

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS
JŪRŲ TECHNIKOS FAKULTETAS
ELEKTROTECHNIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėja

Docentė - Doktorė Eleonora Guseinovienė

PRAMONĖS ELEKTROS ĮRANGOS IR AUTOMATIKOS MAGISTRANTO
STUDIJŲ PROGRAMOS M10NUT0644 (NR)
MAGISTRO TEZĖS

IŠMANIOSIOS LABORATORIJOS APŠVIETIMO
SISTEMOS TYRIMAS

Recenzantai:

Doc. dr. E. Guseinovienė

Doc. dr. A. Brazaitis

Vadovas:

Prof. habil.dr. Antanas Andrius Bielskis

Rengė:

TMPE-10 gr. stud. Redas Petkus

KLAIPĖDA, 2012

IŠMANIOSIOS LABORATORIJOS APŠVIETIMO SISTEMOS TYRIMAS

Šiame darbe apžvelgiama išmaniųjų apšvietimo ir mikroklimato valdymo sistemų principai. Apžvelgiama esama padėtis išmaniųjų apšvietimo sistemų srityje. Pasirenkamos atitinkamos priemonės, žmogaus būsenoms matuoti, pagal juos kuriami metodai, kuri būtini kuriant išmaniojo apšvietimo ir mikroklimato valdymą. Vadovaujantis šiais metodais sukuriamas modelis išmaniojo apšvietimo modeliavimui. Pažvelgiama iš teorinės pusės į LED terminius ryšius su elektriniais. Supažindinama su išmaniuoju galios keitikliu ir suvartojamos energijos programa.

Išmaniojo laboratorijos apšvietimo sistemos modelį sudaro programuojamas mikrovaldiklis ATmega32, kurio pagalba galima valdyti apšvietimą panaudojant RGBY LED lempą, valdyti šviesumą ir šviesos spektrą, naudojant impulso pločio moduliaciją valdyti apšvietimo ryškumą ir tokiu būdu reguliuoti mikroklimatą. Mikrovaldiklio ir programos „Atmega oscilografas“ pagalba apskaičiuoti iš tinklo suvartojamą energiją ir ją efektyviai naudoti, sumažinant reaktyviuosius nuostolius.

Research of laboratorys smart lighting system

This paper provides an overview of smart lighting and climate control systems principles. Summarizing the current status of smart lighting systems. Selecting appropriate tools for measurement of human state, which creates the methods and algorithms for the development of smart lighting and climate control. According to these methods is created a model of smart lighting simulation. Looks from the theoretical side of the LED thermal contact with the electric. Introducing the smart power converter and energy consumption program.

Smart lighting systems laboratory model consists of a programmable microcontroller ATMEGA32, which can control lighting using RGBY LED lamp, control the brightness and the light spectrum, the brightness of the lighting by diming manages to regulate climate. Microcontroller is used to calculate the energy received from the network and its efficiency by reducing reactive losses.

Turinys

Įvadas	5
Literatūros apžvalga ir analizė	6
IŠMANIOSIOS LABORATORIJOS APŠVIETIMO SISTEMŲ VALDYMO PRINCIPŲ ANALIZĖ 9	
Išmaniosios laboratorijos apšvietimo valdymo principas	9
Apšvietimas ir fiziologiniai procesai	9
Autonominis paslaugų kokybės vertinimas	12
Parametrų interpretavimas	15
Interpretavimo metodai	16
Interpretavimas naudojant neraiškiają logiką Matlab aplinkoje	16
Interpretavimas naudojant neuroninius tinklus	17
IŠMANIOSIOS LABORATORIJOS APŠVIETIMO SISTEMŲ MODELIO SUDARYMAS	19
Matavimo sąsajos su mikrovaldikliu	19
Srovės matavimo sąsaja	19
Įtampos matavimo sąsaja	21
Galios reguliavimas	22
Mikrovaldiklio programavimas ir sistemos veikimas	23
Išmanusis galios keitiklis ir reguliatorius	25
RC grandinės analogiškas terminis modelis	27
Realaus modelio kūrimas	32
IŠVADOS	43
Literatūra	44
1 Priedas	47
2 Priedas	51
3 Priedas	58

Ivadas

Tinkamas darbo vietos apšvietimas yra būtinas, nesvarbu, ar tai būtų biurai, dirbtuvės, ar gamyklų cechai. Tinkamas apšvietimas užtikrina žmogaus darbingumą, kuris priklauso ne tik nuo šviesos ryškumo, bet ir nuo apšvietimo kokybės. Vienas iš svarbiausių faktorių, pritaikant darbo vietoje tinkamą apšvietimą, laikomas žmogaus amžius. Kuo vyresnis žmogus, tuo griežtesni reikalavimai keliama jo darbo vietos apšvietimui.

Dažnai bendro nuovargio ar galvos skausmo priežastimi tampa arba nepakankamas apšvietimas, arba per ryški šviesa. Daliai žmonių galvą gali pradėti skaudėti dėl šviesos šaltinio pulsavimo, t. y. dėl netolygios šviesos. Tačiau visus minėtus nepatogumus galima sumažinti parinkus tinkamą apšvietimą.

Taip pat svarbus ir elektros energijos suvartojimo klausimas. Elektros energijos suvartojimas neatsiejamas nuo reaktyviosios galios, nuo kurios priklauso nuostoliai tinkle. Reaktyvioji galia neigiamai veikia visą elektros energijos perdavimo tinklą. Tad reaktyviosios galios dydis tinkle turėtų būti reguliuojamas. Efektyviam pilnosios galios valdymui reikalingi tikslūs matavimai realiu laiku, tam atlikti galima panaudoti skaitmeninius mikroprocesorinius matavimo prietaisus, taip nustatant tikslus tinklo parametrus. Tad neveltui didėja susidomėjimas išmaniosiomis sistemomis, kurios sumažina energijos sunaudojimą, bei pritaiko aplinką prie žmogaus poreikių, pagerindamos žmogaus savijautą ir gyvenimo kokybę.

Šiame darbe analizuojama galios matavimo galimybė panaudojant ATmega32 mikrovaldiklį, kuris yra programuojamas ir su kurio pagalba yra įgyvendinamas apšvietimo sistemos adaptyvusis valdymas bei aptariamoms mikrovaldiklio pritaikymo galimybės kuriant išmaniąją laboratoriją, kuri taupytų energiją ir atsižvelgtų į žmonių emocines būsenas. Tad šio darbo tikslas - ištirti išmaniojo apšvietimo valdymo modelį.

Uždaviniai:

1. Atlikti išmaniųjų apšvietimo sistemų literatūros apžvalgą.
2. Parinkti metodus kuriant išmaniąją apšvietimo sistemą.
3. Sudaryto modelio pagalba ištirti šiluminius mainus terminėje grandinėje.
4. Išbandyti RGBY LED lempą nominaliomis darbo sąlygomis.
5. Aptarti gautus rezultatus.

Literatūros apžvalga ir analizė

Rengiant šį baigiamąjį magistro darbą, buvo apžvelgta skirtingų šalių specialistų publikuota medžiaga šviesos diodų (LED) apšvietimo, jo valdymo ir sąveikos su žmogaus būseną temomis. Šviesos diodų (LED) apšvietimas šiuolaikinėje technikoje nėra naujiena, tai greitai plintanti technologija netik naujų ir ekonomiškų apšvietimo sistemų kūrimo, bet ir pavyzdžiui signalų apdorojimo srityje. Šiuo metu LED apšvietimo tema yra gan aktuali, tad informacijos galima rasti ir mokslinės pakraipos internetinėse svetainėse, kur straipsnių šia tema galima rasti ir informacija yra žymiai naujesnė.

Shang Ping Ying, Chun-Wen Tang ir Bin-Juine Huang straipsnyje „Characterizing LEDs for Mixture of Colored LED light sources“ aprašoma raudonos, žalios, mėlynos spalvų (RGB) šviesos diodų panaudojimo apšvietime galimybė vietoje paprastų baltą šviesą skleidžiančių šviesos diodų. Jie modeliavo kaip realaus šviesos diodo skleidžiama šviesa, jos srautas ir spalvų perteikimo indeksas priklauso nuo aplinkos temperatūros, tiesioginės srovės ir elemento senėjimo. Jų gauti duomenys padeda konkrečiau išsirinkti reikiamus elementus, kurie reikalingi toliau vystant RGB šviesos diodų technologiją. [12]

Straipsnyje **„SIMULATION OF WHITE LIGHT BASED ON MIXED RGB LEDs“**, kurios autoriai yra **Xin He, Guanying Cao, Nianyu Zou**, apskaičiuojami ir analizuojami baltos šviesos, sudarytos iš raudonos, žalios, mėlynos spalvų (RGB) spalviniai parametrai. Jų bandymai parodė, jog toks baltos šviesos sudarymas priklauso nuo raudonos, žalios, mėlynos spalvų proporcijų ir jų pozicijų vienas kito atžvilgiu. [19]

Kitame straipsnyje **„Demonstration of Visible Light Communications Using RGB LEDs in an Indoor Environment“**, kurį parašė **Natasha Shrestha, Muhammad Sohail, Charusluk Viphavakit, Poompat Saengudomlert ir Waleed S. Mohammed** buvo sukurtas prototipas, kuris pademonstravo patalpoje veikiantį bevielį regimos šviesos ryšį tarp raudonos, žalios, mėlynos spalvų (RGB) šviesos diodų kaip siųstuvo (tuo pačiu kaip apšvietimo elemento) ir signalo priėmimo įtaiso,

esančio tam tikru atstumu. Buvo išmatuotas patalpos šviesos srautas skirtinguose taškuose. Keičiant tik raudoną spalvą, gauti rezultatai, jog tokiu būdu siunčiamos informacijos greitis yra 19.2 kbps, esant imtuvui tiesiai po siųstuvu 2m atstumu. [13]

Sekančiame straipsnyje „**Choice of Power and Control Hardware for Smart LED Luminary**“, kurio autoriai yra **A. Suzdalenko ir I. Galkin**, analizuojama apšvietimo sistemos energijos suvartojimas, panaudojant išmanųjį apšvietimą, t.y. apšvietimas įsijungia ten kur jo reikia konkrečiu metu su tinkamu šviesos intensyvumu. Tai efektyvu jei naudojami šviesos diodai ir naudojamas ne pilnas darbo režimas, o impulso pločio moduliacija jų valdymui. [16]

Autorių **Xiaohui Qu, Siu Chung Wong ir Chi K. Tse** straipsnyje „**Color Control System for RGB LED Light Sources Using Junction Temperature Measurement**“ aprašomas stabilus įvairių spalvų gavimas naudojant temperatūros kompensacijos metodą, kuris yra paremtas eksperimentiniais duomenimis. [17]

Šiame straipsnyje „**Design and Control of a RGB LED System**“, autoriai **Chun-Wen Tang, Fu-Cheng Wang, Bin-Juine Huang**, aprašoma RGB šviesos diodų valdymo struktūra. Buvo sudaryta daugianarė RGB šviesos diodų sistema, rastos grandžių perdavimo funkcijos ir sukurtas valdiklis. Jų gauti rezultatai parodė, jog jų siūlyta valdymo struktūra yra efektyvi. [15]

