

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS
JŪRŲ TECHNIKOS FAKULTETAS
ELEKTROTECHNIKOS KATEDRA

TVIRTINU _____

Katedros vedėja: prof. dr. Eleonora Guseinoviėnė
2013

ELEKTROS INŽINERIJOS MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ PROGRAMOS „*LAIVŲ*
ELEKTROS ĮRANGA IR AUTOMATIKA“
(Studijų kodas 621H62003)
MAGISTRO TEZĖS

ŠVIĖSOS DIODŲ SPALVŲ SUMAIŠYMO BŪDŲ
TYRIMAS

Recenzentas: _____

2013

Vadovas: doc. A. Brazaitis

2013

Recenzentas: _____

2013

Rengė: TMLE-11 gr. stud. A. Šipulia

2013

Klaipėda, 2013

BAKALAURO IR MAGISTRO BAIGIAMŲJŲ DARBŲ LYDRAŠČIO FORMA

Pildo bakalauro/magistro baigiamojo darbo autorius

Aleksandr Šipulia

(bakalauro/magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Šviesos diodų spalvų sumaišymo būdų tyrimas

(bakalauro/magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad bakalauro/magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis bakalauro/magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

Aleksandr Šipulia

(bakalauro/ magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Sutinku, kad bakalauro/magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

Aleksandr Šipulia

(bakalauro/ magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Pildo bakalauro/magistro baigiamojo darbo vadovas

Bakalauro/magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

2013 05 27

(data)

doc. dr. Algirdas Brazaitis

(bakalauro/magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje

(data)

Sigita Kasparavičienė

(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, vedėjas

Bakalauro/magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

2013 05 27

(data)

prof. dr. Eleonora Guseinovienė

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Recenzentu(-ais) skiriuprof. dr. Eleonora Guseinovienė.....

..... doc. dr. Jonas Vaupšas.....

(įrašyti recenzento(ų) vardą, pavardę)

2013 05 27

(data)

prof. dr. Eleonora Guseinovienė

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETO
JŪRŲ TECHNIKOS FAKULTETO
ELEKTROTECHNIKOS KATEDRA**

TVIRTINU.....

2013-...-...

Katedros vedėja

Prof.dr. Eleonora Guseinoviėnė

MAGISTRO TEZIŲ UŖDUOTIS

Magistrantui

Tezių tema:

Patvirtinta: KU Rektoriaus 2005-05 -23 įsakymu Nr. 1-194

Atidavimo terminas: 2013-....-....

Duomenys:.....
.....

Turinys:

1. Darbo tikslas

.....
.....

2. Tyrimo metodas:

3. Uždaviniai:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

4. Išvados

5. Literatūra

6. Priedai

Užduoties gavimo data: 2013-....-....

Vadovas:.....

(vardas, pavardė, parašas)

Užduotį gavau: magistrantas

(vardas, pavardė, parašas)

SANTRAUKA

Autorius: Aleksandr Šipulia

Darbo tema: Šviesos diodų spalvų sumaišymo būdų tyrimas.

Šiame magistriniame darbe atliekamas šviesos diodų spalvų sumaišymo būdų tyrimas. Po to kai buvo atlikta mokslinių straipsnių ir literatūros šaltinių analizė, buvo atliktas eksperimentas. Eksperimento tikslas buvo šviesos diodų koncentruotos spinduliuotės sumažinimas. Sukurus šviesos šaltinį, buvo analizuota jo kokybė. Padarius išvadas buvo pasiūlytas tobulesnis būdas pašalinti tokį neigiamą efektą kaip šviesos diodo koncentruots spinduliavimas.

Raktažodžiai: šviesos diodas, spinduliavimas, šviesos šaltinis.

SUMMARY

Author: Aleksandr Shipulia

Theme: Investigation of mixturing possibilities of LED colors.

In this masters degrees work an investigation of mixturing possibilities of LED colors was made. For that purpose was performed analysis of Lithuanian and foreign scientific articles and literature. An experiment was made after. The purpose of the experiment was to decrease the LED's concentrated light emission and to achieve a quality white light source. After the results were discussed, a more efficient version of decreasing the concentration LED's light emission was offered.

Key words: LED, light emission, white light.

TURINYS

| | |
|--|----|
| ANOTACIJA /SUMMARY | 4 |
| ĮVADAS | 6 |
| 1. LITERATŪROS APŽVALGA | 7 |
| 1.1. Šviesos kokybės parametrų analizavimas | 7 |
| 1.2. Šviesos diodo istorija..... | 9 |
| 1.3. Spalvos temperatūra..... | 14 |
| 1.4. Baltos spalvos sintezė panaudojant šviesos diodus..... | 17 |
| 1.4.1. RGB technologija..... | 17 |
| 1.4.2. Šviesos diodai su liuminoformais..... | 18 |
| 1.4.3. ZnSe-pagrindo šviesos diodas..... | 19 |
| 1.5. Baltos šviesos sintezės panaudojant šviesos diodus perspektyvos..... | 20 |
| 2. TYRIMO METODAI | 21 |
| 2.1. Eksperimento planas..... | 21 |
| 2.2. Eksperimento eiga..... | 21 |
| 3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS | 23 |
| 3.1. Gauto apšvietimo ir sintezuotos baltos spalvos kokybės įvertinimas..... | 24 |
| 3.2. Eksperimento tobulinimo planas | 25 |
| 4. IŠVADOS | 26 |
| LITERATŪROS SĄRAŠAS | 27 |
| PRIEDAI | 28 |

IVADAS

Susidomėjimas šviesos diodais auga kasmet. Bet tokių šviesos šaltinių panaudojimas buityje vis dar nėra dominuojantis. Bet jų tobulinimas ir pritaikymas buityje – vienas svarbiausių uždavinių šviesos diodų gamintojams.

Darbo aktualumas. Per pastaruosius keliolika metų, stipriai patobulinus šviesos diodų konstrukciją, šviesotechnines ir energetines savybes, atsiranda vis platesnės jų taikymo galimybės. Tačiau šviesos diodas yra ne tik gerokai naujesnis, bet ir sudėtingesnis apšvietimo įrenginys, nei dar užpraėjusiame šimtmetyje Tomo Edisono sukurta kaitrinė elektros lemputė. Tad ir pats šviestuvas (Šviesos diodų matrica), kaip šviesos šaltinį naudojantis šviesos diodus, yra technologiškai sunkiau pagaminamas prietaisas. Puslaidininkinių šviesos diodų šviestuvuose pats diodas tai tik viena iš daugelio sudėtinių šviestuvo dalių. Būtent pačių šviesos diodų adaptavimas naudojimui buičiai yra sritis, kurioje dar daug ką galima tobulinti. Bet šviestuvo spinduliuojama šviesa turi atitikti kokybės reikalavimus. Šis darbas aktualus tuo, kad stengimasi išspręst puslaidininkinių šviesos šaltinių naudojimo problemas.

Darbo tikslas. Kokybiškos baltos šviesos sintezė panaudojant šviesos diodus.

Valdymo objektas. Šviesos diodų matrica.

Uždaviniai:

- atlikti žinomų baltos šviesos gavimo būdų panaudojant šviesos diodus literatūros apžvalgą;
- atlikti eksperimentą, kai sukamuoju judesiu sintezuojama baltoji šviesa;
- išvadų užrašymas, rezultatų aptarimas.

1.LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 ŠVIESOS KOKYBĖS PARAMETRŲ ANALIZAVIMAS

Stebėtina tai, kad ko daugiau mes natūraliai stebime šviesą, to labiau šis reiškinys darosi paslaptingas ir nevienareikšmis mokslo atžvilgiu. Šviesos technika – rimta ir sunki disciplina, specifiška ir jos terminologija. Būtent šviesos ryškumas figuruoja pavojinguose ir sunkuose darbuose. Tačiau, apšviestų paviršių ryškumas priklauso kiek nuo apšvietimo, tiek ir nuo šviesos savybių, taipogi nuo kampo, kuriuo paviršius yra apšviečiamas. Visą tai įvertinti skaičiavimuose yra gana sunku, o, svarbiausia, dėl portatyvių šviesos ryškumą matuojančių prietaisų nebuvimo, todėl iš esmės normalizuojamas ne šviesos ryškumas, o apšvietimas.

Apšvietimas yra matuojamas liuksais [Lx]. Vienas liuksas lygus 1 m² paviršiui apšviestam šviesos srauto lygiam vienam liumenui [lm]. Nuo kokybiško apšvietimo priklauso mūsų nuotaika, savijauta, sveikata, produktyvumas, bei sunaudojami elektros energijos dirbtiniam apšvietimui kaštai. Dieninis regėjimas dirba esant minimaliam apšvietimui, kuris siekia nemažiau kaip 50 Lx. Naktinis regėjimas dirba prie apšvietimo mažesnio už 0,05 Lx. Tarp šių verčių yra sritis, kurioje vyksta peradaptacija – perėjimas nuo vieno regėjimo režimo iki kito, t.y. vyksta „saulėlydžio“ režimas. Suprantama, kad žmogaus akies darbingumas žymiai sumažėja. Ilgas darbas tokiuose sąlyguose susijęs su regėjimo organų padidėjusią apkrovą. Tai tampa akies ligų priežastimi, didėja klaidų skaičius, kas gali virsti technogenine katastrofa arba tapti traumatizmo priežastimi. Tai reiškia dirbti prie sąlygų, kai apšvietimas mažesnis už 50 Lx yra pavojinga.

Palapsniui didinant apšvietimo vertę, darbo sąlygos gerės, iš pradžių greitai, o po to lėčiau, ir iki tokios būsenos kai stebimi nuovargio rodikliai stabilizuosis ir, toliau didinant apšvietimo vertę, jau nebekyla. Tokį apšvietimą galima vadinti optimaliu. Atlikus daugelį tyrimų, paaiškėjo, kad optimalus apšvietimas darbui, esant įvairiai regėjimo organų apkrovai, siekia 50-5000 Lx. Pavyzdžiui, vidutinio tikslumo darbams užtenka 1500-2000 Lx apšvietimo. Tinkamai parinktas apšvietimas gali padidinti darbuotojo produktyvumą 5-20%. Tolimesnis apšvietimo vertės didinimas nebus efektyvesnis ir neatneš didesnio komforto, o esant perdėtai apšvietimo vertei gali pasireikšti toks reiškinys kaip aklumas, charakterizuojantis tuom, kad sumažėja žmogaus produktyvumas.

Taigi, dirbtinio apšvietimo vertės dydis vadovaujantis „DIRBTINĖS, NATŪRALIOS IR MIŠRIOS APŠVIETOS MAŽIAUSIOS RIBINĖS VERTĖS“(žr. **priedas 1**) normomis turi plačius

diapazonus. Iš to galime teigti, jog vertinant apšvietimo kokybę turime išnagrinėti ir kitus įtakuojančius parametrus.

Apšvietimo kokybę įvertinama šiais parametrais:

1. ryškumo paskirstymas erdvėje;
2. ryškumo paskirstymas pagal laiką;
3. ryškumo paskirstymas pagal spektrą.

Šviesos ryškumo paskirstymas erdvėje

1. Apšvietimo tolygumas

Apšvietimas būna bendras tolygus, bendras lokalus, vietinis ir kombinuotas. Įmonių darbuotojai dažnai pasisako už vietinį apšvietimą, kuris padeda jiems susikcentruoti. Psichologiškai tai suprantama, bet ryškumų skirtumas vienu metu yra darbuotojo produktyvumo sumažėjimo priežastis. Darbas esant tokiom sąlygom kenkia regėjimo organams, greičiau pasireiškia bendras organizmo nuovargis. Todėl yra vengiama sąlygų, kur nuolat vyksta regėjimo organų peradaptacija. Darbas esant tik vietiniam apšvietimui yra draudžiamas.

Bet, didinant bendrą patalpos apšvietimą, svarbu, kad sumoje darbo vietos apšvietimas nepakįstų. Jeigu bendras apšvietimas tenkina higieninius reikalavimus, tai toks apšvietimas turi privalumą iki to, kad atsisakoma nuo vietinio apšvitimo. Svarbu, kad esant patalpoje tik bendrajam apšvietimui darbo kolektyvas jaučia vieningumą, o vietinis apšvietimas kiekvieną darbuotoją psichologiškai izoliuoja vieną nuo kito. Tačiau, esant tik bendrajam apšvietimui sunku sudaryti aukšto lygio apšvietimą, todėl taikomas kombinuotas patalpos apšvietimas, kuris naudojamas, kai atliekami ypač tikslūs darbai.

Aktuali ir krentančių šėšėlių problema. Judantys šėšėliai trūkdo būti susikaupusiam. Apšvietimo kontrastas gali įvykti taip, kad ryškesnė šviesą švies periferijoje, kas taipogi kelia nepatogumą.

2. Blizgumas

Labai ryškių šviesų savybė apakinti vadinama šviesos blizgumu. Dirbant prie sąlygų, kai apšvietimo savybės turi blizginantį veiksma sukelia regėjimo organų ligą, nes apžiūrimo objekto identifikavimui akies raumenys ilgą laiką lieka įtemptos. Sumažinti blizgumo efektą padeda apšvietimo

lempų montavimas didesniame aukštyje, difuzorių panaudojimas, optimalaus apšvietimo kampo parinkimas ir kitais būdais.

Ryškumo paskirstymas pagal laiką

Apšvietimo kitimo priežastis skiriasi pagal kitimo greitį:

1. šviesos srauto sumažėjimas dėl senumo arba suteršėjimo;
2. paros šviesos srauto kitimas esant skirtingai elektros tinklų apkrovai – leidžiamas įtampos kritimas +/-5%, o tai 6-10 kartų daugiau už nematomą diapazoną.
3. Šviesos srauto mirgsėjimas dėl dažnų įtampos svyravimų – mirgsėjimo efektas labiausiai pasireiškia esant svyravimų dažniui 8,8 Hz ir įtampos svyravimui $\Delta U=29\%$. Šiame aspekte kaitinimo lemputė turi trūkumų. Praktikoje šis efektas kelia pavojų, nes trukdo teisingai suvokti ar mechanizmas juda, ar yra stacionarus ir gali būti travmotizmo prižastimi.

