului, temperatura ambiantă în interiorul laboratorului a fost de 25.3⁰C, umiditatea medie fiind de 65%. Distanța dintre detectorul goniofotometric și corpul de iluminat cu semiconductori a fost de 8.7 m.



Test: U: 229.5V I: 0.167A P: 36.90W PF: 0.965

Fig. 7.20 Distribuția intensității luminoase pentru matricea LED SMLight 30W

Valoare iluminanței în raport cu distanța până la suprafața de iluminat reiese din Figura 7.21. Măsurările s-au făcut pentru un unghi de vedere de aproximativ 70⁰.

Se poate afirma că distribuția luminoasă a LED-ului este de tip Lambertiană. Această concluzie este trasă în urma studiului Figurii 7.22.

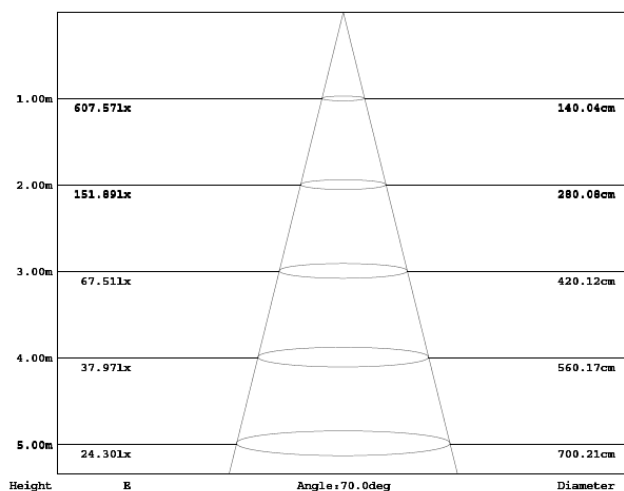


Fig. 7.21 Iluminanța în funcție de distanța față de sursa emițătoare

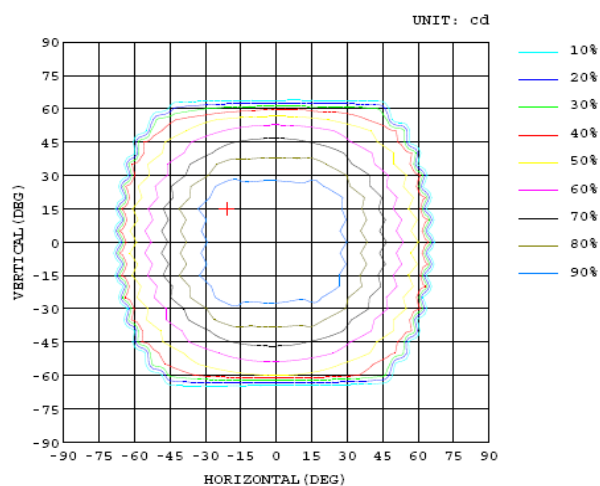


Fig. 7.22 Distribuția Lambertiană a LED-ului aflat în test

7.6 Simularea în DIALux

DIALux este un program gratuit folosit în proiectarea scenelor de iluminat. Programul dispune de o bază de date cu fișiere plug-in oferite de producători (sau măsurate în laboratorul fotometric). Simulările se pot efectua pe o infrastructură grafică deja dezvoltată prin simpla importare a fișierelor .dwg sau .dxf provenite de la medii grafice avansate ca Autocad 3D, Catia sau Solid Works [82].

Această simulare este efectuată folosind fișierul IES al LED-ului de 30W anterior prezentat. Nu a fost folosită lentila divergentă, utilizându-se doar distribuția Lambertiană. Simularea descrie iluminarea unei camere de birouri cu 6 posturi de lucru. Nivelul minim al iluminanței, cerut de standarde (CIE 140/ EN 13201) în cazul birourilor de lucru este de 100 lx la o înălțime de 0.8 m de podea. Dimensiunile camerei de birouri sunt 6.5 x 4.5 m cu o înălțime de 2.8m. Coeficientul de reflexie al tavanului este de 90%, al peretilor de 50% iar al podelei de 20%. Coeficientul depinde de gradul de curățenie al încăperii, de materialele folosite și de culorile pereților, podelei și al mobilierului. După adăugarea elementelor în interiorul încăperii și încărcarea plug-inurilor lămpii cu LED (numită Cetus 1M), programul DIALux calculează automat numărul total de corpuri de iluminat necesar iluminării conform cerințelor prestabilite. Poziționarea montării lămpilor este lăsată la latitudinea utilizatorului, însă programul indică o poziționare optimă. În simulare lămpile au fost montate în linie, la o distanță egală, de 1.87m.