Straipsnyje „**Implementation of a Colorful RGB-LED Light Source with an 8-bit Microcontroller**“ autorius **Yueh-Ru Yang** aprašo realų mikrovaldiklį, gebantį impulso pločio moduliacijos dėka valdyti RGB šviesos diodų tiesiogines sroves, ko pasekoje gaunamas norimas apšvietimas (ryškumas ir norimi atspalviai), taip sukuriant erdvėje atitinkamą nuotaiką. [8]

Autorių **L. H. Koh, Y. K. Tan, Z.Z. Wang, K.J. Tseng** straipsnyje „**An Energy-Efficient Low Voltage DC Grid Powered Smart LED Lighting System**“ aprašoma sukurta žemos nuolatinės įtampos apšvietimo sistema. Jos pagrindiniai komponentai buvo šviesos diodų lempos, valdiklis ir bevieliai jutikliai, kurie matavo darbo vietų stalų paviršiaus apšviestumo lygį, siuntė duomenis atgal į valdiklį tam kad reguliuoti apšviestumą. Jų duomenimis žemos įtampos nuolatinės srovės šviesos

diodų šviestuvai yra žymiai pranašesni už kintamos įtampos tradicinius šviestuvus, be to tokia sistema leidžia net 44.23% tolygiau paskirstyti energijos suvartojimą.[9]

Šio „**Smart Lighting Using LED Luminaries**“ straipsnio autorių **Sachin Bhardwaj, Tanir Ozcelebi, Johan Lukkien** pasiūlytas apšvietimo modelis leidžia dinamiškai keisti šviesos diodų lempų skleidžiamą ryškumą pagal zonas. Šių zonų parametrus nustato pats žmogus, o valdiklis automatiškai palaiko šių zonų apšvietimą žmogui judant iš vienos zonos į kitą.[4]

Autorių **Xiaohui Qu, Siu-Chung Wong, Chi K. Tse** straipsnyje „**Temperature Measurement Technique for Stabilizing the Light Output of RGB LED Lamps**“ pasiūlytas šviesos diodo spalvos reguliavimo ir palaikymo modelis. Vartotojui paprasčiausiai įvedus RGB reikšmes valdiklis, impulso pločio moduliacijos dėka, automatiškai palaiko pastovų spalvos ryškumą, tam nenaudojant kitų išorinių prietaisų, pvz. jutiklių. [16]

Straipsnyje „**Determining Color and Blinking to Support Facial Expression of a Robot for Conveying Emotional Intensity**“, autoriai **Min-gyu Kim, Hui Sung Lee, Jeong Woo Park, Su Hun Jo, ir Myung Jin Chung** nustatė, jog skleidžiama spalva ir mirgėjimo periodas gali padidinti emocinę apraiškų tikimybę keturioms būsenoms (nustebęs, laimingas, pasibjaurėjęs ir piktas). Būsenoms „išsigandęs“ ir „liūdnas“ spalva ir mirgėjimas emocinio intensyvumo nesukėlė.[10]

Straipsnyje „**MODULAR DIMMABLE LIGHT-EMITTING-DIODE DRIVER FOR GENERAL ILLUMINATION APPLICATIONS**“, kurio autorius **T.W. Ching**, siūlomas dar vienas šviesos diodų (LED) valdymo pavyzdys. Impulso plotį moduliuoja mikrovaldiklis, taip valdomi didelio ryškumo (high brightness) šviesos diodai energetiniu požiūriu būtų puiki pamaina liuminescencinėms lempoms.[6]

Apibendrinant galima sakyti, kad šviesos diodų (LED) kūrimo ir tobulinimo srityje padaryta tikrai daug. Yra daug šviesos valdymo metodų, tarp kurių populiariausias yra impulso pločio moduliacija. Sukurta daug realiai veikiančių ir automatiškai savireguliuojančių sistemų, taip išlaikant tolygią skleidžiamą spalvą, ryškumo lygį. Tačiau labai nedaug bandymų yra atlikta kokią įtaką daro kintamas apšvietimas ir jo ryškumas žmogaus fiziologinei būsenai, kaip tai atsiliepia jo nuotaikų kaitai. Didelės reikšmės tolesniam šios šakos vystymui taip pat turi ir tokių naujai kuriamų sistemų energijos suvartojimo parametrai.

IŠMANIOSIOS LABORATORIJOS APŠVIETIMO SISTEMŲ VALDYMO PRINCIPŲ ANALIZĖ

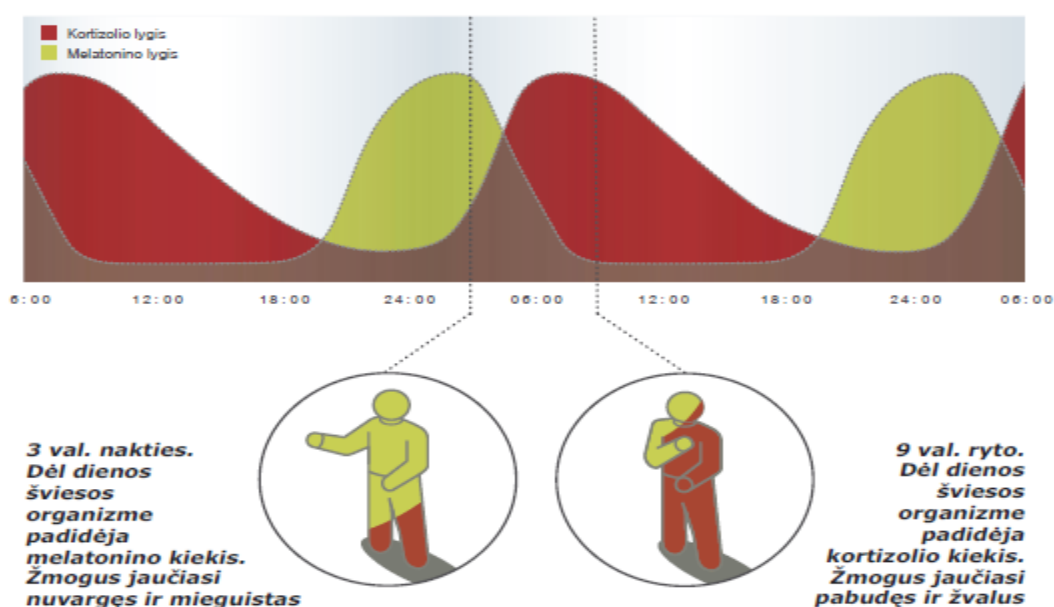
Išmaniosios laboratorijos apšvietimo valdymo principas

Išmaniojoje laboratorijoje galima adaptyviai valdyti šviesos diodų (LED) apšvietimo intensyvumą ir spalvą, taip pat atlikti toje patalpoje dirbančių žmonių kintančius parametrų matavimus tokius kaip: pirštų temperatūra (FT), odos elektrinis aktyvumas (EDA), širdies ritmas (HR), panaudojant išmanųjį galios keitiklį (IGK). [1] Toks modelis sudarytas iš dviejų dalių: viena dalis – fiksuoja bei saugo žmonių esančių laboratorijoje fiziologinius duomenis, juos analizuoja ir nustato žmonių emocinę būseną ar savijautą; antroji – automatiškai sureguliuoja LED apšvietimą pagal realiu laiku išmatuotą emocinę būseną taip, kad žmogaus būseną atliekant tolesnius matavimus pasikeistų. Darbo vietos gerinimas tiesiogiai veikia žmogaus darbo kokybę – darbas tampa produktyvesnis ir ne toks varginantis. Be to, apšvietimas tiesiogiai susijęs su interjero estetika. Todėl šiandien didelis dėmesys skiriamas biurų bei gamybinių patalpų interjerui planuoti, kur apšvietimui tenka toli gražu ne paskutinis vaidmuo.

Apšvietimas ir fiziologiniai procesai

Žmogus reaguoja į šviesą, akių pagalba yra siunčiami signalai žmogaus biologiniam laikrodžiui, kuris savo ruožtu reguliuoja daugelio žmogaus organizme vykstančių procesų dieninius bei sezoninius ritmus. Svarbūs ritmai – miego ir kėlimosi, nuotaikos bei darbingumo ciklai. Hormonai kortizolis bei melatoninas ypač svarbūs valdant miegą bei žvalumą. Kortizolio padaugėja ryte – taip kūnas bei smegenys paruošiami dienos aktyvumui. Tuo pat metu melatonino kiekis krenta mažindamas mieguistumą. Iš šio paprasto pavyzdžio matome, kad abu šie ritmai itin svarbūs žmogaus organizmui [23]. Nuo jų tiesiogiai priklauso žmonių savijauta darbo metu. Šviesos poveikis žmogaus organizmui turi didelės įtakos. Iš dalies tai susiję su psichologine prigimtimi, nors tai pagrįsta ir fiziologiškai. Apšvietimo lygis veikia centrinę nervų sistemą bei turi įtakos įvairiausioms organizmo funkcijoms. Be to, šviesa tiesiogiai veikia ir mūsų širdies ritmą bei insulino kiekį kraujyje. Yerkeso ir Dotsono dėsnis (1908 m.), dar žinomas kaip “sužadavimo teorija” [22], teigia, kad ryšys tarp sužadavimo (sensorinio

stimuliavimo) bei žmogaus veiklos kinta pagal apverstos „U“ formos kreivę. Didesnis sužadinimas lemia didesnį produktyvumą iš karto, kai sužadinimas paveikia žmogaus organizmą. Šviesa šiuo atveju naudojama kaip švelnus sužadinimo šaltinis, turintis įtakos žmogaus veiklai ir vėliau ją reguliuojantis. Kuriant išmanųjį apšvietimą, buvo remtasi sužadinimo teorija ir atsižvelgta į atvirkštinį apšvietimo poveikį. Pavyzdžiui, kai darbo vietoje yra didelis triukšmas, išmanusis apšvietimas gali būti naudojamas kaip raminamasis faktorius. Nustatyta, kad dauguma žmonių norėtų kontroliuoti savo darbo vietos apšvietimą, o keičiamas apšvietimas gali tapti paprasčiausiu būdu, norint pakeisti darbo aplinką. Žmonių nuotaiką teigiamai veikia ne tik patys šviesos pokyčiai, bet ir žinojimas, kad gali tai daryti. Apšvietimas dieną gali keistis taip švelniai, jog žmonės to net nepastebi, tačiau poveikis savijautai – akivaizdus. [24]



1 pav. Žmogaus nuotaikos skirtingu paros laiku

Taip pat įtaką daro ir metų sezoniškumas. Žiemą šviesos kiekis, ypač uždaroje patalpoje, yra apribotas. Dėl to žmonės neretai kenčia nuo sezoninės depresijos. Šviesa gali puikiai padėti įveikti šią ligą. Ryški šviesa užtikrina energingumą ir mažina stresą. Tačiau tai galima taikyti tik atsižvelgiant į kiekvieno žmogaus individualius poreikius.

Dar vienas svarbus išmaniojo apšvietimo privalumas – jis leidžia kurti lanksčias darbo vietas, t.y. skirtingi uždaviniai gali būti sprendžiami toje pačioje erdvėje, o apšvietimas adaptuojamas kiekvienai specifinei užduočiai. Taigi toje pačioje patalpoje gali būti kuriama skirtinga, nuo veiklos priklausanti nuotaika. Taip patalpą galima pritaikyti įvairiems poreikiams: nuo intensyviai darbui ar bendravimui skirtos erdvės iki poilsio ir atsipalaidavimo aplinkos.