Ryškumo paskirstymas pagal spektrą

Šviesos spektro psichologinė ir fiziologinė įtaka žmogui susijusi su žmogaus pripratimu dirbti esant tam tikroms sąlygomis. Šie pripratimai vystėsi nuo pat žmonijos egzistavimo pradžios. Žmogus nuo senovės yra pripratęs dirbti prie šaltų natūralių dangaus atspalvių, o ilsėtis vakare prie šiltų saulėlydžio arba ugnies geltonai-raudonų atspalvių. Todėl įdiegiant šiuolaikinį dirbtinį apšvietimą stengimasi palaikyti darbingiausias žmogui sąlygas [1].

1.2 ŠVIESOS DIODO ISTORIJA

Šviesos diodas yra puslaidininkis prietaisas, tiesiogiai keičiantis elektros srovę į spinduliuojamą šviesą.

Beje, anglų kalboje šviesos diodas vadinamas „light emitting diode“, arba LED.

Šviesos diodo sandara yra tokia: ant pagrindo sumontuotas puslaidininkio kristalas, korpusas su kontaktiniais išvadais ir šviesos sistema. Šiuolaikiniai šviesos diodai labai skiriasi nuo pirmųjų korpusuose sumontuotų šviesos diodų, naudotų indikacijai.

Šviesos spinduliavimas vyksta dėl elektronų ir skylių rekombinacijos p-n perėjimo srityje. Taigi, visų pirma reikalingas p-n perėjimas, t.y., dviejų skirtingo laidumo tipo puslaidininkių kontaktas. Skirtingas laidumas užtikrinamas legiruojant greta kontakto esančias puslaidininkio kristalo sluoksnius skirtingomis priemaišomis: iš vienos pusės akceptorinėmis, iš kitos pusės – donorinėmis.

Tačiau ne kiekvienas p-n perėjimas spinduliuoja šviesą. Kodėl? Svarbiausia yra tai, kad šviesos diodo aktyvios sritys draudžiamos zonos plotis turi būti artimas matomos šviesos diapazono šviesos energijos kvantams. Be to, reikia užtikrinti didelę šviesos spinduliavimo tikimybę, kai vyksta elektronų – skylių porų rekombinacija; dėl to puslaidininkio kristale turi būti mažai defektų, slopinančių spinduliavimą rekombinacijos metu. Šios dvi sąlygos daugiau arba mažiau yra priešingos. Įmanoma įvykdyti abi sąlygas, tačiau vieno p-n perėjimo puslaidininkio kristale nepakanka, dėl to tenka gaminti daugiasluoksnes puslaidininkių struktūras, taip vadinamas heterostruktūras, už kurias Rusijos fizikui akademikui Žoresui Alferovui 2000 m. buvo skirta Nobelio premija.

Kuo didesnė srovė, tuo daugiau elektronų ir skylių patenka į rekombinacijos zoną per tam tikrą laiką. Tačiau negalima neribotai didinti srovės. Dėl puslaidininkio ir p-n perėjimo vidinės varžos šviesos diodas perkaistų ir sugestų.

Šviesos diode, skirtingai nei kaitrinėje ar liuminescencinėje lempoje, elektros srovė tiesiogiai pakeičiama į spinduliuojamą šviesą, ir teoriškai tokį pakeitimą įmanoma atlikti beveik be nuostolių. Išties, šviesos diodas (naudojant tinkamą aušinimo radiatorių) mažai įkaista, dėl to šviesos diodai ypač tinkami tam tikriems panaudojimams. Be to, šviesos diodas spinduliuoja siauro šviesos spektro pločio šviesą, spinduliuojama šviesa švari – tai ypač vertina dizaineriai, o ultravioletiniai ir infraraudonieji spinduliai, kaip taisyklė, nespinduliuojami. Šviesos diodas mechaniškai atsparus ir ypač patikimas – šviesos diodo eksploatavimo trukmė siekia 100 tūkstančių valandų, tai beveik 100 kartų ilgiau nei kaitrinės lempučių, ir 5 – 10 kartų ilgiau už liuminescencinės lempos eksploatavimo trukmę. Galiausiai, šviesos diodas yra žemos įtampos prietaisas, o tai reiškia, saugus.

Iš pradžių šviesos diodai buvo naudojami tik indikacijos prietaisuose. Norint pritaikyti šviesos diodus apšvietimui, visų pirma reikėjo išmokti gaminti baltą šviesą spinduliuojančius šviesos diodus, padidinti jų ryškumą arba – tiksliau apibūdinant – šviesos srautą, t.y., šviesos srauto ir naudojamos energijos santykį.

60-taisiais ir 70-taisiais metais buvo sukurti fosfido ir galio arsenido šviesos diodai, spinduliuojantys šviesą geltonai – žalioje, geltonoje ir raudonoje šviesos spektro srityse. Šie šviesos diodai buvo naudojami šviesos indikatoriuose, indikacijos paneliuose, automobilių ir lėktuvų prietaisų

skydeliuose, reklaminiuose ekranuose, įvairiose informacijos atvaizdavimo sistemose. Šviesos diodų šviesos srautas viršijo įprastinių kaitrinių lempų šviesos srautą. Tačiau buvo vienas trūkumas – nebuvo mėlyną, mėlsvai – žalią ir baltą šviesą spinduliuojančių šviesos diodų.

80-tųjų metų pabaigoje SSSR per metus buvo pagaminama daugiau kaip 100 milijonų šviesos diodų, o visame pasaulyje – kelios dešimtys milijardų šviesos diodų.

Tik nuo draudžiamos zonos, kurioje vyksta elektronų ir skylių rekombinacija, pločio, t.y., nuo puslaidininkio medžiagos ir legiruojančių priemaišų. Kuo „melsvesnė“ šviesos diodo šviesa, tuo didesnė kvantų energija ir tuo platesnė turi būti draudžiama zona.

Šviesos diodas – žemos įtampos prietaisas. Įprastinio indikacijai naudojamo šviesos diodo nuolatinė maitinimo įtampa nuo 2 iki 4 V, srovė iki 50 mA. Apšvietimui naudojamo šviesos diodo maitinimo įtampa yra tokia pati, tačiau srovė yra didesnė – projektinė elektros srovė nuo kelių šimtų mA iki 1 A. Šviesos diodų bloke atskirus šviesos diodus galima sujungti nuosekliai; tokiu atveju maitinimo įtampa didesnė (įprastiniu atveju 12 arba 24 V).

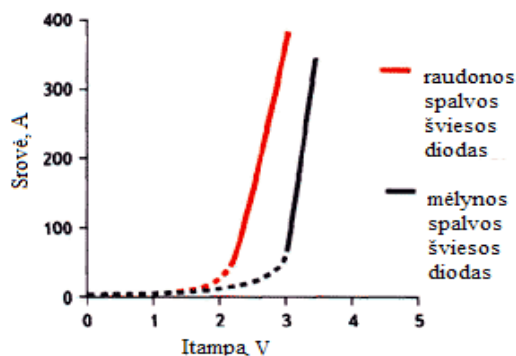
Šviesos diodą reikia prijungti tinkamu poliškumu, priešingu atveju prietaisas gali sugesti. Gamintojas nurodo šviesos diodo pramušimo įtampą, kuri įprastai yra didesnė kaip 5 V vienam šviesos diodui.

Šviesos diodo ryškumą apibūdina šviesos srautas ir ašinė šviesos galia, o taip pat kryptingumo diagrama. Dabartiniu metu gaminami šviesos diodai spinduliuoja šviesą erdviniu kampu nuo 4 iki 140°. Spalva, kaip įprasta, apibūdinama koordinatėmis spalvos diagramoje ir spalvos temperatūra. Šviesos diodų efektyvumo palyginimui tarpusavyje bei su kitais šviesos šaltiniais naudojama šviesos išeiga: šviesos srautas vienam elektrinio galingumo vatui. Įdomi marketingo charakteristika yra vieno liumeno kaina.

Kalbant apie šviesos diodo temperatūrą, reikia atskirti temperatūrą kristalo paviršiuje ir p-n perėjimo srityje. Nuo pirmosios temperatūros priklauso eksploataavimo trukmė, o nuo antrosios – šviesos išeiga. Kai p-n perėjimo temperatūra didėja, šviesos diodo ryškumas mažėja, nes dėl kristalo gardelės virpesių mažėja vidinė kvantinė išeiga. Būtent dėl šios priežasties labai svarbu naudoti gerą aušinimo radiatorių.

Ryškumo sumažėjimas didėjant temperatūrai yra nevienodas skirtingų spalvų šviesos diodams. AlGaInP ir AeGaAs šviesos diodų, t.y., raudonų ir geltonų, ryškumas sumažėja daugiau, o InGaN, t.y., žalių, mėlynų ir baltų šviesos diodų ryškumas sumažėja daugiau.

Kaip matyti žemiau pateiktoje iliustracijoje (pav. 1.1), darbinuose režimuose srovė eksponentiškai priklauso nuo įtampos, todėl net maži įtampos pokyčiai sukelia didelius srovės pokyčius. Šviesos išeiga yra tiesiogiai proporcinga srovei, dėl to kintant įtampai, šviesos diodo ryškumas yra nestabilus. Dėl šių priežasčių reikia stabilizuoti srovę. Be to, jeigu srovė viršija leistiną ribą, tai šviesos diodo perkaitimas pagreitina senėjimo procesą.



1.1 pav. Šviesos diodo tipinė įtampos – srovės charakteristika

Šviesos diodų ryškumą galima labai gerai reguliuoti, tačiau ne maitinimo įtampos sumažinimo būdu – būtent maitinimo įtampos sumažinimas yra neleistinas – o panaudojant impulsų pločio moduliaciją (IPM). Tam reikalingas specialus valdymo blokas (praktinio naudojimo atvejais tokį bloką galima sujungti su maitinimo bloku ir keitikliu, bei taip pat ir su RGB matricos spalvos valdikliu. IPM metodas pagrįstas tuo, kad šviesos diodui tiekiami ne pastovi, o moduluota impulsinė srovė, kai srovės impulsų dažnis yra šimtai arba tūkstančiai hercų; impulsų trukmę bei pauzės tarp impulsų trukmę galima keisti. Tokiu būdu galima keisti vidutinį šviesos diodo ryškumą, išvengiant šviesos diodo išsijungimo.

Šviesos diodo spalvos temperatūros nedidelis pokytis, pasireiškiantis sumažinant ryškumą, yra nepalyginamai mažesnis už kaitrinių lempų spalvos temperatūros poslinkį.

Vyrauja nuomonė, kad šviesos diodų eksploatavimo trukmė yra ypač ilga. Tačiau ši nuomonė ne visiškai teisinga. Kuo didesnė srovė prateka per šviesos diodą eksploatavimo metu, tuo aukštesnė yra šviesos diodo temperatūra ir greitesnis senėjimas. Dėl to galingų šviesos diodų eksploatavimo trukmė yra trumpesnė nei indikacijai naudojamų mažos galios šviesos diodų, ir dabartiniu metu yra 20 – 100 tūkstančių valandų. Pirmieji senėjimo požymiai yra sumažėjęs ryškumas. Jeigu ryškumas sumažėjo 30 % arba iki pusės pradinio ryškumo, tai šviesos diodą reikia pakeisti.

Pagrindinė kristalų auginimo technologija yra metalų - organinė epitaksija. Šiam technologiniam procesui yra reikalingos ypač švarios dujos. Šiuolaikiniuose įrenginiuose naudojami

automatiniai dujų sudėties valdymo įtaisai, atskiri dujų srautai, tikslus dujų ir pagrindo temperatūrų reguliavimas. Auginamų sluoksnių storiai matuojami ir valdomi diapazone nuo kelių dešimčių angstromų iki keliolikos mikronų. Skirtingus sluoksnius reikia legiruoti priemaišomis, donorais arba akceptoriais, siekiant sukurti p-n perėjimą su didele elektronų koncentracija n srityje bei didele skylių koncentracija p srityje.

Vienu procesu, kurio trukmė yra kelios valandos, galima išauginti struktūras ant 6 – 12 pagrindų, kurių diametras 50 – 75 mm. Labai svarbu užtikrinti ir kontroliuoti struktūrų vienodumą ant pagrindų paviršiaus. Puslaidininkių nitridų auginimo epitaksijos būdu įrenginių, sukurtų Europoje (firmos Aixtron ir Thomas Swan) bei JAV (Emcore) kaina siekia 1,5 – 2 milijonus dolerių. Įvairių firmų patirtis parodė, kad prireikia vienerių – trejų metų, kol išmokstama gaminti konkurencingas struktūras. Šiai technologijai būtina aukšta gamybos kultūra.

Svarbus technologinis etapas yra plėvelių plokštumos apdirbimas: ėsdinimas, kontaktų n ir p sluoksniuose sukūrimas, padengimas kontaktiniams išvadams skirta metaline plėvele. Ant vieno pagrindo užaugintą plėvelę galima supjaustyti į kelis tūkstančius puslaidininkių kristalų, kurių matmenys nuo 0,24 x 0,24 iki 1 x 1 mm.

Kitas etapas yra šviesos diodų pagaminimas iš šių puslaidininkių kristalų. Kristalą reikia sumontuoti korpuse, padaryti kontaktinius išvadus, pagaminti optines dangas, praskaidrinančias spinduliuojamos šviesos išėjimo paviršių arba atspindinčias šviesą. Jeigu gaminamas baltos šviesos diodas, tai reikia padengti tolygiu liuminofooro sluoksniu. Būtina užtikrinti kristalo ir korpuso aušinimą, pagaminti plastikinį kupolą, fokusuojantį spinduliuojamą šviesą reikiamame erdviniame kampe. Maždaug pusę šviesos diodo kainos sudaro šie aukšto technologinio lygio etapai. Dėl šviesos srauto padidinimui reikalingo galios padidinimo tradicinė šviesos diodo forma tapo netinkama gamintojams dėl nepakankamo aušinimo. Puslaidininkį kristalą reikėjo maksimaliai priartinti prie aušinimo radiatoriaus. Tuo tikslu tradicinė bei šiek tiek naujesnė SMD (surface montage details – paviršinis detalių montavimas) technologijos buvo pakeistos pačia naujausia technologija COB (chip on board – puslaidininkis kristalas ant plokštės). COB technologijos šviesos diodas parodytas iliustracijoje toliau.