O vedere 3D a încăperii este prezentată în Figura 7.24. Se poate vede că încăperea dispune de iluminat natural în timpul zilei, prin intermediul unei ferestre exterioare. Simularea a fost făcută ținând cont de cele mai grele condiții, fereastra neaducându-și aportul la iluminatul interior pe timpul nopții.



Fig. 7.24 Vizualizare 3D la Figura 7.23

După realizarea calculelor de către program, se poate vedea nivelul iluminanței obținut în fiecare punct al camerei. Rezultatele obținute sunt exprimate sub forma unei diagrame colorate. Codul culorilor din simulare este explicat astfel: alb intens – intensitatea foarte ridicată a iluminanței, roșu – intensitate ridicată, portocaliu – intensitate medie, albastru – intensitate scăzută, Figura 7.27. Calculul intensității luminoase în orice punct se poate face prin mutarea cursorului pe imagine.

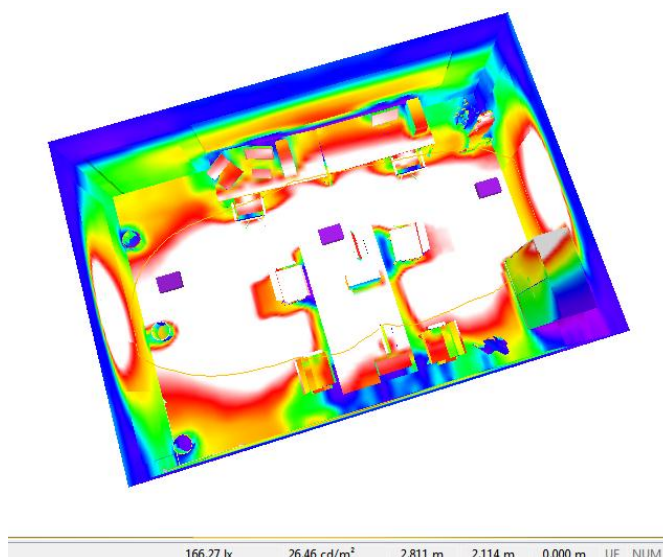


Fig. 7.27 Nivelul de iluminanță – harta cod culoare

CAPITOLUL CONCLUZII

C.1 Concluzii generale

Realizarea unui corp de iluminat cu LED-uri de putere având un cost de producție comparabil cu cel al unui corp de iluminat tradițional, la același nivel al iluminanței a reprezentat unul dintre obiectivele tezei.

Modelarea și proiectarea unei surse liniare de curent pentru comanda și controlul matricii de LED-uri de putere urmărește respectarea standardelor electrice, de mediu și de compatibilitate electromagnetică în vigoare. Cerințele de calitate a energiei furnizate sursei optice – prin respectarea valorii maxime a ripplului de curent, a impus un număr important de simulări în scopul unei bune dimensionări a componentelor sursei. A fost ales cel mai convenabil compromis al grupului balast inductiv – condensator de filtrație electrolitic în funcție de ripplul de ieșire și de costul aferent.

În scopul eficientizării managementului termic al ansamblului de răcire al sursei optice, format din matricea LED-uri de putere și radiator, este calculată cu precizie temperatura virtuală a joncțiunii pentru fiecare LED. Rezistența termică a întregii structuri este calculată folosind metoda rețelei de rezistori și o analiză analitică prin MEF. Sunt prezentate principalele mecanisme de transfer de căldură, sunt precizate condițiile inițiale (problema Cauchy) și condițiile de frontieră (problema Dirichlet) ale ecuațiilor diferențiale ce descriu comportarea termică a ansamblului de răcire. Au fost efectuate un număr de trei comparații: simularea în Elmer, simularea în Comsol și analiza modelului experimental.