Taip pat išmanusis apšvietimas gali būti naudojamas norint architektūrinei aplinkai suteikti visiškai kitą vaizdą. Pakeitus apšvietimo tipą, neatpažįstamai keičiasi ir interjero detalės. Nesvarbu kokia tai medžiaga, dėl apšvietimo jos įgauna ne tik kitokią spalvą ar atspalvį, bet ir faktūrą.



2 pav. Kintančios šviesos įtaka medžiagoms

Galimi du išmaniojo darbo vietos apšvietimo būdai:

- vadinamasis **asmeninis apšvietimas** – kai žmogus dirba atskiroje patalpoje. Jam suteikiama galimybė valdyti apšvietimą pagal individualius poreikius: nuo šilto iki visiškai šalto, nuo ryškaus iki visiškai blankaus apšvietimo;
- kai žmonės dirba bendroje patalpoje, didesnėje erdvėje galima naudoti vadinamąjį **dinaminės aplinkos apšvietimą**, kuris keičiasi visoje patalpoje pagal žmogaus emocinę būseną. Tokio apšvietimo parametrai gali būti užprogramuoti kompiuteryje ar valdymo sistemos programinėje įrangoje. Tačiau dėl kombinuoto apšvietimo, kuris leidžia atsižvelgti į individualius asmens poreikius, darbuotojai savo erdvės dalies apšvietimą gali reguliuoti patys.

Apšvietimas privalo atitikti šiuos reikalavimus: pakankamo šviesos kiekio, tolygios darbo vietos apšvietos, apšvietimo kontrasto balanso, tinkamo šviesos atspalvio, pulsacijų nebuvimo. Atsižvelgus į šiuos reikalavimus, padidėja žmonių komforto pojūtis bei motyvacija dirbti, o svarbiausia – didėja bendras darbo našumas.

Beje kaip nustatyta Lietuvos respublikos sveikatos apsaugos ministro įsakyme Dėl Lietuvos higienos normos HN 98 : 2000 "Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai": Darbo vietos apšvietimas yra vidutinis apšvietimas darbo zonoje dirbtine apšvietimo sistema. Darbo vietos apšvietimas matuojamas horizontaliame darbo paviršiuje, 0,85 m aukštyje virš grindų, jei dėl darbo sąlygų nereikia kitaip. Darbo vietos apšvieta neturi būti mažesnė kaip 0,8 nurodytos 1 lentelėje apšvietos ribinės vertės. Jokiu atveju darbo vietos apšvieta neturi būti mažesnė kaip 0,6 nurodytos 1 lentelėje ribinės vertės. Priešingu atveju darbas turėtų būti nutrauktas. [21]

1 lentelė. Rekomenduojamos apšvietos vertės ir apšvietos kokybės klasės:

Patalpos, darbo ar veiklos tipas	Apšvietos kokybės	Apšvietos ribinės vertės, lx
Laboratorijos	A - B	300 - 500 - 750

Taigi paprastos laboratorijos apšvietumas turėtų būti tarp 300 – 750lx.

Autonominis paslaugų kokybės vertinimas

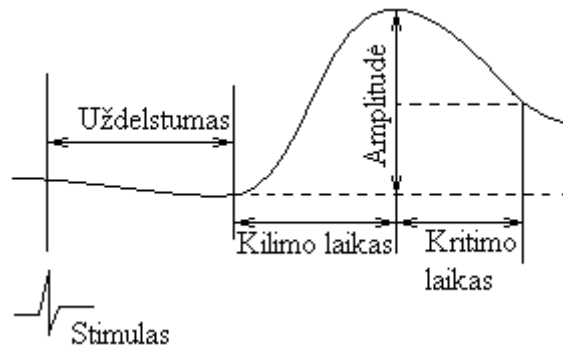
Autonominis paslaugų kokybės vertinimas – tai vientisa žmogaus ir prietaisų, gerinančių jo aplinką, sistema. Dažniausiai šioje sistemoje grįžtamasis ryšys yra iš žmogaus, kurio pagalba sistema gali gauti vykdymo prietaisų kokybės vertinimą. Žmogus šioje sistemoje yra kaip teikiamų paslaugų vartotojas. Taikant biologinį grįžtamąjį ryšį, fiksuojama vienas arba daugiau parametrų, kurie atspindi žmogaus būseną tuo laiko momentu. Pagrindiniai kriterijai vertinant teikiamų paslaugų kokybę susideda iš trijų žmogaus fiziologinių signalų: odos galvaninės reakcijos, elektrokardiogramos ir pirštų temperatūros.

Odos galvaninė reakcija (OGR)

Odos galvaninė reakcija (OGR) yra paprasta, lengvai atkurama prietaisų pagalba ir naudojama įvairiuose žmogaus tyrimuose. Tai autonominės nervų sistemos reakcija, kuri pasireiškia dėl odos prakaitavimo liaukų funkcijos kitimo.

Odos galvaninė reakcija (OGR) dažnai naudojama kaip vienas iš pagrindinių žmogaus grįžtamųjų fiziologinių signalų, nes odos laidumas itin jautrus į emocinius sujaudinimus reaguoja greitai, taip pakankamai informatyviai perteikiant žmogaus reakciją į aplinkos pokyčius. Ši reakcija pagrinde siejama su emociniais pasikeitimais.

Odos galvaninės reakcijos (OGR) signalas susideda iš keturių fiziologinių parametrų, kurie naudojami kaip kriterijai vertinant paslaugų kokybę. Tai būtų „uždelsimas“ (*angl. Latency*), kuris nusako laiko tarpą nuo stimulo pradžios iki kreivės kilimo pradžios; pačios kreivės kilimo laikas (*angl. Rise Time*), kitaip tariant tai intervalas nurodantis kiek laiko užtrunkama kol odos laidumas pasiekia aukščiausią tašką; amplitudė (*angl. Amplitude*), kuri nusako odos laidumo pokyčio dydį, bei pusės amplitudės pasiekimo trukmė (*angl. Half Recovery Time*), nusako per kiek laiko banga sumažėja iki pusės amplitudinės reikšmės.



3 pav. Tipinė OGR kreivė

Elektrokardiograma (EKG)

Širdies veikla atspindi daug pagrindinių fiziologinių būsenų, kadangi ji yra stipriai susieta su nervų sistema. Dėl nervų sistemų įtakos atsiranda širdies ritmo variacija (*angl. Heart Rate Variability*), tai yra širdies ritmo pasikeitimai. Svarbiausia yra tai, jog ritmo variacija svyruoja tam tikrų dažnių ribose, priklausomai nuo žmogaus emocinės būsenos. Tyrimuose dažniausiai yra naudojamos dvi dažnių juostos – aukšto (0,15-0,4 Hz) ir žemo (0,04-0,15 Hz) dažnio. Aukšto dažnio širdies ritmo variacijos dažniausiai pasireiškia esant ramybės, atsipalaidavimo būsenoje. Taigi vertinant paslaugų kokybę galima naudoti du elektrokardiogramos fiziologinio signalo parametrus (kriterijus) – širdies ritmą ir jo kitimą.

Pirštų temperatūra

Pirštų temperatūra keičiasi dėl kraujotakos sistemos pokyčių: kraujagyslių pasipriešinimo ar arterinio kraujospūdžio pasikeitimų, kuriuos reguliuoja autonominė nervų sistema. Tyrimais yra įrodyta, jog odos temperatūra skirtingose kūno vietose kinta skirtingai, priklausomai nuo emocinės reakcijos į stimulą. Pirštų temperatūros didėjimas susijęs su teigiamomis emocijomis, mažėjimas – su neigiamomis. Todėl temperatūrą galima laikyti kaip gana svarbų kriterijų vertinant žmogaus reakciją į aplinkos pokyčius. Pirštų temperatūros matuoklio principinė schema pavaizduota 5 paveiksle.

Tam kad išmatuoti odos galvaninės reakcijos (OGR) parametrus, buvo sukurtas „fiziologinių parametrų matuoklis“, kurio principinė schema pateikta 4 paveiksle. Pagrindinės dalys yra vienas precizinis AD620N stiprintuvas, bei keturi operaciniai stiprintuvai OP97P stiprinantys matavimo signalus. Prie JP2 jungiami elektrodai, turintys sąlytį su rankos pirštais. Potenciometro R7 dėka galima keisti signalo stiprinimo lygį. Sustiprintas signalas per išėjimo jungtį, kuri pavadinta odos elektriniu aktyvumu (*angl. Electro Dermal Activity*), gali būti paduodamas į mikrovaldiklio Atmega32 analoginį skaitmeninį keitiklį (ASK), kur apdorotas signalas gali būti siunčiamas į personalinę kompiuterį ar duomenų saugyklą.

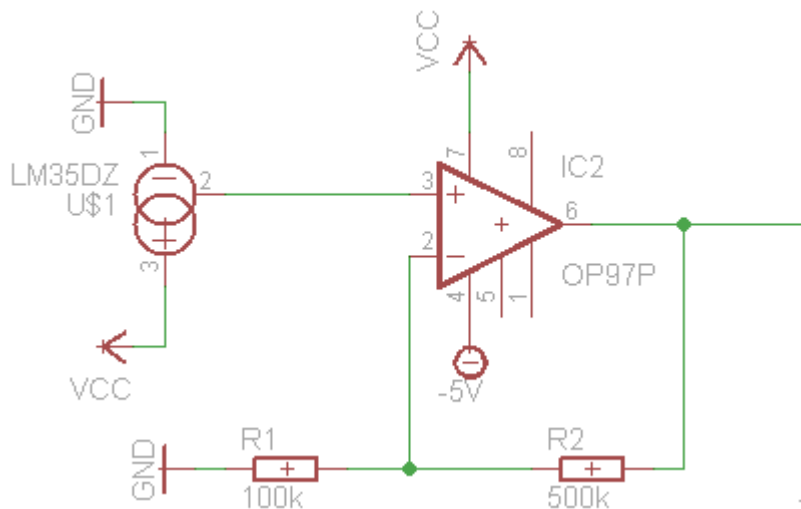
U_{OUT} - stiprintuvo išėjimas;

G_{atv} - stiprinimo koeficientas.

Pagal (1) formulę išėjimo įtampa gali būti tiek teigiama, tiek neigiama. Tai pasiekama maitinant stiprintuvą iš dviejų priešingo ženklo įtampos šaltinių. Stiprinimo koeficientas G_{atv} paprastai siekia dešimtis tūkstančių ir daugiau, net ir panašių prietaisų jis gali gana daug skirtis. Jei reikalingas tikslus stiprinimo koeficientas, naudojamas diferencialinis stiprintuvas.

Kadangi stiprinimo koeficientas labai didelis, paprastai jis sumažinamas įvedant neigiamojo grįžtamojo ryšio grandinę. Tuomet skaičiuojant išėjimo įtampą, tariama, jog esant nusistovėjusiai pusiausvyrai įtampos skirtumas tarp invertuojančio ir tiesioginio įėjimų lygus nuliui. Jei nėra neigiamo grįžtamojo ryšio, toks stiprintuvas dažniausiai dirba kaip komparatorius: jei įtampa tiesioginiame įėjime didesnė nei invertuojamame, jo išėjimo įtampa tiesiog lygi teigiamo maitinimo šaltinio įtampai (maksimali galima). Jei įtampa didesnė invertuojamame įėjime, išėjimo įtampa lygi neigiamo maitinimo šaltinio įtampai (minimali galima).