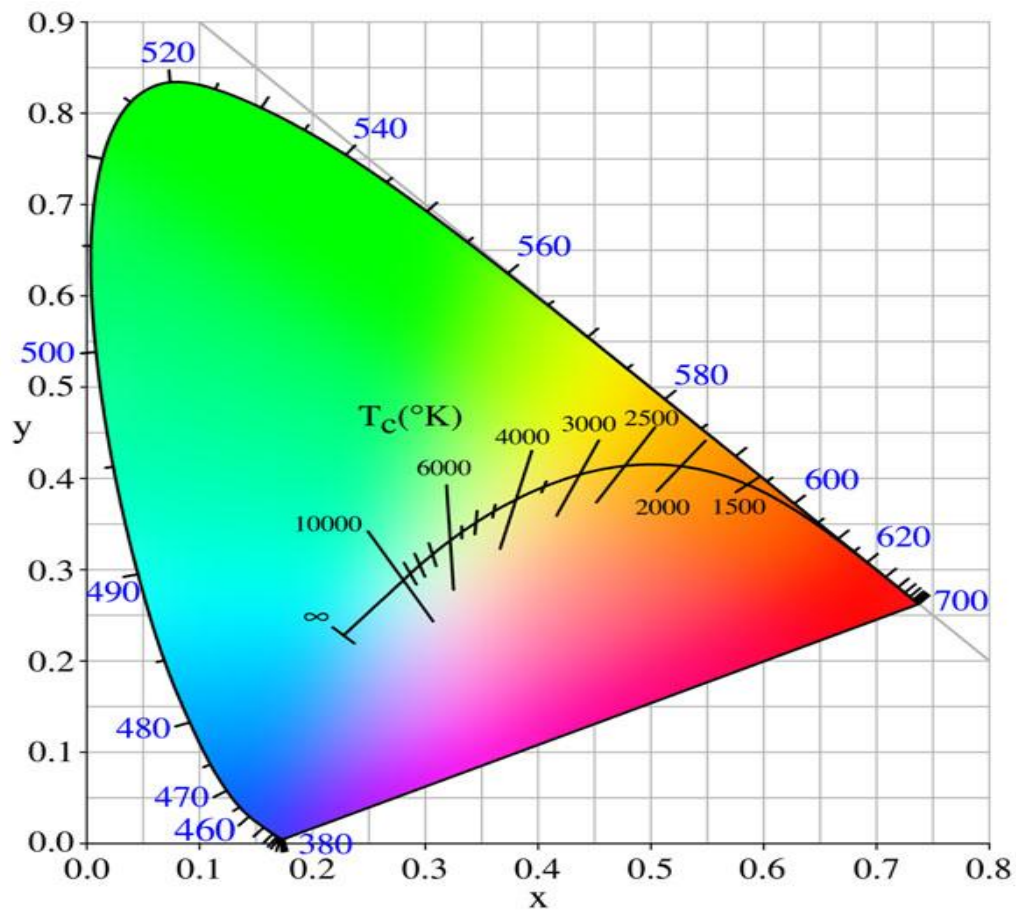
SMD ir COB technologijos šviesos diodai montuojami (priklijuojami) tiesiogiai ant bendro pagrindo, kuris gali atlikti aušinimo radiatoriaus funkciją – tokiu atveju pagrindas gaminamas iš metalo. Tokiu būdu pagaminami šviesos diodų moduliai, turintys tiesinę, stačiakampę arba apvalią formą, standūs arba lankstūs, t.y., trumpai kalbant, pritaikyti bet kokioms dizainerių užgaidoms. Be to,

jau gaminamos šviesos diodų lempos, turinčios tokį patį cokolį kaip ir žemos įtampos halogeninės lempos, skirtos šių halogeninių lempų pakeitimui. Galingiems šviestuvams ir prožektoriams gaminami šviesos diodų blokai, sumontuoti ant apvalaus masyvaus radiatoriaus.

Anksčiau šviesos diodų blokuose būdavo labai daug šviesos diodų. Dabar, kai galia didėja, šviesos diodų skaičius mažėja, tačiau vis svarbesne tampa optinė sistema, nukreipianti šviesos srautą reikiamu erdvinio kampu [2].

1.3 SPALVOS TEMPERATŪRA

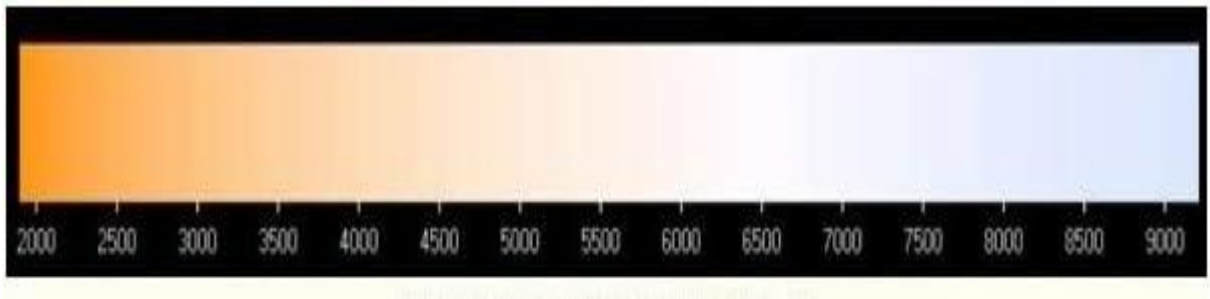
Fizikoje egzistuoja tokia savoka kaip “juodas kūnas” tai yra įsivaizduojamas idealiai ir visiškai juodas kūnas į kurį krentanti šviesa neatsispindi. O šio kūno paties spinduliuojama energija (šviesa arba šiluma) vadinama “juodojo kūno spinduliavimu”. Kisdami kūnai pradeda vis daugiau spinduliuoti iš savęs šilumos, o vėliau ir šviesos. Juodojo kūno spinduliavimo teorija apibrėžia tai iki kokios temperatūros reikia įkaitinti visiškai juodą kūną (medžiagą), kad ji pradėtų spinduliuoti tam tiksos spalvos ir intensyvumo šviesą. Pvz. anglis yra visiškai juoda, bet net jei beorėje erdvėje ją įkaitinsime iki maždaug 1000-1200 laipsnių pagal Celsijų tai toks anglies gabaliukas pradės švytėti raudonai, keliant toliau temperatūrą jo švytėjimo intensyvumas didės ir keisis švytėjimo spalva. Kad dar lengviau įsisavinti esmę prisiminkite paprastos lemputės siūlelį, kol jis šaltas ir per jį neteka elektros srovė jis yra pilkas, kai tik tekanti elektros srovė jį įkaitina jis pradeda švytėti skleisdamas geltona intensyvią šviesą. Žemiau yra paveikslukas vaizduojantis grafiką su temperatūromis ir spalvinėmis tos temperatūros reikšmėmis.



1.2 pav. Chromatinė diagrama su spalvų bangos ilgiais ir spalvos temperatūromis

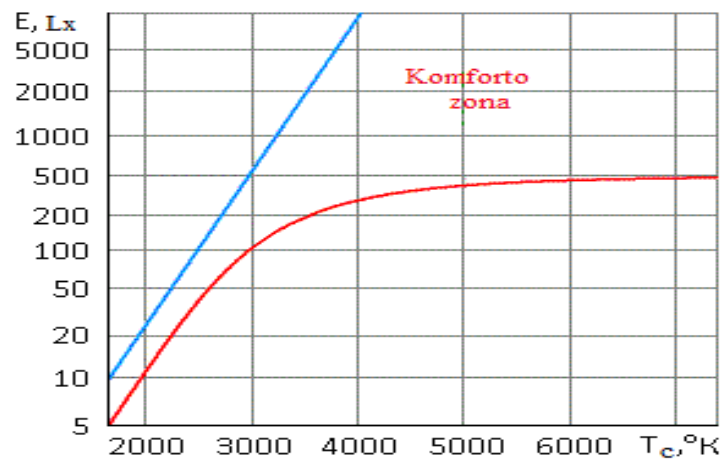
Visiškai juodi objektai būdami įšilę iki kambario temperatūros (apie 20 laipsnių pagal Celsijų) pagrinde spinduliuoja šiluminės bangas – infraraudonuosius spindulius. Pakėlus šia temperatūrą iki beveik 1000 laipsnių pagal Celsijų toks objektas pradėtų skleisti tamsiai raudoną šviesą, didinant temperatūrą šviesos intensyvumas didėtų ir spalva palaipsniui keistūsi tokia seka: raudona->oranžinė->geltona->balta-žydra->mėlyna-ryškiai mėlyna->violetinė ir t.t. Reiktų atsižvelgti ir į tai, kad idealiai juodų kūnų neegzistuoja, todėl spalvinės savybės gali skirtis priklausomai nuo medžiagų tipo[3].

Svarbu suprasti, kad esant neaukštai šviesos šaltinio spalvos temperatūrai 2700 K, psichologiškai užtenka žmogaus komforto būsenai palaikyti. Tačiau žmogus gali būti per daug atsipalaidavęs prie tokių žemų spalvos temperatūrų.



1.3 pav. Juodojo kūno spalvos temperatūros skalė[4]

Pilnai dirbančio žmogaus koncentracijai reikalingas apšvietimas turi būti 4000-6000 K ir 500 Lx [1].



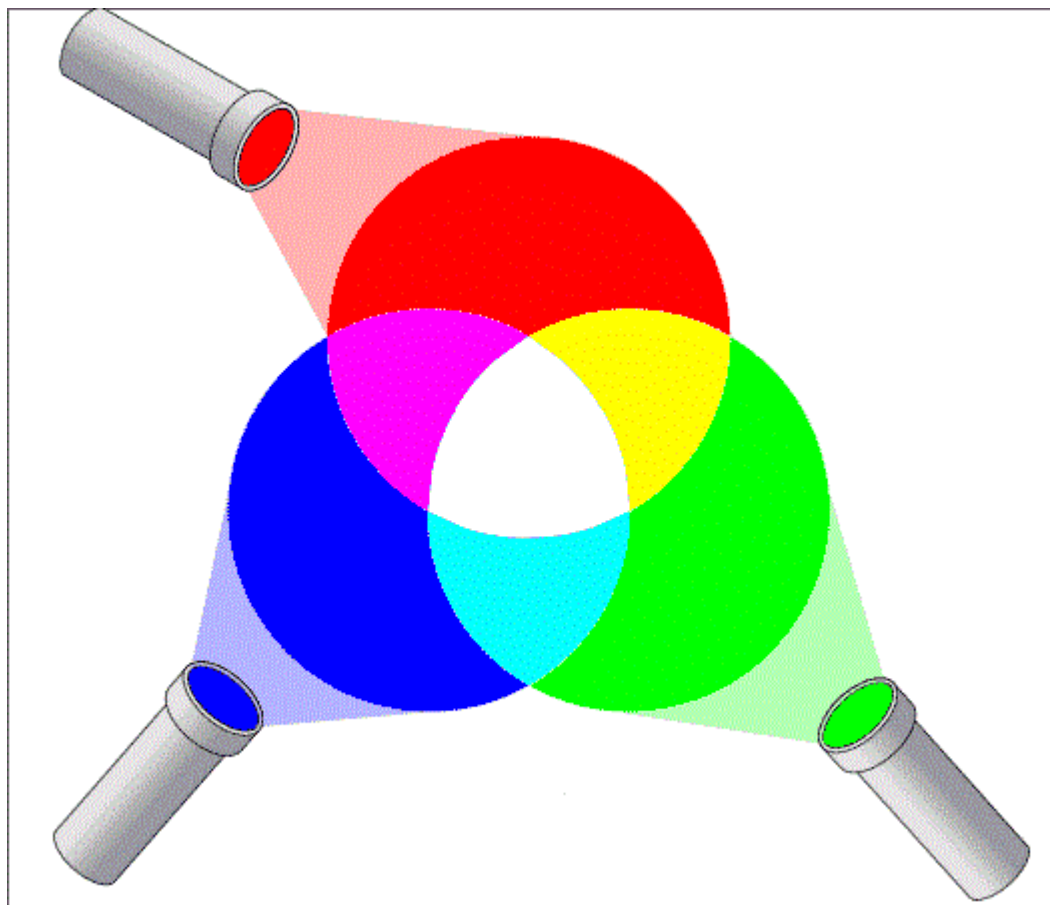
1.4 pav. Žmogaus komforto priklausomybė nuo skirtingų patalpos apšvietimo ir šviesos spalvos temperatūros reikšmių[1]

1.4 BALTOS ŠVIESOS SINTEZĖ PANAUDOJANT ŠVIESOS DIODUS

1.4.1. RGB TECHNOLOGIJA

Juoda spalva – tai visų spalvų nebuvimas. Kai viso spalvos spektro dalių spinduliuojama šviesa užsideda viena ant kitos gaunama taip vadinama polichromatinė baltoji spalva. Pagrindinės spalvos, iš kurių galima gauti visus atspalvius, yra raudona, žalia ir mėlyna spalvos (RGB). Antrinės arba papildomos spalvos: violetinė (sumaišytos raudona ir mėlyna spalvos), žydra (žalia ir mėlyna spalvos) ir geltona (raudona ir žalia spalvos). Bet kuri papildoma spalva sumaišyta su priešinga papildoma

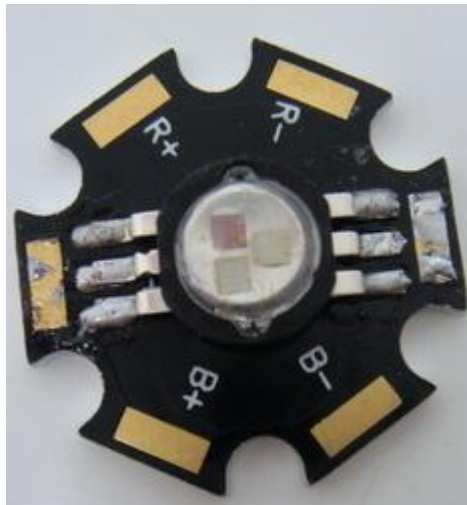
spalva sumoje duoda baltą spalvą. Pavyzdžiui geltona ir mėlyna spalvos, žydra ir raudona spalvos, violetinė ir žalia spalvos.