Modelul de iradianță, ce consideră diferite dispuneri geometrice ale surselor optice individuale (LED-uri), determină distribuția spațială a iradianței fasciculelor individuale de tip lambertian pe o suprafață receptoare. Poziționarea relativă a LED-urilor în interiorul sursei optice determină tipul distribuției luminoase pe planul țintă. Fiecare LED din ansamblu contribuie la iradianța totală, pentru a produce o distribuție cu un profil dorit.

C.2 Contribuții originale

- o paradigmă a sistemului de iluminat cu LED-uri;
- un concept nou de sursă electronică liniară de alimentare ce utilizează balastul inductiv;
- dimensionare elementelor de bază ale sursei (balastul inductiv respectiv condensatorul electrolitic de filtrație) pe criteriul independenței impedanței de ieșire în raport cu frecvența, mărimea impedanței de sarcină și minimizarea ripplului de curent;

- simularea funcționării sursei liniare de curent în mediile PSIM și MATLAB;
- realizarea modelului experimental al sursei de curent;
- realizarea unei baze de date prin măsurarea parametrilor electrici ai sistemului autonom în două configurații, în condițiile cele mai defavorabile de funcționare;
- model 3D al radiatorului de răcire al matricii de LED-uri de putere, în mediu SALOME;
- model staționar al regimului termic al sistemului de iluminat;
- simularea transferului de căldură dinspre sistem către mediu în ELMER și COMSOL Multiphysics;
- modelul matematic al rezistenței termice echivalente a sistemului;
- măsurarea comportamentului termic al ansamblului sursă-radiator;
- studiu radiometric al sursei optice cu LED-uri pentru determinarea distribuției funcției de iradianță;
- simularea distribuției iradianței în mediul MATLAB;
- metodă de măsurare a fluxului luminos (strălucire) și sistemul de achiziții de date folosit în cadrul laboratorului fotometric;
- simularea distribuției luminii în mediul DIALux;
- metode de îmbunătățire a caracteristicilor electrice, termice și fotometrice.

REFERINȚE - SELECȚIE

- [4] *Horia Dumitru Oprea*, „Istoria mijloacelor de iluminare”, <http://istoriiregasite.wordpress.com/2010/05/16/inventii-in-istorie-iluminatul>, 2010
- [5] C. Michael Bourget, “An Introduction to Light-emitting Diodes”, HORT SCIENCE VOL. 43(7), December 2008.
- [17] ISO/ IEC Guide 2: 2004, „Standardization and related activities – General vocabulary”, www.asro.ro
- [25] Dragomir Radu Bogdan, Dragomir Radu, „New Design of a Low Cost Analogue Current Supply for Power LEDs”, Communications in Control Science and Engineering, April 2013
- [31] Baso, Christophe; “Switch-Mode Power Supplies: SPICE Simulation and practical design”, McGraw-Hill, ISBN 0-07-150858-9, 2008.
- [33] NIC Components Corporation - Technical Support, “Ripple Voltage & ESR”, www.NICcomp.com
- [46] CREE, “Cree XLamp LED thermal management”, page 4/6 www.cree.com/xlamp
- [48] Salome Platform 6.4.0: ‘The open source integration platform for numerical simulation’
- [56] OSRAM, “Thermal management of SMT LED – Application note”, www.osram-os.com
- [57] HoSung Lee: ‘Thermal design: heat sink, thermoelectrics, heat pipes, compact heat exchangers and solar cells’, Wiley 2011
- [68] <http://www.spms.pub.ro/fisiere/spms/curs/cap02.pdf>
- [69] J. Peatross, M. Ware, Physics of Light and Optics, Brigham Young University, 2011.
- [70] Coroiu Ilioaara, Studiul intensitatii luminoase si al campului luminous ale unei surse de lumina – Lucrare de laborator, Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca.
- [82] “Software.DIALux. By planners for planners”, <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux.html>