Kadangi operacinių stiprintuvų darbui reikalinga ir neigiama įtampa, panaudotas įtampos keitiklis ICL660CPA.



5 pav. Pirštų temperatūros matuoklis

Matuojant pirštų temperatūrą analoginiu LM35DZ temperatūros jutikliu, signalas gaunamas silpnas kad jį galėtų apdoroti mikrovaldiklis. Šiai problemai išspręsti buvo vėl pasitelktas operacinis stiprintuvas OP97P. Kadangi pasitelktas neigiamas grįžtamas ryšys, gaunamas signalo stiprinimas operacinio stiprintuvo išėjime apie šešis kartus didesnis nei įėjimo signalas.

Parametrų interpretavimas

Parametrų panaudojimo galimybės priklauso tik nuo interpretavimo metodų ir kokybės, tad fiziologinių signalų reikšmingumas pagrįstas parametrų interpretavimu. Išmaniosios sistemos paslaugų kokybės vertinime pagrindas yra duomenų interpretavimas. Šiuo atveju interpretavimas reikštų fiziologinių signalų parametrų transformavimą į žmogaus būseną nusakančias klases.

Labiausiai žinomi du emocinės būsenos interpretavimo modeliai, tai:

Ekman modelis, kuris apibrėžia šešias diskrečias būsenas (piktas, pasišlykštėjęs, išsigandęs, laimingas, liūdnas, nustebęs) arba Russell pasiūlyta malonumo – susijaudinimo (*angl. valence–arousal*) erdvė.

Mokslininkai, kurie remiasi Ekman modeliu, laikosi nuostatos, jog žmogaus būseną nusako aštuonios arba devynios pagrindinės emocijų klasės (piktas, išsigandęs, nustebęs, ramus, mieguistas, liūdnas, pasišlykštėjęs, neutralus, laimingas), o bet kokia kita emocinė būsena (pavargęs, nusivylęs ir pan.) traktuojama kaip pagrindinių emocinių būsenų klasių poaibis.

Russell pasiūlytas emocinių būsenų klasifikavimo modelis remiasi požiūriu į emocijas kaip į tam tikrą susijaudinimo ir malonumo laipsnį. Tokiu būdu, bet kurią emocinę būseną galima pateikti dvimatėje erdvėje susijaudinimo ir malonumo atžvilgiu.

Interpretavimo metodai

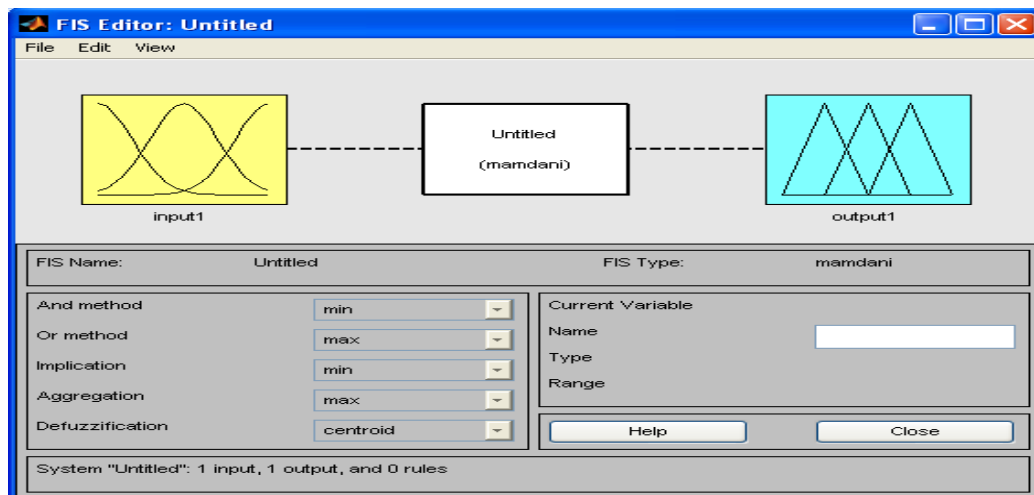
Daugybė metodų yra taikoma fiziologiniams parametrų interpretuoti. Didžioji dalis šių metodų priskiriama mašininio mokymo bei šablonų aptikimo sričiai. Tai būtent: k artimiausių kaimynų klasifikatorius (*angl. k-nearest neighbours – KNN*), funkcinė diskriminantinė analizė (*angl. functional discriminant analysis – FDA*), neuroniniai tinklai, neraiškioji logika (*angl. fuzzy logic*) ir kt. Svarbiausia naudojant šiuos metodus pasiekti kuo tiksliau įvertinti žmogaus fiziologinę būseną.

Interpretavimas naudojant neraiškiają logiką Matlab aplinkoje

Žmogaus reakciją į aplinkos pokyčius galima įvertinti naudojant neraiškiają logiką Matlab programoje, tačiau analogišką rezultatą galima gauti ir su kitais statistiniais paketais (R, ir kt.).

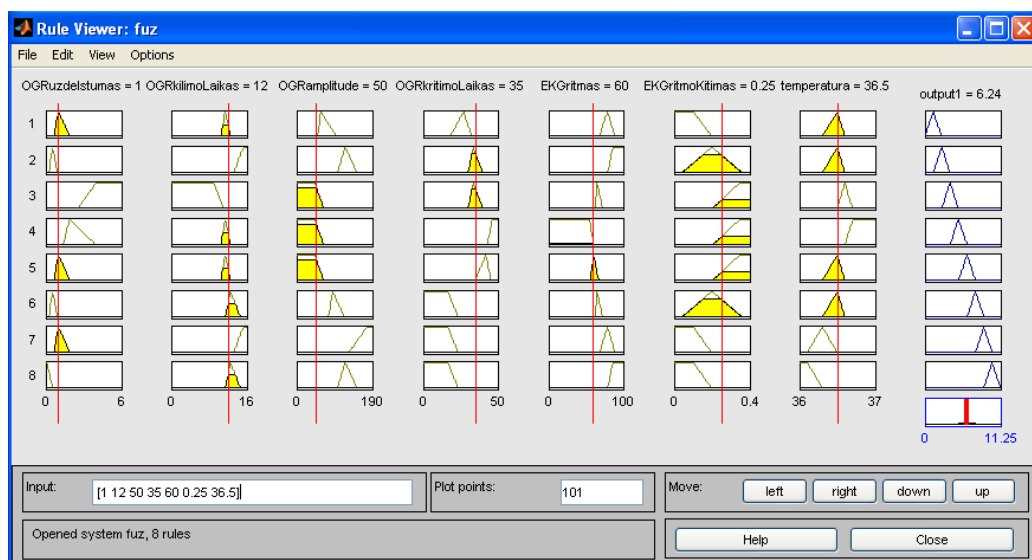
Komanda *fuzzy* iškviečiama grafinė sąsaja neraiškiajai sistemai kurti (6 pav.). Šią sistemą sudaro: įėjimas - apibrėžiamos kriterijų atstovavimo funkcijos; išėjimas - apibrėžiamos alternatyvų atstovavimo funkcijos; taisyklių bazė, kurioje taisyklėmis aprašomas alternatyvų parinkimas pagal kriterijus. Kiekvienam kriterijui priskiriamos atstovavimo funkcijos (7 pav.). Kiek funkcijų apibrėžti

ir kokias reikšmes parinkti nusprendžia ekspertas remdamasis savo patirtimi, analizuodamas duomenų imtis.



6 pav. Neraiškiosios sistemos konstravimas

Analogiškai, konstruojamos alternatyvų atstovavimo funkcijos, o poto apibrėžiamos taisyklės, pagal kurias parenkama atitinkama alternatyva. Padavus į sistemą kriterijų reikšmes (7 pav.) surandama taisyklė, kuri maksimuoja atstovavimo funkcijų vertes pagal paduotas kriterijų reikšmes.



7 pav. Kriterijų reikšmės

Interpretavimas naudojant neuroninius tinklus

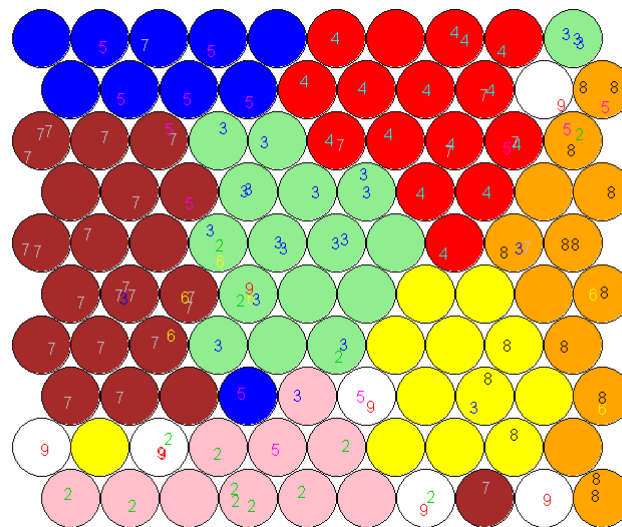
Darbai su neuroniniais tinklais naudojamas R statistinis paketas (su papildomais kohonen ir kt. paketais).

Formuojant dirbtinio neuroninio tinklo (DNT) mokymo aibę, susiduriama su „mokytojo triukšmu“. Šis reiškinys atsiranda dėl sužymėjimo klaidų – kai mokymo egzemplioriui priskiriama klaidinga klasė. Kartais būna sunku įvertinti realią reikšmę dėl jų persidengimo. Šiai problemai spręsti naudojami savaime susitvarkantys žemėlapiai (*angl. Self Organising Maps*) SOM, kuris iš naujo sudarydamas duomenų imties klasterius pašalina sužymėjimo klaidas („mokytojo triukšmą“).

SOM tinklui mokyti naudojamas neprižiūrimas mokymas, kuris duomenų imtyje ieško natūralių panašumų. Šiuo atveju SOM'as R erdvės įėjimo duomenis paskirsto į dvimatį neuronų masyvą. Kiekvienas neuronas turi keturmatį savo svorių vektorių.

R aplinkoje yra keletas paketų, kurie leidžia dirbti su SOM neuroniniais tinklais: „kohonen“, „som“, ir kt., tačiau buvo naudojamas „kohonen“ paketas, kuris bene geriausiai išvystytas, turintis lanksčių funkcijų tinklo sudarymo, mokymo, vizualizavimo operacijoms atlikti.

SOM tinklas, kurio kiekvienas neuronas turi keturmatį svorių vektorių, pavaizduotas 8 paveiksle.



8 pav. Fiziologinių parametrų klasterių sudarymas naudojant SOM

Paveiksle pavaizduoti skaičiai nusako mokymo imties egzempliorių klasę (alternatyvos numerį), o skirtingos spalvos rodo kaip tinklas suskirstė klases (alternatyvas) pagal parametrų (kriterijų) panašumą. SOM neuronai yra sugrupuojami pagal panašumą (atstumą), todėl mokymas kiekvienoje iteracijoje matuojamas vidutiniu atstumu (kurį ir reikia minimizuoti) iki artimiausio neurono.