1.5 pav. Baltos šviesos sintezė panaudojant tris pagrindines spalvas

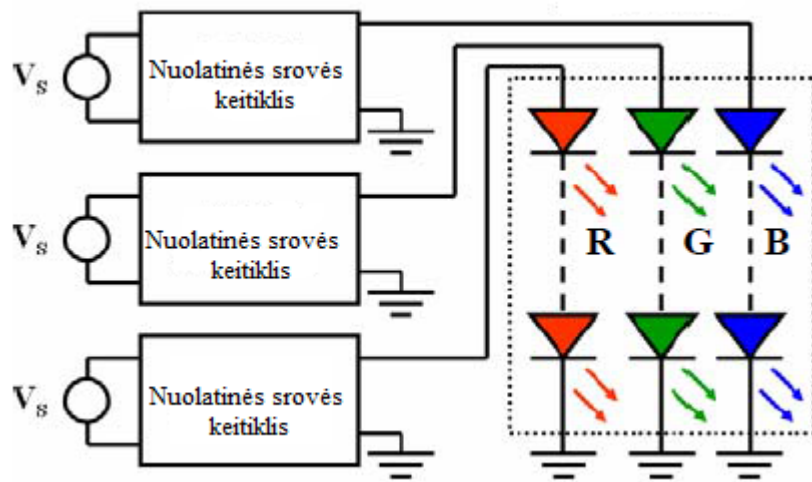
Egzistuoja keli būdai išgauti baltą šviesą panaudojant šviesos diodus.

Pirmas būdas yra spalvų sumaišymas pagal RGB technologiją. Ši technologija numato tai, kad raudonos, žalios ir mėlynos spalvos šviesos diodai glaudžiai įmontuojami vienoje matricoje ir jų šviesos spinduliavimas sumaišomas panaudojant optinę sistemą, pavyzdžiui linzę. Kaip rezultatas gaunama balta šviesa [5]. Rečiau naudojamas būdas numato pagrindinių ir papildomų spalvų sumaišymą.



1.6 pav. 3W RGB šviesos diodas

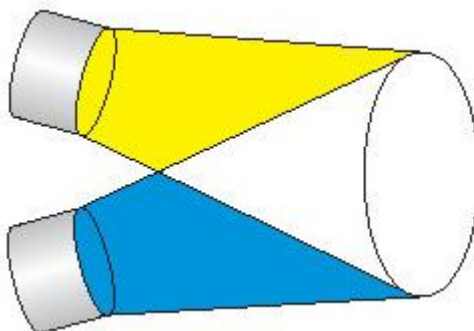
Spalvų sumaišymo technologijos panaudojant šviesos diodus numato ne tik baltos šviesos, bet ir visų atspalvių gavimą. Spalvos keitimas realizuojamas keičiant pro skirtingus šviesos diodus tekančią elektros srovę. Tokiu būdu galima išgauti ir skirtingas baltos spalvos temperatūras. Todėl RGB matricos plačiai naudojamos apšvietimo sistemuose. Tuo labiau didelis kiekis RGB šviesos diodų išduoda reikiamą šviesos srautą.



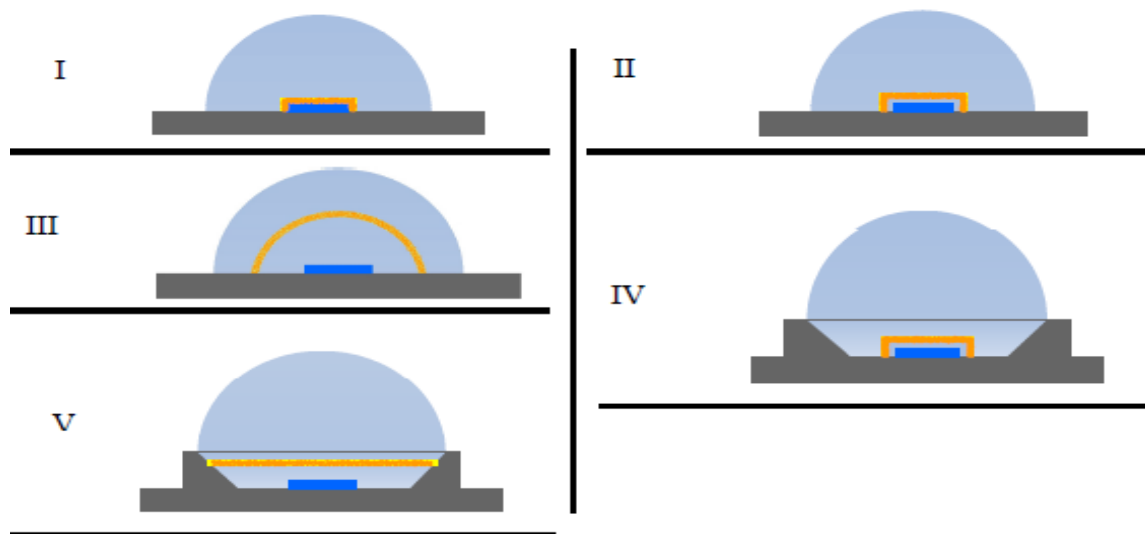
1.7 pav. Šviesos diodų srovės valdymo schema[6]

1.4.2. ŠVIESOS DIODAI SU LIUMINOFORAIS

Kitas baltos šviesos gavimo būdas panaudojant šviesos diodus realizuojamas sumaišant mėlynos spalvos kristalo spinduliavimą, kuris praeina pro geltonos spalvos liuminoforą. Yra keli liuminoforo padengimo būdai.



1.ū pav Baltos šviesos sintezės panaudojant mėlyną ir geltoną spalvas supaprastintas pavaizdavimas



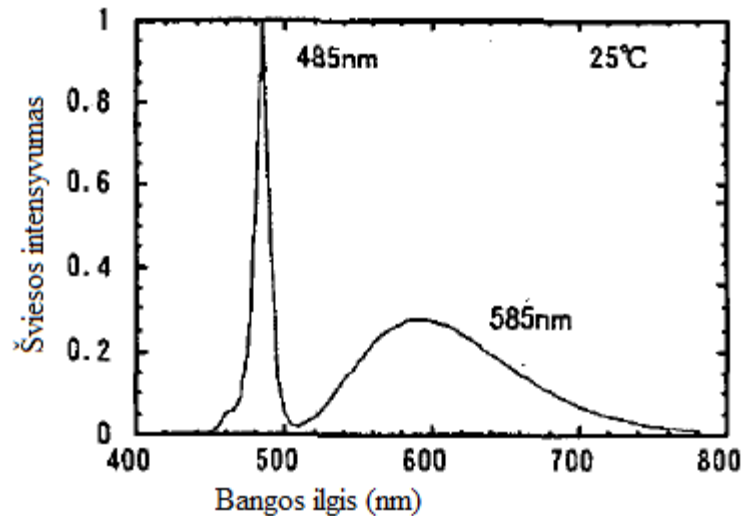
1.8 pav. Fosforinio liuminoforo padengimo variantai[7]

Šis būdas yra paplitęs dėl savo paprastumo ir naudojamas pramoniniais mastais, tačiau stabiliam baltos šviesos gavimui trukdo liuminoforo senėjimas. Be to yra sudėtinga technologiškai tolygiai padengti liuminoforo sluoksnį, tuo pasekoje sunku kontroliuoti spalvos temperatūrą.

1.4.3. ZnSe-pagrindo ŠVIESOS DIODAS

ZnSe-pagrindo ryškūs baltos spalvos šviesos diodai išskleidžia baltą šviesą nenaudojant fosforo. Baltos šviesos spektras išgaunamas sumaišus kristalo žaliai-mėlynos spalvos fotonų emisiją (480-490 nm) su geltonai-oranžine (580-585 nm) pagrindo emisija.

ZnSe-pagrindo baltos spalvos šviesos diodo šviesos šaltinis plačiai apima spalvos temperatūros diapazoną, kurio vertės yra nuo 13300 K iki 2800 K. Šios vertės pasiekiamos reguliuojant aktyviosios dalies ir pagrindo fotonų emisiją.



1.9 pav. Mėlynos ir geltonos spinduliuotės priklausomybė nuo šviesos intensyvumo

Baltos spalvos ZnSe-pagrindo šviesos diodai turi eilę privalumų:

1. išgauti baltą šviesą nereikalingas fosforo liuminoforos, kuris sensta greičiau negu pats šviesos diodas;[8]
2. vardinė įtampa siekia 2,5 V;[8]
3. atsparūs statinėms iškrovoms;[8]
4. platus spalvos temperatūros diapazonas, kuris platesnis už GaN-pagrindo šviesos diodų temperatūros diapazoną;[8]
5. galimybė išgauti „šiltą“ baltą spalvą.[8]

Tačiau didelė ZnSe-pagrindo šviesos diodų varža lemia tai, kad jų ilgaamžiškumas yra mažas. Šis trūkumas neleidžia tokiems šviesos diodams išeiti į rinką ir būti konkurecingiems pramoniniais kiekiais gaminamiems RGB šviesos diodams ir šviesos diodams su liuminoforu [9].

1.5. BALTOS ŠVIESOS SINTEZĖS PANAUDOJANT ŠVIESOS DIODUS PERSPEKTYVOS

Baltos šviesos, kurią galima pritaikyti apšvietimui, gavimo technologijos panaudojant šviesos diodus aktyviai vystomos. Tyrimai šioje srityje stimuliuojami padidėjusiu visuomenės interesu. Elektros energijos ekonomijos perspektyvos pritraukia investicijų, leidžiančias tobulinti technologijas, ieškoti naujų medžiagų. Remiantis šiuolaikinėmis mokslinėmis publikacijomis galima teigti kokia kryptimi vystysis puslaidininkų ir šviesos technikos disciplinos šioje srityje:

- kokybiškesnių ir efektyvesnių liuminoforų paieška [10], [11];
- kombinuotų daugiakomponenčių šviesos diodų tyrimas [12];
- baltos spalvos šviesos diodai ant kvantinių taškų [13];
- šviesą spinduliuojančių puslaidininkinių medžiagų efektyvumo dydinimas [14];
- perėjimas prie pigesnių puslaidininkinių struktūrų [15];
- šviesos diodai su puslaidininkiniais spinduliavimo keitikliais [16].

2. TYRIMO METODAI

Atlikus literatūros apžvalgą buvo pastebėta, kad mokslinės informacijos apie šviesos diodus yra pakankamai daug. Technologijos nuolat tobulinamos ir bandomasi išeiti į platesnę rinką. Jeigu mažos galios šviesos diodams pilnai pavyko išstumti kaitrines lemputes, tai didelios galios šviesos diodams, kurie naudojami lokaliai arba didesnių plotų apšvietimui, tai dar neįveikiama užduotis.

Atliekant stalinės tetrachromatinės RGBY lempos tyrimą Klaipėdos Universiteto Jūrų technikos fakulteto elektrotechnikos katedroje, buvo nagrinėjami tokio dirbtinio šviesos šaltinio privalumai ir trūkumai. Vienas iš pastebėtų trūkumų buvo nekokybiškas lempos spinduliuojamas šviesos srautas. Galingų šviesos diodų išgautą apšvietimą galima apibūdinti kaip „taškinį“, kuris turi savybę dirginti žmogaus regėjimo organą. Tęsiant tyrimą iškylo hipotezę kaip panaikinti šį lempos neigiamą efektą: mažos galios elektros variklio pagalba sukurti šviesos diodus pastoviu greičiu, kol nedings „taškinis“ efektas. Be to sukant skirtingų spalvų šviesos diodus galima stebėti rezultate išgaunamo šviesos srauto charakteristikas, tokias kaip spalvą ir spalvos temperatūrą.

2.1. EKSPERIMENTO PLANAS

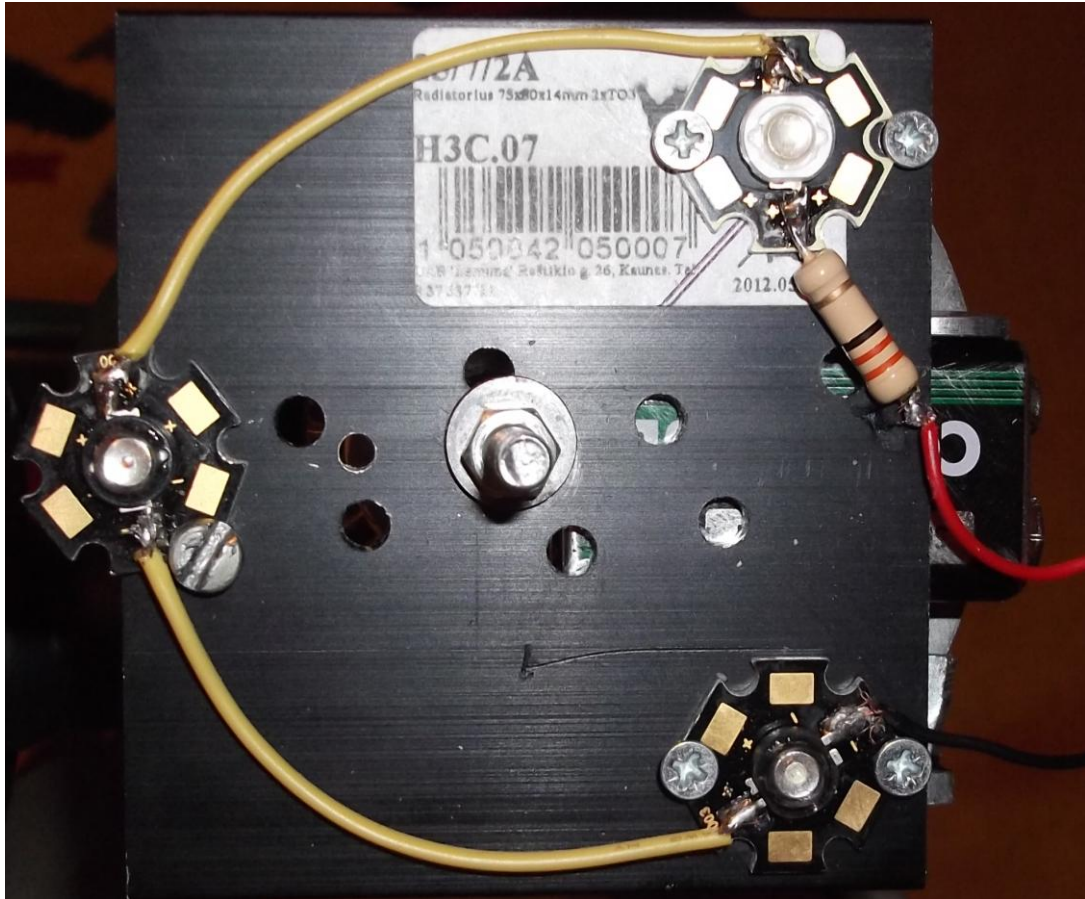
1. Parinkti mažos galios elektros pavarą, kuri atliktų darbą, sukurdama šviesos diodus;
2. parinkti šviesos diodus;
3. parinkti maitinimo šaltinį šviesos diodams;
4. parinkti paviršių šviesos diodų tvirtinimui;
5. parinkti rezistorius ir tvirtinimo detales;
6. atlikti stebėjimus ir surinkti duomenis;
7. sudaryti eksperimento tobulinimo planą;
8. padaryti išvadas.

2.2. EKSPERIMENTO EIGA

Eksperimento tikslas – ištirti sukamojo judesio įtaką koncentruotam šviesos diodų spinduliavimui. Eksperimentas buvo atliktas esant naminėms sąlygoms. Eksperimentui atlikti buvo

parinktas elektrinis gręžtuvas, kuris išsuktų aliumininę plokštę su įmontuotais šviesos diodais. Šviesos diodų maitinimas buvo atliekamas 9V elementu, įmontuotu toje pačioje radiatoriaus plokštėje.

Pirmajame bandyme panaudojame tris šviesos diodus, raudonos, žalios ir mėlynos spalvos. Jie montuojami ant plokštės taip, kad sudarytų lygiakraštį trikampį, kurio kraštinė lygi 55 mm. Šviesos diodai būtų šio trikampio viršūnėmis, kaip pavaizduota paveiksle 2.1.



2.1 pav. Sujungti šviesos diodai ant plokštės

3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APITARIMAS

Atlikus pirmąjį bandymą, kai buvo sukami raudonos, žalios ir mėlynos spalvos šviesos pavyko sintezuoti spalvą, artimą baltai spalvai, kaip pavaizduota paveiksle 3.2. Valdymo objektas stacionarioje padėtyje pavaizduotas paveiksle 3.1.



3.1pav. Valdymo objektas stacionarioje padėtyje



3.2 pav. Sintezės rezultatas

Toks rezultatas įmanomas tik dėl žmogaus akies inertiškumo savybių. Akis nespėja tinkamai apdoroti informacijos ir perduoda smeginim, kad spalva yra viena. Bet pati akis mato tris spalvas, kaip pavaizduota paveiksle 3.3.



3.3 pav. Sukamojo objekto matymas akimi

Bandymas buvo atliktas sklandžiai keičiant valdymo objekto sukimosi greitį nuo 0 iki 50 aps/s. Pastebėta, kad augant greičiui sintezuojama spalva darėsi vis labiau akcentuota į vieną spalvą.

3.1 GAUTO APŠVIETIMO IR SINTEZUOTOS BALTOS SPALVOS KOKYBĖS ĮVERTINIMAS

Gautos baltos šviesos kokybę įvertinti buvo paprašyti penki respondentai. Visiems respondentams buvo leista išsižiūrėti į sintezuojamos spalvos šviesa ir atsakyti į klausimą ar psichologiškai jų būseną yra ramesnė prie apšvietimo sudaryto iš stacionaraus valdymo objekto, ar iš sukamo valdymo objekto. Visų respondentų atsakymas buvo toks, kad sukantis valdymo objektui, regos organai yra labiau dirginami ir tai yra diskomforto priežastis. Tačiau esant valdymo objektui stacionarioje būsenoje, nuo jo apšviečiamų daiktų krenta trispalvis šešėlis.

Išsamiau apšvietimo įtaką žmogaus psichologinei būsenai galima iširti panaudojant Klaipėdos Universiteto Jūrų technikos fakulteto elektrotechnikos katedroje kuriamą emocijų matuoklį [18].

3.2 EKSPERIMENTO TOBULINIMO PLANAS

Kaip vieną iš būdų panaikinti dirginimą sukuriančius faktorius galima pabandyti įsukti valdymo objektą didesnių greičiu. Tai įvykdyti gali bekolektorinis nuolatinės srovės variklis naudojamas lėktuktuvų radijo bangomis valdomuose modeliuose. Šis variklis išvysto greitį iki 10000 aps/s. Panaudoti kaip valdymo objektą būtų racionalų jau ne vienos spalvos šviesos diodus, o RGB šviesos diodus ir išgauti įvairias spalvas ir atspalvius. Valdyti RGB šviesos diodų srovę panaudojant impulso pločio keitimą mikrovaldiklio pagalba. Tuo pačiu mikrovaldikliu vyktų bekolektorinio nuolatinės srovės variklio greičio reguliavimas panaudojant bekolektorinio nuolatinės srovės variklio greičio reguliatorių. RGB šviesos diodų maitinimas bus vykdomas per varinius žiedus ir grafitinius šepetėlius įmontuotus ant variklio veleno. Variklio maitinimo šaltiniu būtų personalinio kompiuterio maitinimo blokas.

Visus panaudotus šiame eksperimente įrankius ir komponentus žiūrėkite **priede 2**.

Variklio greičio valdymo programa žiūrėkite **priede 3**.

Prie tokios grandinės trūkumu galima priskirti:

- grandinės elementų aukšta savikaina;
- tikslų elementų komponavimą, vengiant virpesių, atliekant sukamąjį judesį;
- šepetėlių trintis.

4. IŠVADOS

1. Atlikta šiuolaikinių baltos spalvos sintezės būdų panaudojant šviesos diodus literatūros šaltinių analizė;
2. Analizuotos baltos spalvos sintezės panaudojant šviesos diodus perspektyvos.
3. Atliktas eksperimentas, kuriuo rezultatu buvo gauta balta šviesa, kuri gali būti panaudota kaip dirbtinės šviesos šaltinis.
4. Atliktas gautos baltos šviesos kokybės įvertinimas apklausiant respondentus. Remiantis respondentų nuomone išgautas apšvietimas turi savybę dirginti regėjimo organus.
5. Atlikto eksperimento rezultatai parodė, kad šiuo būdu išskaidyti šviesos diodų koncentruotos spinduliuotės nepavyko.
6. Pasiūlytas atlikto eksperimento tobulesnis variantas.

LITERATŪROS ŠALTINIAI

1. Ланцов А. 2009. Искусственное освещение;
2. www.colorex.lt (Žr. 2012 12 20);
3. www.xenonai.lt (Žr. 2013 04 02);
4. <http://www.master-a.com.ua> (Žr. 2013 03);
5. Xin He, Guanying Cao , Nianyu Zou. 2011. Simulation of white light based on RGB LEDs;
6. Anindita Bhattacharya, Brad Lehman, Charles A. DiMarzio. Effects of Parametric Uncertainty in Designing a High-Brightness LED Light System;
7. Zongyuan Liu, Sheng Liu, Kai Wang, Xiaobing Luo. 2009. Analysis of Factors Affecting Color Distribution of White LEDs;
8. Toshihiko Takebe. 2003. ZnSe-BASED WHITE LED;
9. Wen Ray Chen and Chien Jung Huang. 2004. ZnSe-Based Mixed-Color LEDs;
10. Дудукало О.Е., Воробьев В.А. 2011. ИНТЕЗ ЛЮМИНОФОРА НА ОСНОВЕ АЛЮМОИТТРИЕВОГО ГРАНАТА ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ БЕЛОГО СВЕТА НА ОСНОВЕ СИД МЕТОДОМ ГОРЕНИЯ;
11. Intematix Phosphor Blend Accomplishes Near Perfect Light Quality for LEDs. 2001. <http://www.led-professional.com>;
12. Cree Introduces Next-Generation Color LEDs. 2011. <http://www.led-professional.com>;
13. In New Quantum-Dot LED Design, Researchers Turn Troublesome Molecules to Their Advantage. 2011. <http://www.led-professional.com>;
14. 609 nm Red LED Prototype from OSRAM Opto Semiconductors Achieves Record Efficiency. 2011. <http://www.led-professional.com>;
15. AZZURRO Offers Easy Migration to GaN-on-Si LEDs with 150 mm Templates. 2012. <http://www.led-professional.com>;
16. Шуберт Ф.Е. 2008. Светодиоды.
17. Lyan O. 2012. “RGBY” tetrachromatinio puslaidininkinių šviesos diodų (LED) šviestuvo apšvietimo kokybės tyrimas;
18. A.Grinkov, R. Petkus, E.Šikšnis, A.Šipulia, A. A. Bielskis. 2012. Išmaniojo mikroklimato valdymo sistema.

PRIEDAI

1 priedas

DIRBTINĖS, NATŪRALIOS IR MIŠRIOS APŠVIETOS MAŽIAUSIOS RIBINĖS VERTĖS

A.1 lentelė. Darbo vietų dirbtinės, lx, natūralios ir mišrios, NAK, %, apšvietos mažiausios ribinės vertės

| Regos darbų charakteristika | Mažiausio matomo objekto dydis, mm | Regos darbų kategorija | Matomo objekto ir fono skirtumas (S) | Fonas | Dirbtinis apšvietimas | | | Natūralus apšvietimas, NAK, % | | Mišrus apšvietimas, NAK, % | |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------|---------------------|---|---------------------|---|---------------------|
| | | | | | Apšvieta, lx | | | viršutinis arba kombinuotas apšvietimas | šoninis apšvietimas | viršutinis arba kombinuotas apšvietimas | šoninis apšvietimas |
| | | | | | kombinuotas apšvietimas | | bendras apšvietimas | | | | |
| | | | | | bendras ir vietinis | iš jų bendras | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Maksimaliai tikslūs | mažiau kaip 0,15 | I a | mažas | tamsus | 5000 4500 | 500 500 | - - | - | - | 6,0 | 2,0 |
| | | I b | mažas vidutinis | vidutinis tamsus | 4000 3500 | 400 400 | 1250 1000 | | | | |
| | | I c | mažas vidutinis didelis | šviesus vidutinis tamsus | 2500 2500 | 300 300 | 750 600 | | | | |
| | | I d | vidutinis didelis didelis | šviesus šviesus vidutinis | 1500 1250 | 200 200 | 400 300 | | | | |
| Labai tikslūs | 0,15-0,30 | II a | mažas | tamsus | 4000 3500 | 400 400 | - - | - | - | 4,2 | 1,5 |
| | | II b | mažas vidutinis | vidutinis tamsus | 3000 2500 | 300 300 | 750 600 | | | | |
| | | II c | mažas vidutinis didelis | šviesus vidutinis tamsus | 2000 1500 | 200 200 | 500 400 | | | | |
| | | II d | vidutinis didelis didelis | šviesus šviesus vidutinis | 1000 750 | 200 200 | 300 200 | | | | |
| Tikslūs | 0,30-0,50 | III a | mažas | tamsus | 2000 1500 | 200 200 | 500 400 | - | - | 3,0 | 1,2 |
| | | III b | mažas vidutinis | vidutinis tamsus | 1000 750 | 200 200 | 300 200 | | | | |
| | | III c | mažas vidutinis didelis | šviesus vidutinis tamsus | 750 600 | 200 200 | 300 200 | | | | |
| Tikslūs | 0,30-0,50 | III d | vidutinis didelis didelis | šviesus šviesus vidutinis | 400 - | 200 - | 200 | - | - | 3,0 | 1,2 |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------|------|-------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Vidutiniškai tikslūs | 0,5-1,0 | IV a | mažas | tamsus | 750 | 200 | 300 | 4,0 | 1,5 | 2,4 | 0,9 |
| | | IV b | mažas vidutinis | vidutinis tamsus | 500 | 200 | 200 | | | | |
| | | IV c | mažas vidutinis didelis | šviesus vidutinis tamsus | 400 | 200 | 200 | | | | |
| | | IV d | vidutinis | šviesus | - | - | - | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|--------|--|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | didelis didelis | šviesus vidutinis | | | 200 | | | | |
| Nelabai tikslūs | daugiau kaip 1,0 | V a | mažas | tamsus | 400 | 200 | 300 | 3,0 | 1,0 | 1,8 | 0,6 |
| | | V b | mažas vidutinis | vidutinis tamsus | - | - | 200 | | | | |
| | | V c | mažas vidutinis didelis | šviesus vidutinis tamsus | - | - | 200 | | | | |
| | | V d | vidutinis didelis didelis | šviesus šviesus vidutinis | - | - | 200 | | | | |
| Netikslūs (mažiausiai tikslūs) | daugiau kaip 5,0 | VI | fonas ir matomo objekto ir fono skirtumas nesvarbūs | | - | - | 200 | 3,0 | 1,0 | 1,8 | 0,6 |
| Darbas su šviečiančiomis medžiagomis ir gaminiais karštuose gamybos padaliniuose | daugiau kaip 0,5 | VII | fonas ir matomo objekto ir fono skirtumas nesvarbūs | | - | - | 200 | 3,0 | 1,0 | 1,8 | 0,6 |
| Bendras darbo proceso stebėjimas: nuolatinis | | VIII a | fonas ir matomo objekto ir fono skirtumas nesvarbūs | | - | - | 200 | 3,0 | 1,0 | 1,8 | 0,6 |
| ne nuolatinis, nuolat būnant patalpoje | | VIII b | fonas ir matomo objekto ir fono skirtumas nesvarbūs | | - | - | 75 | 1,0 | 0,3 | 0,7 | 0,2 |
| ne nuolatinis, ne nuolat būnant patalpoje | | VIII c | fonas ir matomo objekto ir fono skirtumas nesvarbūs | | - | - | 50 | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 0,2 |
| bendras inžinerinių komunikacijų stebėjimas | | VIII d | fonas ir matomo objekto ir fono skirtumas nesvarbūs | | - | - | 20 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,1 |