Naudojant neprižiūrimą mokymą SOM neuroniniam tinklui, tačiau turint pradinis duomenis su nurodyta klase, galima įvertinti kiek skiriasi pradiniai duomenys nuo SOM gautų duomenų.

IŠMANIOSIOS LABORATORIJOS APŠVIETIMO SISTEMŲ MODELIO

SUDARYMAS

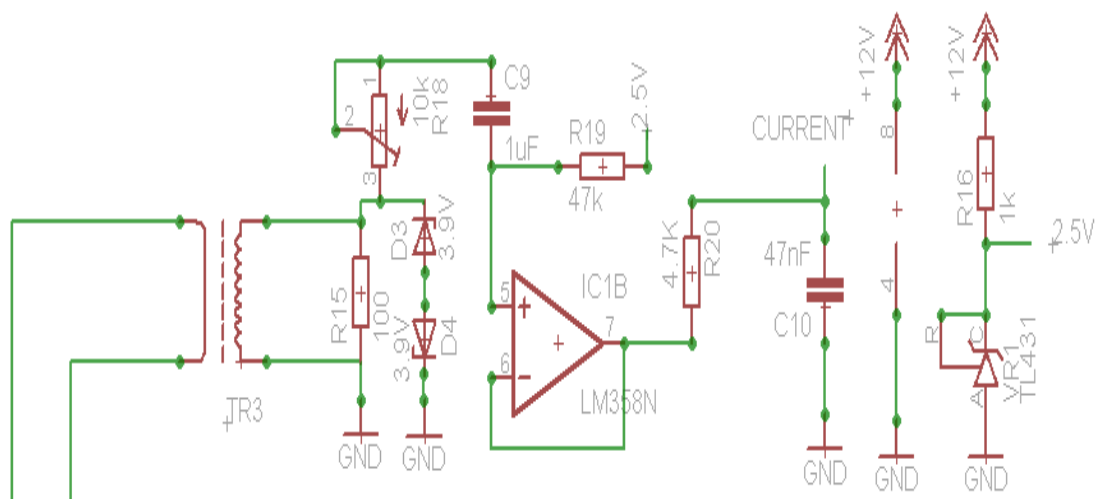
Matavimo sąsajos su mikrovaldikliu

Mikrovaldiklio Atmega32 analoginiai kanalai (ADC) geba pamatuoti signalus nuo 0 iki 5V, tad norint pajungti matuojamos kintamos įtampos ir srovės signalus prie mikrovaldiklio, pirmiausiai reikia šiuos signalus pakeisti nuolatinės įtampos signalais, kitaip tariant, reikalinga atskira sąsaja tinkama jungimui prie mikrovaldiklio. Tokio prietaiso schema pavaizduota 10 paveiksle.

Srovės matavimo sąsaja

Srovės matavimo sąsaja pavaizduota 9 paveikle. Ši sąsaja apdoroja signalą ateinantį iš srovės transformatoriaus „AC1020“ ir paruošia jį nuskaitymui.

J1 ir J2 yra jungtys, prie kurios jungiasi srovės transformatoriaus. R15 yra srovės transformatoriaus apkrova (*angl. Burden Resistor*), pagal gamintojo aprašymą, tiesiškiausios V/A kreivės yra prie 100 ir 50 omų apkrovos.



9 pav. Srovės matavimo sąsaja

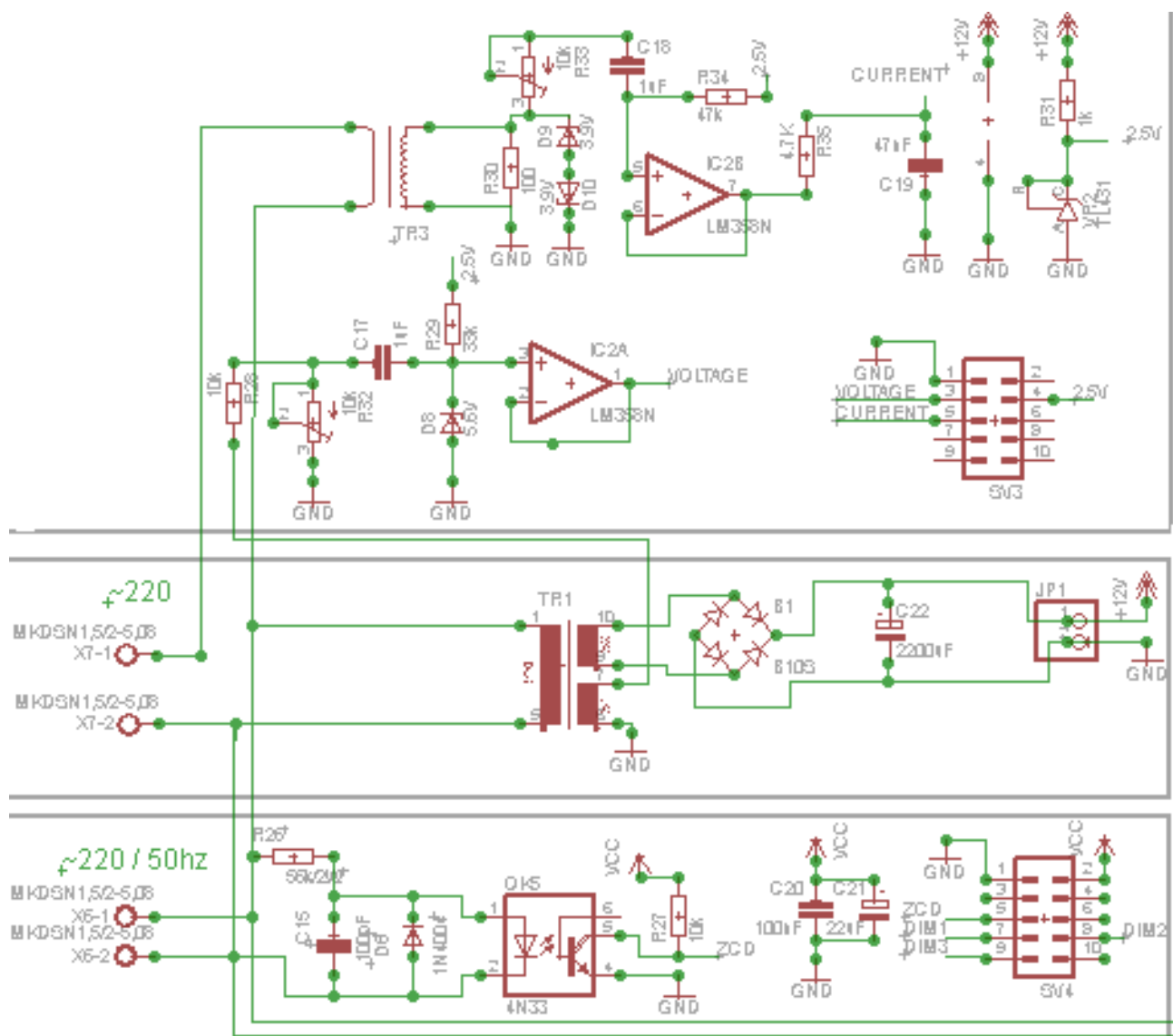
Stabilitronai D3, D4 apsaugo nuo įtampos šuolių srovės transformatoriaus išėjime. R18 potenciometras leidžia smulkiai pareguliuoti srovės signalo amplitudę, šis reguliavimas reikalingas sukalibruoti srovės parodymus. C9, R19 suformuoja RC filtrą, kurio laiko konstanta yra:

$$T = RC = 47000 \times 10^{-6} \quad (2)$$

O tada signalo pralaidumas yra nuo:

$$f_c = \frac{1}{2\pi T} = 1/(2 \times 3,14 \times 0,047) = 3,38 \text{ Hz}. \quad (3)$$

Šis RC filtras neprijungtas prie žemės, o prie nuolatinės 2,5V įtampos – taip kintamos įtampos signalas yra pakeliamas per 2,5V. tad srovės signalas svyruos apie 2,5V. LM358N operacinis stiprintuvas sustiprina signalą, stiprinimo koeficientas $K = 1$, kitaip tariant šis stiprintuvas sumažina signalo varžą.



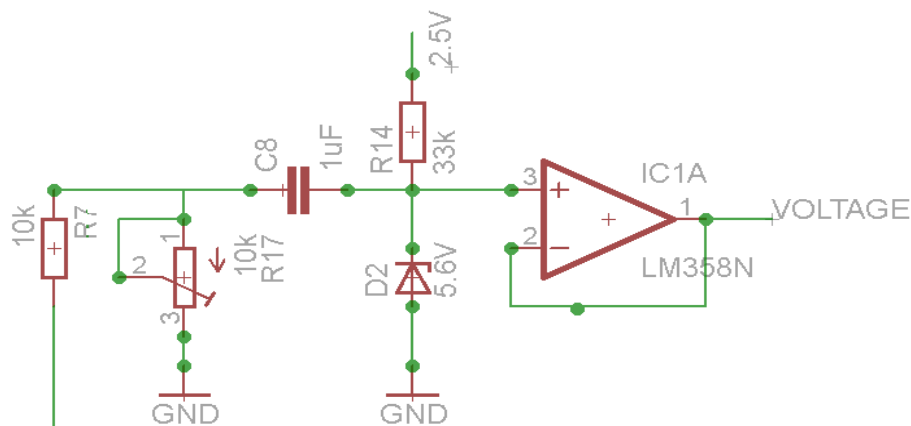
10 pav. Dimerio ir matuoklio schema

R20, C10 suformuoja „low pass“ filtrą. Mikrovaldiklio ADC nuskaitynės srovės parodymus maždaug 1,8 KHz dažniu. Šio filtro charakteristika:

$$f_{3db} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 4700 \cdot 47 \cdot 10^{-9}} = 720Hz. \quad (4)$$

Išėjime gaunamas signalas, kuris yra proporcingas srovei ir svyruoja apie 2,5V, kurį mikrovaldiklis jau gali išmatuoti.

Įtampos matavimo sąsaja



11 pav. Įtampos matavimo sąsaja

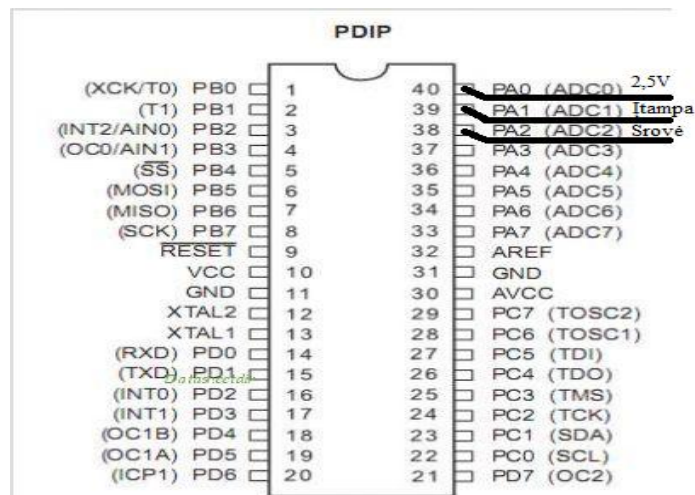
Kadangi reikia pamatuoti kintamą įtampą – 230V, buvo panaudotas žeminantis transformatorius. 230/12V su dviem antrinėmis apvijomis. Viena apvija skirta mikrovaldiklio ir kitų prietaisų maitinimui, o kita – įtampos matavimui.