2 priedas

Įrankiai ir komponentai

Šiame darbe buvo panaudoti sekantys įrankiai ir komponentai:

- radiatorius 75x80x14mm 2xTO3, kurio masė 0,085 kg;



3.4 pav. Radiatorius 75x80x14mm 2xTO3

- elektrinis gręžtuvas “Makita” HP1620, P=650 W, I_n=3 A, n=2800 min⁻¹;



3.5 pav. Gręžtuvas “Makita” HP1620

- 9 V baterija



3.6 pav. 9 V baterija

- 300 W personalinio kompiuterio maitinimo šaltinis;



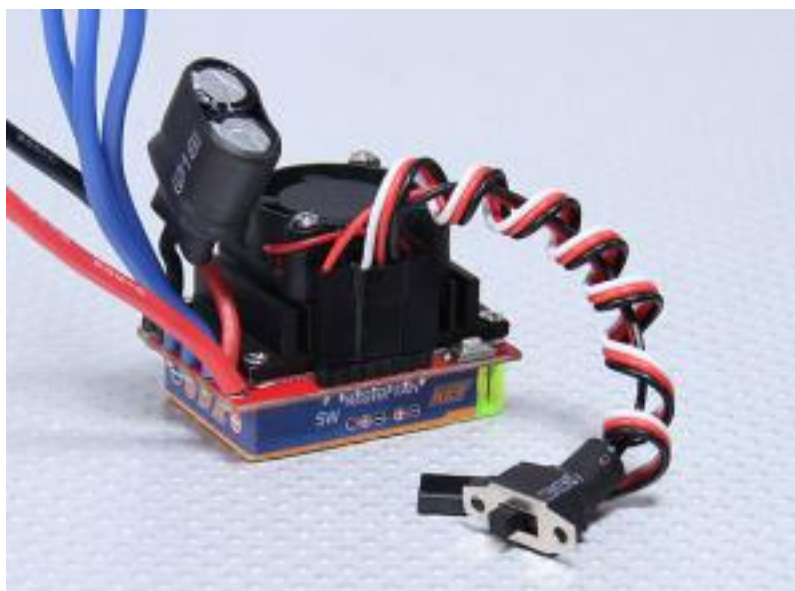
3.7 pav. 300 W personalinio kompiuterio maitinimo šaltinis

- bekolektorinis nuolatinės srovės variklis “TURNIGY” , $P=700\text{ W}$, $U=14\text{ V}$, $I=40\text{ A}$, $I_0=1,6\text{ A}$, $m=0,024\text{ kg}$.



3.8 pav. “TURNIGY” aerodrive SK3542-1250 variklis

- greičio reguliatorius bekolektoriniam nuolatinės srovės varikliui (ESC-electric speed controller), $U=5-17\text{ V}$, $I=100\text{ A}$.



3.9 pav. Greičio regulatorius

- Arduino UNO plokštė su ATMEL kompanijos ATMEGA 328 mikrovaldikliu



3.10 pav. Arduino UNO plokštė

- 5 V, 3A impulsinis maitinimo šaltinis



3.11 pav. 5 V maitinimo šaltinis

3 priedas. Variklio valdymo programa.

```
#include <Servo.h>

Servo myMotor;

String incomingString;

void setup()

{

    myMotor.attach(9);

    Serial.begin(9600);

    Serial.println("initializing");

}

void loop()

{

    if(Serial.available() > 0)

    {

        char ch = Serial.read();

        if (ch != 10){

            Serial.print("I have received: ");

            Serial.print(ch, DEC);

            Serial.print('\n');

            incomingString += ch;

        }

    }

}
```

```
else
{
    Serial.println("I am printing the entire string");

    Serial.println(incomingString);

    int val = incomingString.toInt();

    Serial.println("Printing the value: ");

    Serial.println(val);

    if (val > -1 && val < 181)
    {
        Serial.println("Value is between 0 and 180");

        myMotor.write(val);
    }
    else
    {
        Serial.println("Value is NOT between 0 and 180");

        Serial.println("Error with the input");
    }

    incomingString = "";
}
}
}
```

Išmanioji mikroklimato valdymo sistema

A.Grinkov, R.Petkus, E.Šikšnis, A.Šipulia, A.A. Bielskis

Klaipėdos universitetas, Elektrotechnikos katedra, Bijūnų 17, LT-91225 Klaipėda, Lietuva

e. paštas: agrinkov@yahoo.com, redux87@yahoo.com, djedzis@gmail.com, saniashblr@yahoo.com, bielskis@ik.ku.lt

Anotacija

Darbe aprašomas neraiškaus neuroninių tinklų valdiklio modeliavimas eksperimentinei mikroklimato valdymo laboratorijai, kuris optimizuotų mikroklimato režimo palaikymą. Valdiklis, jutiklių pagalba, matuoja mikroklimato ir apšvietimo parametrus ir perduoda užduotį sistemos vykdymo įtaisams. Užduotį nustatytose ribose palaiko adaptyvi valdymo sistema, kuri neuroninių tinklų pagalba prognozuoja reikalingos reikšmės valdymo signalą, valdymo signalo nuokrypiui pašalinti. Aprašomos techninės priemonės, leidžiančios prisijungti prie IBM vizijoje aprašytosios debesies įrangos.

Pagrindiniai žodžiai: AKAP, šildymo, ventiliavimo, kondicionavimo, apšvietimo sistemos, adaptyviosios sistemos.

Summary

This paper describes simulation of the fuzzy neural network controller for the experimental laboratory of climate control, which optimizes the maintenance regime of microclimate. By sensor the controller measures the parameters of the microclimate and light and transmits the assignment to the performance devices of the system. The adaptive control system maintains the assignment in the defined border. The adaptive control with the help of the neural network, predicts the required control signal for removing of the deflection control signal. Described technical means allow connecting to the IBM vision's described cloud software.

Key words: ACAR, heating, ventilation, conditioning, lighting, adaptive systems.

1 Įvadas

Išmanioji mikroklimato valdymo koncepcija gali būti vystoma eksperimentinėje mikroklimato adaptyvaus valdymo laboratorijoje (EMAVLab), pritaikant joje eksperimentines posistemes [1-4]. Tokios koncepcijos įgyvendinimas leistų Lietuvos mokslo bei akademinėi bendruomenei kartu su verslininkais sparčiau įsijungti į naujo tipo būsto, padedančio aktyviai taupyti energiją ir atsižvelgti į būste gyvenančiųjų asmenų socialinius poreikius, kūrimą. EMAVLab sukūrimas skatintų gamtą ir žmogų tausojančių bevielių paslaugų per išmaniuosius tinklus plėtrą, kurią numato IBM Išmanesniųjų tinklų vizija, pritaikius „*Debesies technologijas*“ (angl. *cloud technology*), tai būtų „*protingesnio namo*“ (angl. *smarter home*) kūrimo ateitis [<http://www.ibm.com/smarterplanet/>]. Debesies technologija leistų protingesnįjį namą padaryti „*techniškai aprūpintu, susietu ir intelektualiu*“ (angl., *instrumented, interconnected and intelligent*). Pagal IBM, „*Instrumented* – tai gebėjimas pajusti ir stebėti besikeičiančias sąlygas, gebėjimas suteikti itin detalią informaciją ir kontrolę apie pačių įrenginių veikimą, bei suteikti informacijos apie aplinką, kurioje šie įrengimai ir naudojami“. „*Interconnected* – tai gebėjimas bendrauti ir sąveikauti su žmonėmis, sistemomis ir kitais objektais, taip pat suteikia galimybę nuotoliniu būdu naudotis informacija apie įrenginį ir tą įrenginį valdyti“. „*Intelligent* – tai gebėjimas priimti sprendimus, atsižvelgiant į gaunamus duomenis, ... šie sprendimai turėtų suteikti geresnių rezultatų nei ankstesni. Išmanieji įrenginiai turi suteikti galimybę veikti optimaliai, juos naudojant tiek individualiam asmeniui, tiek teikiant kokias nors paslaugas“.

Šio darbo tikslas – aprašyti minimaliais kaštais sukonstruotą eksperimentinį modelį, kuris galėtų teikti protingos ekologiškos ir socialios laboratorijos darbuotojams adaptyvaus apšvietimo ir mikroklimato valdymo paslaugas pagal apšvietimo, temperatūros ir asmens emocinės būsenos matavimus.

2 Išmaniosios mikroklimato valdymo sistemos modelio parinkimas

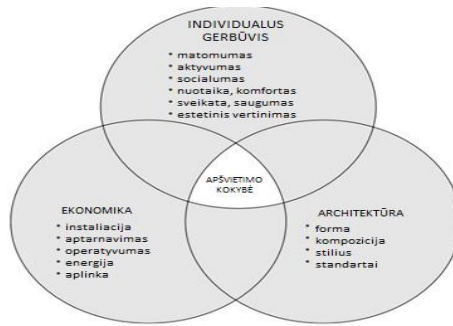
Eksperimentinės mikroklimato adaptyvaus valdymo laboratorijos (EMAVLab) modeliui gali būti pritaikytas „protingosios aplinkos“ (angl., „*the smart environment*“) modelis. Šis modelis paremtas automatinio valdymu, kuris yra susijęs su adaptyviaja aplinka. Valdymas vyksta matuojant žmogaus fiziologinius parametrus. Norint gauti optimalias aplinkos charakteristikas, pritaikomas paskata besiremiantis mokymas (angl. reinforcement learning) [5, 6] aplinkos komforto afekto paskatinimu pagrįstam apšvietimo valdikliui (AKAPPAV) (angl., Ambient Comfort Affect Reward Based Lighting Controller (*ACARBLC*)), kurio architektūra aprašyta [6] šaltiniuose. AKAPPAV tikslas yra surasti tokias aplinkos charakteristikas, kurios sukurtų optimalų komfortą žmonėms, esantiems šioje aplinkoje. Žmogaus komfortas išreikštas kaip *Aplinkos Komforto Afekto Paskatinimo* (angl., *Ambient Comfort Affect Reward (ACAR)*) funkcija:

$$ACAR = f\{a(t, c, d), v(t, c, d)\}, \quad ACAR \in [-3, 3] \quad (1)$$

čia a ir v yra susijaudinimo ir malonumo funkcijos, kurios atitinkamai priklauso nuo žmogaus fiziologinių parametrų, tokių kaip: t – temperatūros, c – *EKG*, elektrokardiogramos (angl., ECG) ir d – *OEA*, odos elektrinio aktyvumo (angl., elektro-dermal activity (EDA)). Lygtis (1) gali būti apskaičiuojama naudojant neuroninius tinklus, neraiškiją logiką (*fuzzy logic*) ar kitus metodus. Lygčiai (1) apskaičiuoti šiame darbe naudojama neraiškioji logika apibrėžiant dvi sistemas: *Susijaudinimo-Malonumo* sistemą ir *Aplinkos Komforto Afekto Paskatinimo (AKAP)* sistemą. Pagrindinė AKAPPAV komponentė yra radialinis bazinis neuroninis tinklas, kuris atsakingas už dvi dalis – elgsenos struktūrą, dar žinomą kaip *Aktorius* (angl., *Actor*), jis skirtas parinkti veiksmus ir numatytos vertės funkciją, žinomą kaip *Kritikas* (angl., *Critic*), kuris vertina *Aktorius* parinktus veiksmus. *Kritikas* naudojamas kaip reikšminė funkcija nuolatiniam mokymui atlikti, nes diskretus tolydžiai besikeičiančios aplinkos atstovavimas gali būti problematiškas.

3 EMAVLab apšvietimo valdymas

Tikėtina, jog šviesą spinduliuojantys diodai (LED) netolimoje ateityje taps pagrindiniais šviesos šaltiniais. Viena iš šių diodų rūšių, taip vadinamų raudonos-žalios-mėlynos (RGB) spalvų LED'ai, galintys realiu laiku keisti skleidžiamos šviesos spalvą, randa savo nišą biomedicinos aparatų, detektorinių sistemų, skystųjų kristalų televizorių (LCD) konstravime, žinoma, ir patalpų apšvietime. Tokių LED šviestuvų panaudojimas būtų racionalus pasirinkimas, kuriant išmaniosios laboratorijos apšvietimą ar netgi kuriant tos pačios laboratorijos atskirų darbo vietų išmanųjį apšvietimą. Sudaromos dirbtinės šviesos parametrai, tokie kaip intensyvumas, šviesos sklaida ar netgi skirtingos spalvos turi gan didelę įtaką žmogaus emocinei būsenai [8]. Taip pat yra atlikta tyrimų, kuriais remiantis nustatyta, jog apšvietimo kokybė tiesiogiai 1 pav. Pagrindiniai apšvietimo kokybės faktoriai priklauso nuo 1 pav. parodytų trijų faktorių: individualaus gerbūvio, ekonominio poveikio ir aplinkos architektūros [9]. Dažniausias LED apšvietimo valdymas vykdomas impulsų pločio moduliacijos (PWM) principu [10]. Tačiau toks paprasčiausias valdymas neviseškai patenkina išmaniojo apšvietimo idėją (nėra tiesioginio sąryšio tarp žmogaus būsenos ir valdymo sistemos). Norint išvengti šios problemos, naudojama „*Ambient Comfort Affect Reward*“ (*ACAR*) automatinė išmaniosios aplinkos kontrolės sistema, t.y. naudojami metodai, kurių dėka randami aplinkos parametrai, automatiškai sureguliuojama sistema, taip leidžiant žmonėms komfortabiliai jaustis toje aplinkoje [1, 6].

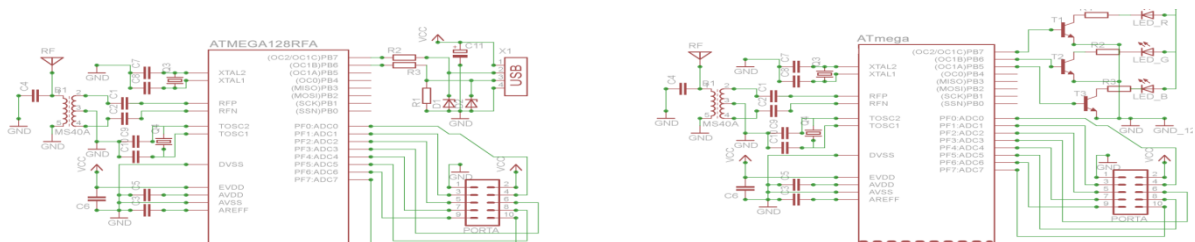


1 pav. Pagrindiniai apšvietimo kokybės faktoriai

4 EMAVLab mikroklimato nuotolinio valdymo įterptiniais agentais sistemos modeliavimas.

Eksperimentinės mikroklimato ir apšvietimo adaptyvaus valdymo laboratorijos (EMAVLab) paslaugų valdymo įterptiniais agentais sistemos modeliavimas vykdytas sukuriant, programuojant ir tiriant 2 – 3 pav. įterptinius agentus

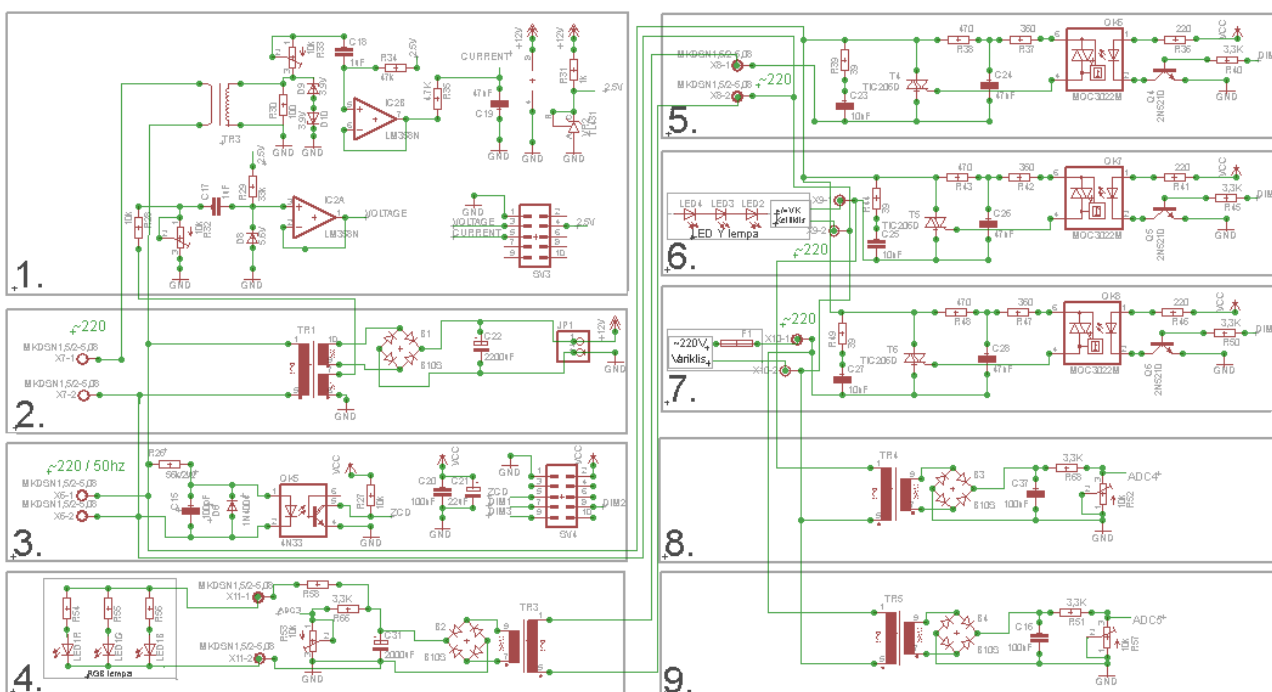
3 pav. pavaizduotoje schemoje turime 9-is blokus. Pirmasis blokas operacinio stiprintuvo LM358N pagalba matuoja srovės ir įtampos momentines vertes. Antrasis blokas skirtas matuojamos įtampos transformavimui, bei kaip 12V maitinimo šaltinis. Trečiojo bloko pagalba nustatomas nulinio kirtimo momentas, šis matavimas skirtas tolesniam simistorių valdymui. Ketvirtasis blokas skirtas RGB LED'ų maitinimui stabilizuota 12V įtampa. Penktas blokas skirtas kintamos įtampos įrenginio valdymui. Šeštasis blokas įgalina 220V LED'inių šviestuvų apšvietimo valdymui. Septintasis blokas skirtas šilumos siurblio valdymui. Aštuntasis ir devintasis blokai atitinkamai yra šešto ir septinto blokų įtampų grįžtamieji ryšiai



Atmega32 mikrovaldiklio atitinkamus bitus.

a) b)

2 pav. ATmega 128RFA bevielio ryšio modulių principinės schemos: a) sluoksniui "Instrumented"; b) sluoksniui "Interconnected"

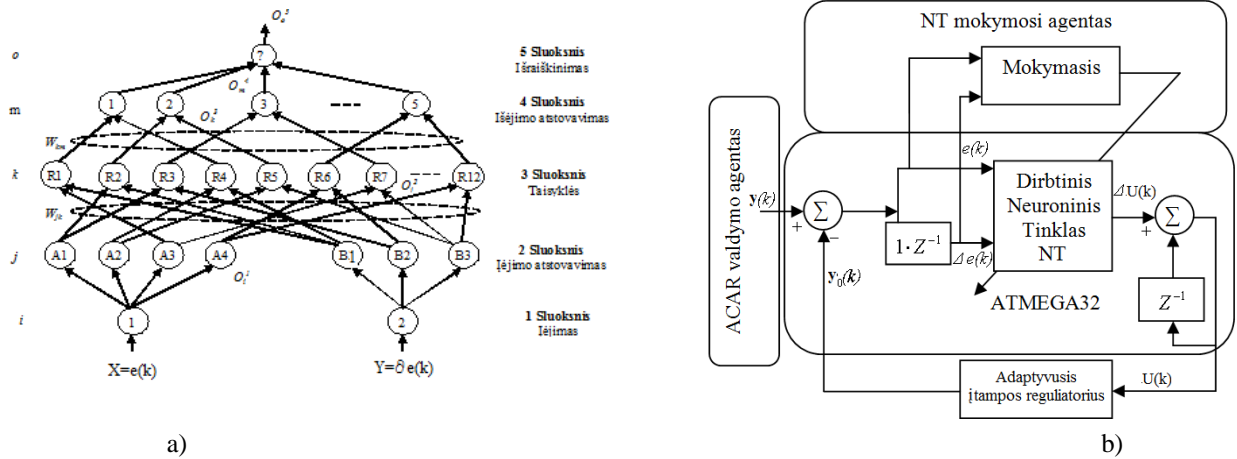


3 pav. Maitinimo bloko ir galios reguliatoriaus principinė schema: 1) Srovės *Current* ir įtampos *Voltage* momentinių verčių matavimo blokas; 2) Matuojamos įtampos transformavimo ir maitinimo blokas; 3) Nulio kirtimo ZCD signalo ir ryšio blokas; 4) Stabilizuotos +12V RGB LED maitinimo blokas; 5), 6) ir 7) Simistorių valdymo impulsų DIM1, DIM2 ir DIM3 generavimo bloka; 8) 220V LED Y šviestuvų įtampos grįžtamojo ryšio blokas; 9) Šilumos siurblio įtampos grįžtamojo ryšio blokas.

Mikroklimato išmanaus valdiklio ryšio su debesies įranga priemonės parodytos 2 pav. Parodyta ATMEGA128RFA1-ZU signalo priėmimo ir perdavimo modulių pagrindu sukurta sistema, naudojanti 802.15.4 ZigBee žemos galios trumpų atstumų ISM standarto 2,4 GHz radijo bangas. Moduliai naudojami techninio aprūpinimo ir tarpusavio ryšio su debesies įranga EMAVLab “Instrumented“ ir “Interconnected“ sluoksniams sukurti.

5 Įterptinio agentinio vykdiklio adaptyvaus valdymo modelis

4 pav. blokinė schema aprašo adaptyvųjį neraiškiosios logikos neuroninių tinklų valdiklį, skirtą daugiagentei mikroklimato sistemai valdyti. Pateikta struktūra sugeba adaptuotis prie netiesinių dinaminė mikroklimato sistemos vykdymo įtaisų, valdymo procesų ir išorinių trikdžių, užtikrina stabiliąją vykdymo įtaisų maitinimo įtampą. Valdymo sistemos jautriai nuskaity skirtingus mikroklimato ir apšvietimo parametrus: patalpos temperatūrą $t(k)$, apšvietumą $E(k)$, drėgnumą $RH(k)$ ventiliuojamo oro greitą $v_a(k)$. Priklausomai nuo mikroklimato, apšvietimo užduoties, nustatytos adaptyviosios valdymo sistemos, vykdymo įtaisai maitinami skirtingos reikšmės reguliuojama įtampa. Priklausomai nuo kontroliuojamo mikroklimato parametro laiko momentu k , skirtingiems sistemoms agentams nustatytas skirtingas darbo režimas, kurį nusako jų maitinimo reguliuojama įtampa. Skirtumas tarp užduotos įtampos reikšmės ir įtampos tikrosios reikšmės išreikštas per paklaidą $e(k)$ ir paklaidos pokytį $\Delta e(k)$.



4 pav. Neraiškiosios logikos neuroninių tinklų valdiklio blokinė schema a) ir struktūra b)

Vykdyto įtaisų maitinimo įtampos reikšmės laiko momentu k gali keistis nuo tam tikros reikšmės $U(k)_{min}$ iki tam tikros reikšmės $U(k)_{max}$. Tada vykdyto įtaiso maitinimo įtampos paklaida laiko momentu k , $e(k)$ bus:

$$e(k) = U_o(k) - U(k), \quad (2)$$

čia $U_o(k)$ – užduota parametro reikšmė; $U(k)$ – tikroji parametro reikšmė.

Vykdyto įtaiso maitinimo įtampos paklaidos pokytis laiko momentu k , $\Delta e(k)$ bus:

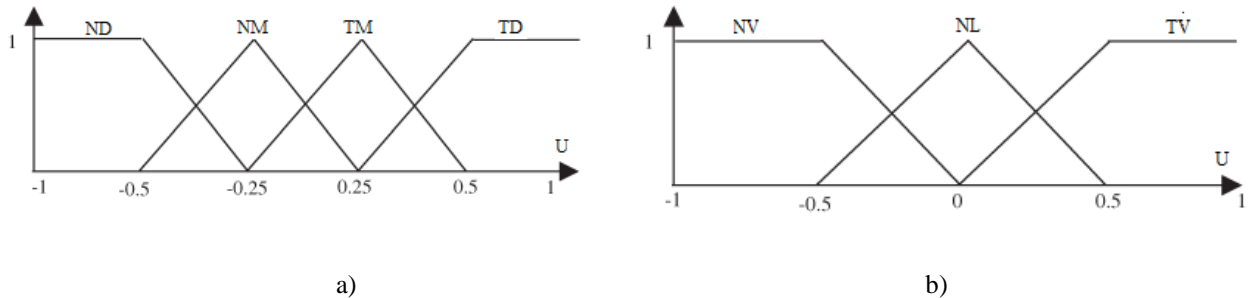
$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1). \quad (3)$$

Adaptyvusis neraiškiosios logikos valdiklis k momentais išskaido kontroliuojamojo vykdyto įtaiso maitinimo įtampos reikšmės $U(k)$ ir įtampos nustatytosios reikšmės $U_o(k)$ skirtumą į paklaidą $e(k)$ ir paklaidos pokytį $\Delta e(k)$. Šiomis vertėmis naudojasi neuroninio tinklo *Mokymosi Agentas* neuroninio tinklo *Dirbtinis Neuroninis tinklas* mokymui. *Dirbtinis Neuroninis tinklas* generuoja kiek turi pasikeisti vykdyto įtaiso valdymo signalas. Šią vertę $U(k)$ realiu laiku generuoja ATmega32 mikrovaldiklis, skaičiuodamas:

$$U(k) = U(k-1) + \Delta U(k), \quad (4)$$

čia $U(k)$ – vykdyto įtaiso maitinimo įtampa k momentu; $U(k-1)$ - vykdyto įtaiso maitinimo įtampa $k - 1$ momentu; $\Delta U(k)$ - vykdyto įtaiso maitinimo įtampos pokytis.