11 pav. pavaizduotas įtampos keitiklis, kuris keičia iš žeminančiojo transformatoriaus išeinančią įtampą. R7, R17 suformuoja įtampos daliklį - reguliuojant R17 galima paderinti signalo amplitudę.

C8, R14 suformuoja „high pass“ filtrą ir prideda 2,5V poslinkį. Operacinis stiprintuvas LM358N dirba kaip stiprintuvas, kurio koeficientas $K = 1$. Išėjime turime kintamos įtampos signalą, kuris svyruoja apie 2,5V.

D2 apsaugo nuo įtampos viršijančios 5,6V ir neigiamos įtampos šuolių.

Tokie įtampos ir srovės signalai jau gali būti jungiami prie mikrovaldiklio ADC kanalo.



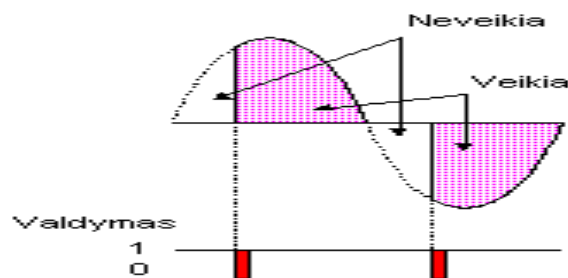
12 pav. Matavimo kanalų pajungimas prie Atmega32

Mikrovaldiklio ADC kanalų pajungimo schema pavaizduota 12 paveiksle. Atmega32 palaiko diferencialinį ADC matavimą, tai reiškia, kad galima pamatuoti skirtumą tarp 2 ADC kanalų. Naudojant diferencialinį matavimą taip pat galima įjungti vidinį signalo stiprintuvą, kuris palaiko 1kart, 10kart, 200kart stiprinimo koeficientus. Stiprinimas leis tiksliau išmatuoti mažas sroves, kadangi iš srovės transformatoriaus išeinantis signalas yra maždaug 0,1 V amperui, tai reiškia, kad 0,1 A srovė duos tik 10mV signalą. Mikrovaldiklio ADC yra 10-ies bitų, tai reiškia, naudojant 5V atraminę įtampą, matavimo raiška bus $\frac{5}{1024} = 4,8mV$, tai yra gan žema matuojant tokias mažas įtampas, todėl signalą reikia stiprinti, tai suteiks daug didesnę matavimo raišką.

Su 10kart stiprinimu, maksimali matuojama srovė bus apie 5 A, nes srovės transformatorius duoda 0.1V/A, tai padauginus iš 10 gauname 1V/A. Kad išmatuoti didesnę srovę, reikia sukurti programoje algoritmą, kuris perjungtų į 1kart stiprinimą kai srovė viršija ribą, ir grąžinti 10kart stiprinimą, kai srovė yra žemesnė negu 5A.

Galios reguliavimas

Valdyti kintamą srovę buvo pasirinktas puslaidininkis valdymo elementas – simistorius TIC206D. Simistoriaus veikimo principas yra paprastas. Jis yra atidaromas po tam tikro laiko, kai sinusoidė kirto „0“. Simistorius yra atidaromas padavus impulsą į jo valdymo terminalą (*angl. Gate*). Kai jis atsidaro, jis praleidžia srovę tol, kol įtampos sinusoidė vėl kerta „0“. Simistoriaus valdymas parodytas 13 paveiksle.



13 pav. Simistoriaus valdymo principas

Priklausomai nuo laiko, po kurio atidaromas simistorius, nuo „0“ kirtimo taško yra valdoma vidutinė galia perduodama įrenginiui. Toks valdymo būdas skleidžia į tinklą daug harmonikų, be to pasižymi nedideliu galios koeficientu, dėl to reikalingas geras filtravimas.

Mikrovaldiklio programavimas ir sistemos veikimas

ATmega32 mikrovaldiklio pagrindu pagamintas programavimo modulis, skirtas „protingajam apšvietimui“ valdyti. ATmega32 yra 8 bitų mažos galios mikrovaldiklis, sukurtas pagal AVR RISC architektūrą, dirbantis 16Mhz dažniu, turintis 32 programuojamus įvadus/išvadus. Darbinė valdiklio įtampa 4,5-5,5V, srovė – 3,6mA darbo metu ir 1,0mA laukimo režime.

Mikrovaldiklio programinė įranga „ATmega oscilografas“ [7] parašyta nemokama programavimo aplinka „AVR Studio 4“ ir sukompiliuota (programa paversta į mašininį kodą, tokia byla turi „hex“ priedą) nemokamu kompiliatoriumi „AVR GCC“. Kompiuterinė programinė įranga parašyta „Delphi 7“ programavimo aplinkoje, o duomenų saugojimui naudojama nemokama „Firebird“ duomenų bazė. Duomenų analizei naudojama nemokamas programinės įrangos paketas „R“. Mikrovaldiklio programinė įranga atsakinga už duomenų nuskaitymą realiu laiku, jų filtravimą ir perdavimą kompiuteriui per RS232 sąsają. Kiekvienas ADC kanalas gali būti nuskaitymas skirtingais greičiais nuo vienos nuoskaitos per sekundę iki 1000 nuoskaitų per vieną sekundę. Nuskaityti duomenys dedami į atskirą eilę (kiekvieno kanalo duomenys atskiroje eilėje), kurioje laukia filtravimo ir persiuntimo į kompiuterį.

Filtracijai mikrovaldikyje naudojamas Gauso glodinimo metodas.[12] Šiuo metodu šalinami triukšmai. Gauso glodinimo metode yra įvedami koeficientai, kurie paskirstomi pagal Gauso skirstinį. Koeficientų suma lygi 1, o nubrėžus juos x, y plokštumoje, gaunama varpo formos normalioji kreivė.

Kuo yra daugiau lėtai kintančių duomenų (didelis nuoskaitų skaičius), tuo daugiau reikia naudoti taškų Gauso glodinimui. Sutvarkyti duomenys saugomi eilėse tol, kol mikrovaldiklis juos persiunčia kompiuteriui. Duomenis mikrovaldiklis kompiuteriui perduoda 2 baitais (16 bitų), kurių pirmieji šeši bitai žymi nuskaitytą kanalą, būseną ir kitus parametrus, o likę 10 bitų talpina nuskaitytojo signalo

reikšmę. Srovės ir įtampos yra išmatuojamos naudojant mikrovaldiklio analoginį skaitmeninį keitiklį, kuris pamatuotas analoginių įtampų nuoskaitas paverčia momentinėmis įtampos ir srovės reikšmėmis.

Toliau apskaičiuojamos matuojamų dydžių efektinės - RMS (kvadratų vidurkių šaknies) reikšmės, tikroji, pilnoji, reaktyvioji galios ir galios koeficientas.

Momentinės vertės randamos iš formulės:

$$P_{momentė} = U \cdot I, \quad (5)$$

o gautų reikšmių vidurkis bus tikroji galia, kuri matuojama Vatais (W).

Naudojantis žemiau pateiktą formulę (6), apskaičiuojamos RMS reikšmės:

$$RMS = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}{n}}. \quad (6)$$

Pilnoji galia gaunama dauginant srovės RMS ir įtampos RMS reikšmes:

$$P_{pilnoji} = U_{RMS} \cdot I_{RMS} \quad (7)$$

Pilnoji galia matuojama Volt-Amperais (VA). Galios koeficientas ($\cos \varphi$) išreiškiamas tikrosios galios ir pilnosios galios santykiu:

$$\cos \varphi = \frac{P_{tikroji}}{P_{pilnoji}} \quad (8)$$

Turėdami šias reikšmes, galime iš (5) formulės apskaičiuoti tikrąją įtampos reikšmę, įstačius koeficientą C, kuris yra gaunamas eksperimentiniu būdu.

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum U^2}{n} \cdot C_u^2} \quad (9)$$

Panašiai skaičiuojama ir srovė:

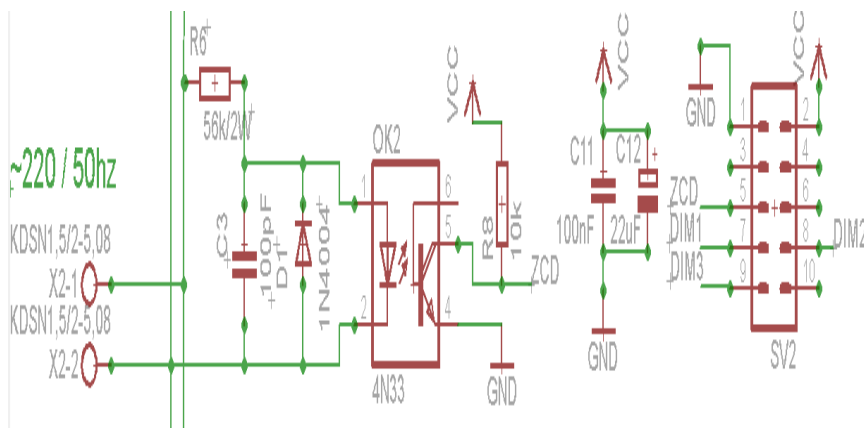
$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum I^2 \cdot (\frac{C_i}{G})^2}{n}} \quad (10)$$

kur C yra koeficientas, o G stiprinimo koeficientas. Galiausiai tikroji galia apskaičiuojama pagal formulę:

$$P = \frac{\sum (U \cdot I)}{n} \cdot C_u \cdot \frac{C_i}{G} \quad (11)$$

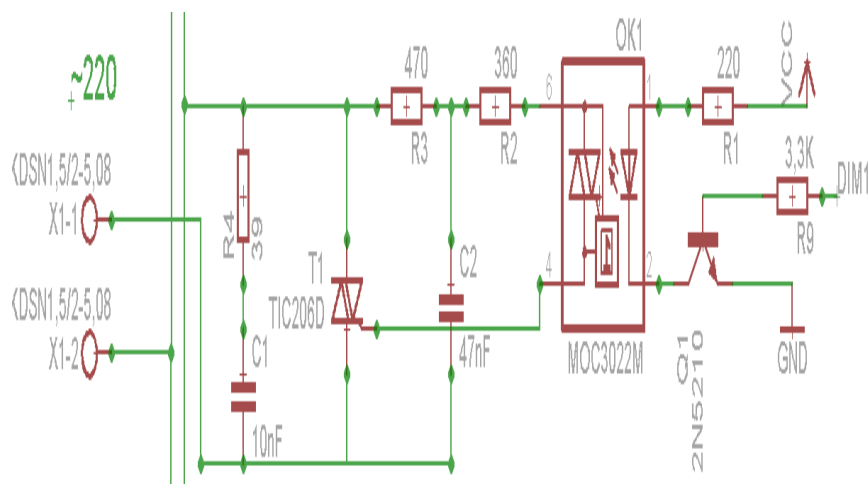
Išmanusis galios keitiklis ir reguliatorius

Išmaniojo galios keitiklio ir galios reguliatoriaus principinės schemos pateikiamos skirtingais blokais, taip siekiant detalumo aprašant schemų veikimo principus. Nebėbus aptariamose įtampos ir srovės sąsajos, nes jos jau aptartos.

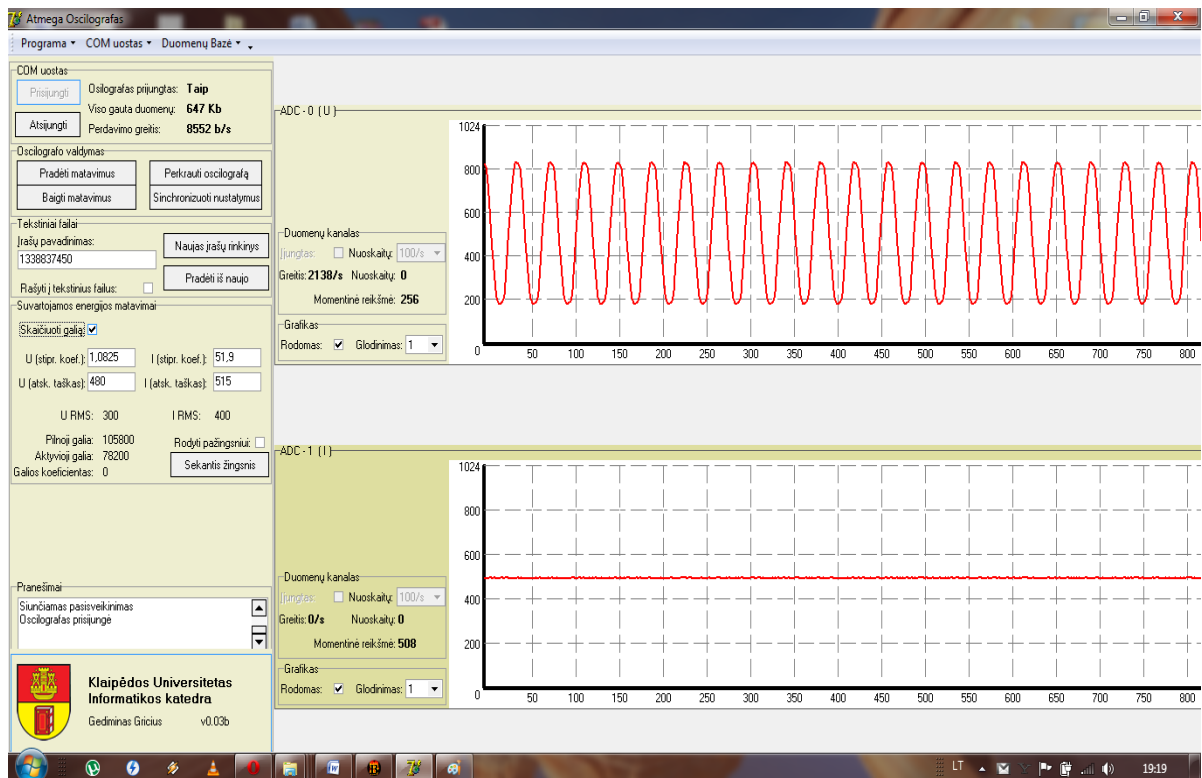


15 pav. Principinė nulinio kirtimo sekimo schema

Pirmoje (15 pav.) ir antroje (16 pav.) išmaniojo galios keitiklio dalyje yra pavaizduotas galios reguliatorius. Pirmoje dalyje esantis optronas (4N33) naudojamas sinusoidės „0“ taško kirtimo radimui, o antroji dalis naudojama prijungto įrenginio vidutinei įtampai valdyti (simistoriaus Tic2060 pagalba). Tokias grandines tikslinga naudoti, kai valdymas atliekamas skaitmeniu būdu. Valdymas atliekamas impulso pločio moduliacijos būdu, programa seka nulinio kirtimo momentą, o įrenginį valdo atidarinėdama simistorių iš pasirinktos kontakto SV2 DIM jungties.



16 pav. Principinė prijungto įrenginio valdymo schema



14 pav. Programos „Atmega oscilografas“ valdymo langas

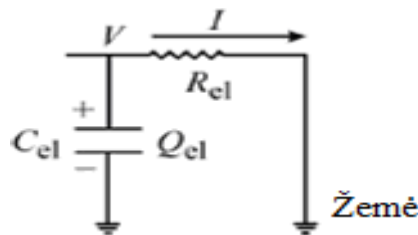
Matavimams atlikti buvo pasirinkta programa “Atmega Oscilografas”, kuri parodyta 14 pav. Šios programos pirmajame bloke ADC – 0 (U) matome tinklo kintamos įtampos kreivę, kuri švytuoja apie 480 padalų virtualųjį nulį atitinkantį nuolatinės įtampos 2,5V lygį. Programos ADC – 1 (I) blokas vaizduoja apkrovimo kintamos srovės I kreivę, kuri taip pat (nors ir nesimato) svyruoja apie nuolatinės įtampos 2,5V 515 padalų virtualųjį nulį, kuris yra sukurtas 10 pav. schemeje į operacinių stiprintuvų LM358N 1C2A ir 1C12B neinvertuojančius įėjimus padavus nuolatinę 2,5V stabilizuotą įtampą. Taip pat atliekami suvartojamos energijos matavimai ir pateikiami skaičiavimų rezultatai, kurie pavaizduoti kairiajame 14 pav. krašte: $U[\text{stipr.koef.}] = 1,0825$; $I[\text{stipr.koef.}] = 51,9$; $U[\text{atsk. taškas}] = 480$; $I[\text{atsk. taškas}] = 515$; $U_{\text{RMS}} = 200 \text{ V}$, $I_{\text{RMS}} = 400 \text{ mA}$, Pilnoji galia = 105800 mVA, Aktyvioji galia = 78200 mW. Įvedus įtampos ir srovės stiprinimo koeficientus, programoje yra apskaičiuojami įtampos ir srovės RMS reikšmės, pilnoji galia, aktyvioji galia ir galios koeficientas. Atlikus matavimus, apdorojami duomenys, kurie įrašomi į failus. Buvo apskaičiuotos konstantos C_U ir C_I , kurios yra gaunamos eksperimentiniu būdu, atliekant kalibravimą. Buvo išmatuojama įrenginio suvartojama energija ir tada imamas toks koeficientas, kad abiejų galių reikšmės sutaptų.

RC grandinės analogiškas terminis modelis

LED susijungimo mazgo temperatūra yra vienas iš pagrindinių faktorių darančių poveikį LED lempučių darbui. Tai kritinis parametras, kuris paveikia išorinį efektyvumą, išgaunamą galią ir patikimumą. Analogija tarp šiluminio sklaidumo ir elektros krūvio gali būti daroma remiantis tolimesnia grandinės analize. Teikime, kad srovė išjungta, $t = 0$.

Paprasčiausia lygtis 1 – eilės elektrinei grandinei

1 – eilės elektrinė RC grandinė vaizduojama 17 pav.



17 pav. 1 – eilės elektrinė RC grandinė

Gera žinoma, kad:

$$C_{el} = \frac{Q_{el}}{U} \rightarrow Q_{el} = C_{el} U \quad (12)$$

Pagal Omo dėsnį ir Kirchhofo dėsnius:

$$U = I \times R_{el} . \quad (13)$$

Taip pat žinoma, kad

$$Q_{el} = Q_{prad.ikrov.} - \int_0^t I(t') dt' \rightarrow I(t) = - \frac{dQ_{el}(t)}{dt} \quad (14)$$

Įterpiant lygtį (12) į (14) ir pakeitus I iš lygties (13) į lygtį (14) gauname (C_{el} nepriklauso nuo laiko):

$$I(t) = - \frac{dQ_{el}}{dt} = -C_{el} \frac{dV(t)}{dt} \rightarrow U(t) = -R_{el} C_{el} \frac{dU(t)}{dt} , \quad U(t) + R_{el} C_{el} \frac{dU(t)}{dt} = 0. \quad (15)$$

Taigi

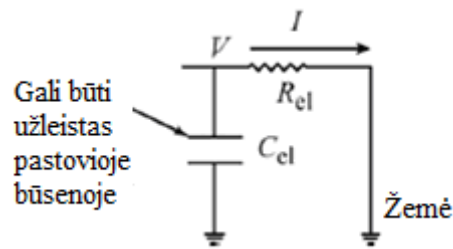
$$U(t) + R_{el} C_{el} \frac{dU(t)}{dt} = 0 \quad (16)$$

Ši diferencijuota lygtis yra lengvai išsprendžiama. Apibrėžiant laiko konstantą $\tau_{el} = R_{el} C_{el}$. Gauname sprendinį:

$$U = U(0) \exp \left(-\frac{t}{\tau_{el}} \right) \quad (17)$$

kur $U(0)$ yra įtampa, kai $t = 0$.

Pastovioje būsenoje, reikia turėti omenyje tik rezistorių:



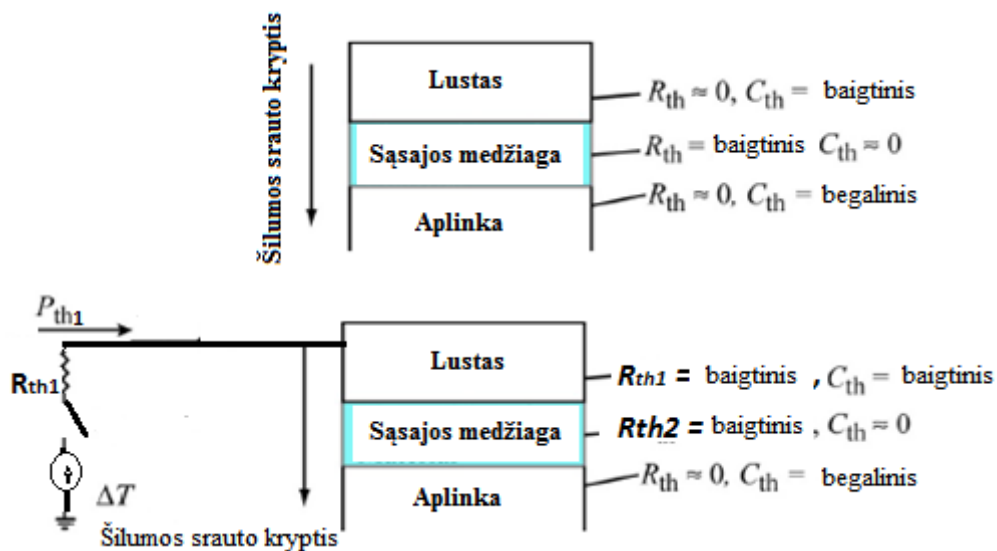
18 pav. Elektrinė RC grandinė pastovioje būsenoje

Omo dėnis statinėje būsenoje:

$$U = I \times R_{el} \quad (18)$$

Pagrindinės šilumos srauto lygtys LED šviesos diode

Analizuojant šilumos srautą LED, galima pradėti su paprastu atveju, kaip parodyta 19 pav., kuris rodo LED lustą, sąsajos medžiagą ir aplinką (pvz., didelis šilumos šalintuvas). Šilumos srautas visada eina iš lusto, kerta šilumos sąsajos medžiagą ir tada eina į aplinką.