4a pav. pirmas sluoksnis atstovauja įėjimus $X = e(k)$ - maitinimo įtampos paklaidą $e(k)$ ir $Y = \Delta e(k)$ - maitinimo įtampos paklaidos pokytį $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$ į neraiškųjį neuroninį valdiklį. Antrasis sluoksnis susideda iš septynių įėjimo atstovavimo mazgų, sudarytų iš keturių X įėjimą atstovaujančių $A1, A2, A3$ ir $A4$ funkcijų ir trijų Y įėjimą atstovaujančių $B1, B2$ ir $B3$ funkcijų. Kiekvienas antrojo sluoksnio mazgas veikia kaip lingvistinė žymė vienam pirmojo sluoksnio kintamųjų, įvertindamas atstovavimo vertę, parodančią tą laipsnį, kuriuo duotoji įėjimo vertė priklauso šio sluoksnio neraiškiajai aibei. Šiame modelyje yra naudojamos 5a pav. trikampės formos atstovavimo funkcijos. Matuojant įtampos paklaidą $e(k)$ ir paklaidos prieauglį $\Delta e(k)$, 6 pav. parodytų trikampių atstovavimo funkcijų kampų parametrai a_j, b_j ir c_j parenkami taip, kad atstovavimo funkcijos būtų tolygiai išdėstytos kiekvieno įėjimo parametro pasiskirstymo srityje. Mikroklimato parametro reikšmės gali būti paskirstytos tam tikrame intervale, o nukrypimas nuo nustatytos reikšmės $e(k) = y_0(k) - y(k)$ gali būti apibūdintas kaip neigiamas didelis $ND = A1$, neigiamas mažas $NM = A2$, teigiamas mažas $TM = A3$, teigiamas didelis $TD = A4$.



5 pav. Paklaidos $e(k)$ a) ir jos pokyčio $\Delta e(k)$ b) atstovavimo funkcijos

Paklaidos pokytis gali būti išreikštas trejomis atstovavimo funkcijomis: neigiama vidutine $NV = B1$, nuline $N = B2$ ir teigiama vidutine $TV = B3$.

Svariai tarp įėjimo ir atstovavimo sluoksnių yra lygūs vienetai. Neurono $j = 1, 2, 3, 4$ išėjimas $i = 1$ įėjimui ir neurono $j = 1, 2, 3$ antrojo $i = 2$ sluoksnio įėjimui gali būti taip skaičiuojamas: Teigiamam trikampio nuolydžiui, jei $X_i \geq a_j$ ir $X_i \leq b_j$,

$$O_{2j} = (X_i - a_j) / (b_j - a_j), \quad (5)$$

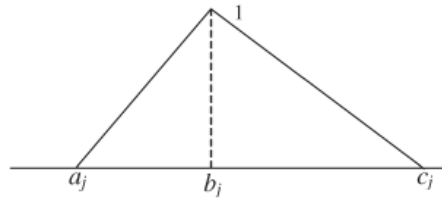
čia X_i yra i -tasis įėjimo į antrojo sluoksnio neuroną kintamasis; b_j ir c_j yra 2-jo sluoksnio j -tosios trikampės atstovavimo funkcijos kampų koordinatės.

Kitaip, esant neigiamam nuolydžiui, jeigu $X_i \geq b_j$ ir $X_i \leq c_j$:

$$O_{2j} = (X_i - c_j) / (b_j - c_j), \quad (6)$$

čia c_j yra 2-jo sluoksnio j -tosios trikampės atstovavimo funkcijos kampų koordinatės.

Kiekvienas 4a pav. trečiojo taisyklių sluoksnio mazgas sudaugina įeinančius signalus ir išveda jų sandaugos rezultatą, kaip neraiškiojo valdymo taisyklę. Kiekvienas trečiojo sluoksnio mazgas priima vieną įėjimą iš $A1-A4$ antrojo sluoksnio mazgų ir kitą įėjimą – iš $B1-B3$ antrojo sluoksnio mazgų. $A1-A4$ mazgai išreiškia maitinimo įtampos paklaidos atstovavimo reikšmes, o $B1-B3$ mazgai išreiškia maitinimo įtampos paklaidos prieauglio atstovavimo reikšmes.



6 pav. Trikampė atstovavimo funkcija

Tuo būdu, trečiajame taisyklių sluoksnyje yra sukurta 12 mazgų neraiškiųjų taisyklių žinių bazė dviem įėjimo kintamiesiems, keturiais lingvistiniais kintamaisiais atstovaujamiems įtampos paklaidos $e(k)$ reikšmes ir trimis lingvistiniais kintamaisiais atstovaujamiems įtampos pokyčio $\Delta e(k)$ reikšmes. Kiekvienas trečiojo sluoksnio mazgo k išėjimas, išreiškiantis k -tosios iš 12 taisyklių įvykdymo galią - antecedentą, yra skaičiuojamas kaip:

$$O_{3k} = W_{3jk} * y_{3j} \quad (7)$$

čia y_{3j} atstovauja j -ąjį įėjimą į 3-jį sluoksnį, o svoris $W_{3jk} = 1$. Išėjimo atstovavimo sluoksnio neuronai sukuria neraiškiasias aibes, kurios yra naudojamos kaip neraiškiųjų taisyklių konsekventai. Kiekvienas išėjimo atstovavimo neuronas priima po du įėjimus - vieną iš paklaidos $e(k)$ grupės, o kitą – iš paklaidos prieauglio $\Delta e(k)$ grupės ir sujungia juos neraiškiają sąjungos operacija pagal maksimumo funkciją. Ketvirtasis sluoksnis veikia pasinaudodamas trečiojo sluoksnio išėjimais O_{3k} , padauginais iš jungiančiųjų svorių W_{km} . Jo išėjimai:

$$O_{4m} = \max(O_{3k} * W_{km}), \quad (8)$$

čia skaičius k priklauso nuo jungčių iš 3 sluoksnio į atitinkamą m -ąjį 4 sluoksnio išėjimą; W_{km} jungties svoris yra m -tojo išėjimo, susietojo su k -tąja taisykle, poveikio laipsnis. Šis sluoksnis įtakoja į sistemos stabilumą ir valdymo kokybę. 5 sluoksnis yra išėjimo sluoksnis, veikiantis kaip išraiškintojas (angl. *defuzzifier*). Vienintelis penktojo sluoksnio mazgas surenka išėjimo neraiškiasias aibes pagal jų integruotas galias iš 4-tojo sluoksnio ir jas sujungia į vieną neraiškiają aibę. Neuroninės neraiškiosios sistemos išėjimas yra tikrasis dydis (angl. *crisp*), todėl pertvarkytoji neraiškioji (angl. *fuzzy*) išėjimo aibė turi būti išraiškinta (angl. *defuzzified*). Tam buvo panaudotas sumos-sandaugos kompozicijos metodas, skaičiuojantis išraiškintąjį išėjimą kaip vėžio formos darinių (angl. *cancroids*) pasvertąjį vidurkį nuo visų išėjimo atstovavimo funkcijų:

$$O_{50} = \text{Sum}(O_{4m} * a_{cm} * b_{cm}) / \text{Sum}(O_{4m} * b_{cm}), \quad (9)$$

čia a_{cm} ir b_{cm} visiems $m = 1, \dots, 5$ yra atitinkamai išėjimo neraiškiųjų aibių centrai ir pločiai.

Dydžių b_{cm} vertės yra lygios vienetui. Toks normuotasis išėjimas atitinka valdymo signalo poveikio procentinį ciklą, per kurį ATmega32 mikrovaldiklis turi generuoti vykdomo įtaisų darbo režimus maitinimo įtampos pastoviai vertei

pa laikyti. Jungčių tarp trečio ir ketvirto sluoksnio svoriai W_{km} buvo ištrenuoti panaudojant atbulinės sklaidos neuroninį tinklą. Neuroninio tinklo svoriai buvo treniruojami atskirai nuo valdymo proceso, pasinaudojant R -programine aplinka pagal tokį algoritimą:

1 žingsnis: ATmega32 mikrovaldikliui paskaičiuoti valdymo signalo poveikio procentinio ciklo paklaidą $E_o = T_o - O_5$, čia E_o , T_o , ir O_5 atitinkamai yra išėjimo paklaida, tikslo valdymo signalas ir tikrasis valdymo signalas;

2 žingsnis: Paskaičiuoti paklaidos gradientą $\delta_m = (T_o - O_{5o}) * (\text{Sum}(O_{4j}(a_{cm} - a_{cj}) \text{ visiems } j = 1 \text{ iki } m-1, (j <> m) / \text{Sum}(O_{4j} \text{ visiems } j = 1 \text{ iki } m) * 2$, čia a_{cm} ir b_{cm} visiems $m = 1, \dots, 5$ yra atitinkamai išėjimo neraiškiųjų aibių centrai ir pločiai;

3 žingsnis: Paskaičiuoti svorio korekciją $\Delta_{wkm} = \eta \delta_m O_{3k}$ mokymo spartos padidinimui, pasinaudojant Sejnowski – Rosenberg atnaujinimo algoritmu, įvertinančiu praeities svorių efektą ir judėjimą duotąjį kryptį svorių erdvėje, skaičiuojant $\Delta_{wkm}(t) = \eta(1 - \alpha)\delta_m O_{3m} + \alpha\Delta_{wkm}(t - 1)$, čia α yra glodinimo koeficientas, kintantis nuo 0 iki 1, o η yra mokymosi sparta;

4 žingsnis: Atnaujinti svorius $w_{km}(t + 1) = w_{km}(t) + \Delta_{wkm}(t)$, čia t yra iteracijos numeris. Svoriai, siejantieji taisyklių sluoksnį ir išėjimo atstovavimo sluoksnį, yra treniruojami sistemos dinamikos stabilizavimui ir pulsacijų apie darbo tašką minimizavimui.

6 Išvados

Šiame straipsnyje pasiūlytos tokios eksperimentinės mikroklimato adaptyvaus valdymo laboratorijos (EMAVLab) modeliavimo priemonės: 1) EMAVLab išmaniosios mikroklimato valdymo sistemos modelio sukūrimui pritaikytinas „protingosios aplinkos“ (angl., „*the smart environment*“) modelis, kuris paremtas adaptyviuoju aplinkos parametrų valdymu, gerinančiu toje aplinkoje esančių žmonių komfortą, o pastarasis galėtų būti patikrintas periodiškai matuojant žmogaus fiziologinius parametrus; 2) Optimalioms aplinkos charakteristikoms gauti pritaikytinas paskata besiremiantis mokymas (angl. *reinforcement learning*), panaudojant žmogaus komfortą apibudinančią *Aplinkos Komforto Afekto Paskatinimo (AKAP)* (angl., *Ambient Comfort Affect Reward (ACAR)*) funkciją; 3) Eksperimentinės mikroklimato ir apšvietimo adaptyvaus valdymo laboratorijos paslaugų valdymui pasiūlyti laboratoriniai įterptiniai agentai – skaitmeniniai apšvietimo ir variklių maitinimo įtampos automatiniai reguliatoriai, leidžiantieji keisti aplinkos parametrus toje aplinkoje esančio žmogaus komfortui užtikrinti; 4) Pasiūlytos mikroklimato išmanaus valdiklio ryšio su debesies įranga priemonės, besiremiančios ATMEGA128RFA1-ZU signalo priėmimo ir perdavimo modulio pagrindu sukurtomis sistemomis, naudojančiomis 802.15.4 ZigBee žemos galios trumpų atstumų ISM standarto 2,4 GHz radijo bangas, įgyvendinančios galimybes techninio aprūpinimo ir tarpusavio ryšio su debesies įranga EMAVLab IBM vizijoje numatytiems „*Instrumented*“ ir „*Interconnected*“ sluoksniams sukurti; 5) Adaptyvusis neraiškiosios logikos neuroninių tinklų valdiklis pritaikytas daugiagentei mikroklimato sistemai valdyti, adaptuotis prie netiesinių dinaminų mikroklimato sistemos valdymo procesų ir išorinių trikdžių, užtikrinant stabiliąją vykdymo įtaisų maitinimo įtampą pagal patalpos temperatūrą $t(k)$, apšviestumą $E(k)$, drėgnumą $RH(k)$ ventiliuojamo oro greitį $v_a(k)$ ir duotąjį *Aplinkos Komforto Afekto Paskatinimo (AKAP)* indeksą.

Literatūra

1. A. Andziulis, A.A. Bielskis, V. Denisovas, O. Ramašauskas, J. Bielskienė, P. Bielskis, E. Guseinovicė. 2009. An Approach of Creating of an Intelligent Mobile Tutoring Eco-social Laboratory for Assisted Recreation. *Electronics and Electrical Engineering*, Nr. 3(91) pp. 61-66.

2. A.A Bielskis, P. Grecevičius, O. Ramašauskas. 2009. Development of an intelligent eco-social environment for assisted living . *Vadyba*, Nr.1 (14), pp.89-98.
3. A.A. Bielskis, D. Dzemydienė, V. Denisov, A. Andziulis, D. Drungilas. 2009. An approach of multi-agent control of bio-robots using intelligent recognition diagnosis of persons with moving disabilities. *Technological and economic development of economy*. Vol. 15, p. 377-394.
4. A. A. Bielskis, V. Denisovas, D.Drungilas, G.Gricius, O. Ramašauskas. 2008 Modeliing of Intelligent Multi-Agent based E-health Care System for People with Movement Disabilities, *Elektronika ir elektrotechnika*, Nr.6 (86), pp. 37-42.
5. Dalamagkidis K., Kolokotsab D., Kalaitzakisc K., Stavrakakis G.S. 2007. Reinforcement learning for energy conservation and comfort in buildings. *Building and Environment* 42, - pp. 2686–2698.
6. D.Drungilas, G. Gricius, A.Grinkov, A.A. Bielskis. 2012. Modeling of Embedded Agents for Control of Human and Nature Friendly Heating/Cooling Automation Systems, *Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje*, VIII.
7. Kuller R. , Ballal S. , Laike T. 2006. The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environment, *Journal of Ergonomics*, Vol.49(14), pp. 245.
8. Rubaai A., Ofoli A. R., Burge L., Garuba M. 2005. Hardware Implementation of an Adaptive Network-Based Fuzzy Controller for DC–DC Converters. *IEEE Tansactions on Industry Applications*, Vol. 41, No. 6, pp. 1557-1565.
9. Veitch, J.A. 2006. Lighting for high-quality workplaces, *Creating the Productive Workplace*, 2nd ed, pp. 206-222.
10. Xiaohui Qu, Siu Chung Wong and Chi K. Tse. 2007. Color Control System for RGB LED Light Sources Using Junction Temperature Measurement. Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 33, pp. 314-325.