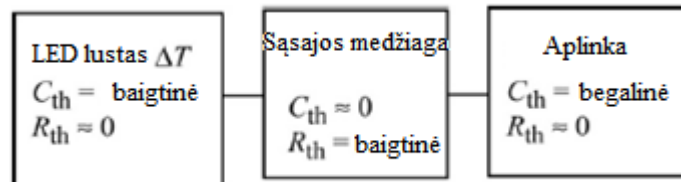


19 pav. LED terminė sudėtis

LED lustas turi vienodą temperatūrą ir baigtinę šiluminę talpą. Taigi šiame kontekste, lusto šiluminė varža gali būti laikoma lygi nuliui. Terminė sąsajos medžiaga

turi tik labai nedidelį šilumos kiekį. Iš formulės $C_{th} = c \rho V$ (c yra specifinė šiluma, ρ yra masės tankis ir V yra tūris), mes žinome, kad sąsajos medžiaga turi šiluminį talpumą lygų nuliui ($C_{th} \approx 0$). Aplinkos temperatūra yra pastovi, todėl galima daryti prielaidą, kad jos šiluminė varža yra artima nuliui, o šiluminė talpa begalinė.

Remiantis ankstesniais pastebėjimais, mes galime parengti šios problemos supaprastintą diagramą:



20 pav. LED terminė grandinė

Pereinamųjų procesų metu, kai elektros galia yra išjungiama, šiluminės energijos srautai teka per sąsajos medžiagą į aplinką. Esminė sąlyga yra ta, kad aplinkos temperatūra palaikoma pastovi. Tuomet:

$$C_{th} = \frac{Q_{th}}{\Delta T} \rightarrow Q_{th} = C_{th} \Delta T \quad (19)$$

Čia Q_{th} yra terminė energija sukaupta luste,

ΔT yra skirtumas tarp lusto temperatūros ir aplinkos temperatūros.

Šiluminė varža yra išreiškiama taip:

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{P_{th}} \quad (20)$$

Čia P_{th} yra terminė galia persiunčiama per medžiagą.

Taip pat yra žinoma jog:

$$Q_{th} = Q_{pradinė} - \int_0^t P_{th}(t') dt' \rightarrow P_{th}(t) = -\frac{dQ_{th}(t)}{dt} \quad (21)$$

Panašiai įstačius lygtį (19) į (21) lygtį ir tada apkeitus P_{th} iš lygties (20) į (21) lygtį gauname

$$P_{th}(t) = -\frac{dQ_{th}(t)}{dt} = -C_{th} \frac{d\Delta T}{dt} \rightarrow \Delta T(t) = -R_{th} C_{th} \frac{d\Delta T(t)}{dt} \quad (22)$$

Taigi

$$\Delta T(t) + R_{th} C_{th} \frac{d\Delta T(t)}{dt} = 0. \quad (23)$$

Ši diferencialinė lygtis turi sprendinį:

$$\Delta T = \Delta T(0) \exp \left(-\frac{t}{\tau_{th}} \right) \quad (24)$$

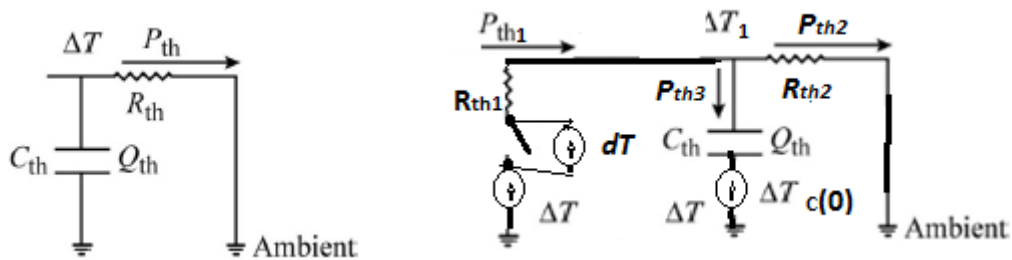
Čia $\tau_{th} = R_{th} C_{th}$, o $\Delta T(0)$ yra pradinė lusto temperatūra. Statinėje būsenoje lusto temperatūra nedidėja, o yra pastovi (tad šiluminė talpa nėra svarbus veiksnys). Tad ir terminė galia bėgant laikui išlieka pastovi.

Matome kad (16) ir (23) lygtys yra identiškos, tad elektrinės grandinės parametrus galima susieti su terminės grandinės parametrais, tai matosi 2 lentelėje.

2lentelė. Elektrinės ir terminės grandinių analogiškumas

Elektrinė grandinė	Terminė grandinė
Krūvis, Q_{el}	Terminė energija, Q_{th}
Įtampa, V	Temperatūra, ΔT
Srovė, $I(t) = -\frac{dQ_{el}}{dt}$	Terminė galia, $P_{th}(t) = -\frac{dQ_{th}(t)}{dt}$
Elektrinis talpumas, C_{el}	Terminis talpumas, C_{th}
Elektrinė varža, R_{el}	Terminė varža, R_{th}
Santykis 1: $R_{el} = V/I$	Santykis 1: $R_{th} = \Delta T/P$
Santykis 2: $C_{el} = Q_{el}/V$	Santykis 2: $C_{th} = Q_{th}/\Delta T$

Tuomet ekvivalentinė terminė grandinė galėtų būti pavaizduota taip:



21 pav. Ekvivalentinės terminės grandinės

Tada taikant kontūrinių srovių metodą gaunam kontūrų sroves:

$$P_{th11}(R_{th1} + 1/sC_{th}) + P_{th22}(-1/sC_{th}) = (\Delta T + dT)/s - \Delta T_C(0)/s$$

$$P_{th11}(-1/sC_{th}) + P_{th22}(1/sC_{th} + R_{th2}) = \Delta T_C(0)/s$$

$$\Delta T_C(0) = \Delta T * R_{th2} / (R_{th1} + R_{th2})$$

$$P_{th1} = P_{th11} = ((\Delta T + dT - \Delta T_C(0))s / R_{th1} + (\Delta T + dT) / (R_{th1} * R_{th2} * C_{th})) / (s(s + s_{th1}))$$

$$P_{th2} = P_{th22} = ((\Delta T_C(0))s / R_{th1} + (\Delta T + dT) / (R_{th1} * R_{th2} * C_{th})) / (s(s + s_{th1}))$$

$$P_{th3} = P_{th1} - P_{th2} = ((\Delta T + dT - \Delta T_C(0)) / R_{th1} - \Delta T_C(0) / (R_{th1} * R_{th2} * C_{th})) / ((s + s_{th1}))$$

$$\Delta T_1 = R_{th2} * P_{th2} = R_{th2} * ((\Delta T_C(0))s / R_{th1} + (\Delta T + dT) / (R_{th1} * R_{th2} * C_{th})) / (s(s + s_{th1}))$$

$$s_{th1} = s_1 = (R_{th1} + R_{th2}) / (R_{th1} * R_{th2} * C_{th})$$

$$W_1 = \Delta T_1 / (\Delta T + dT) = R_{th2} * ((\Delta T_C(0) / (\Delta T + dT)) * s / R_{th1} + 1 / (R_{th1} * R_{th2} * C_{th})) / (s(s + s_{th1})) = (a_1 s + a_2) / (s(s + s_1)); a_1 = (R_{th2} / R_{th1}) * ((\Delta T_C(0) / (\Delta T + dT))); a_2 = 1 / (R_{th1} * C_{th});$$

$$d\Delta T_1 = dT * W_1 / (1 + W_1) = dT * (a_1 s + a_2) / (s^2 + (a_1 + s_1)s + a_2) = dT * (a_1 s + a_2) / (s^2 + 2\delta s + a_2); 2\delta = a_1 + s_1;$$

$$dP_{th2} = dT * W_1 / ((1 + W_1) * R_{th2}) = (dT / R_{th2}) * (a_1 s + a_2) / (s^2 + 2\delta s + a_2);$$

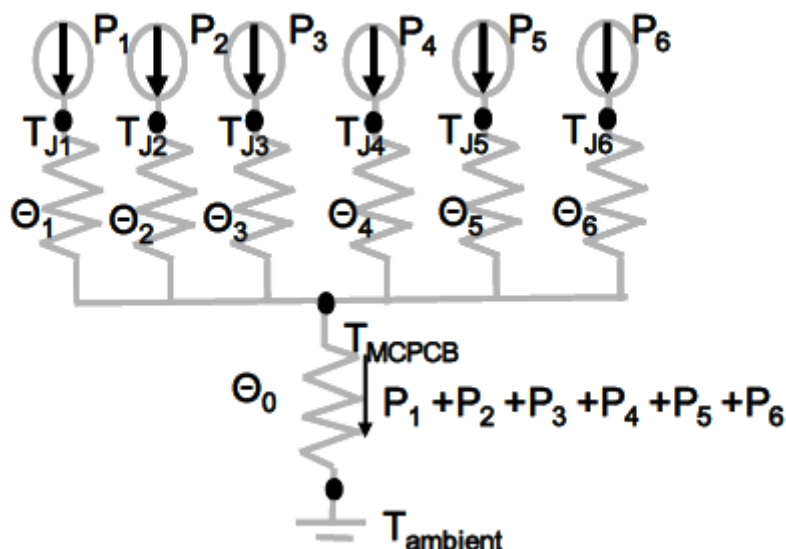
$$dP_{th2}(t) = (dT / R_{th2}) * (A_1 * \exp(s_{11} * t) + A_2 * \exp(s_{12} * t)); A_1 = (a_1 s_{11} + a_2) / (2 * (s_{11} + \delta)); A_2 = (a_1 s_{12} + a_2) / (2 * (s_{12} + \delta));$$

$$s_{11,12} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - a_2};$$

Taigi gauname:

$$dI_{LED} = dP_{th2} / V_{DC}. \quad (25)$$

Ekvivalentinė LED terminė grandinė pavaizduota 22 paveiksle.



22 pav. Ekvivalentinė LED terminė grandinė

Realaus modelio kūrimas

Šiluminis laidumas – medžiagos savybė praleisti šilumą, t. y. termoizoliacinė medžiagos savybė. Šią savybę apibūdina šilumos laidumo koeficientas λ . Kuo mažesnė λ vertė, tuo geresnėmis izoliacinėmis savybėmis pasižymi medžiaga. Šilumos perdavime, laidumas (ar karščio laidumas) yra perkėlimas šiluminės energijos tarp kaimyninių molekulių medžiagoje dėl temperatūrinio gradiento. Tai visada vyksta nuo aukštesnės temperatūros srities į žemesnės temperatūros sritį, ir veikia, kad sulygintų temperatūrinius skirtumus. Šiluminis laidumas yra savaiminis šiluminės energijos atidavimo procesas per medžiagą (kietaisiais kūnais, rečiau – skysčiais bei dujomis) iš aukštesnės temperatūros regiono į žemesnės. Procesas stengiasi išlyginti temperatūrinį skirtumą. Šiluminis laidumas gali būti apibūdintas ir kaip energijos perdavimas iš vienos medžiagos į kitą. Šilumos atidavimo būdai:

1. laidumas-šiluma perduodama kūnui tiesiogiai liečiantis prie kietų ar skystų medžiagų;
2. konvekcija-šiluma perduodama per oro srautą;
3. spinduliavimas-šiluma tarp kūnų perduodama elektromagnetinio spinduliavimo metu.

Šilumos laidumą galima paaiškinti vidine medžiagų sandara. Gerą metalų šilumos laidumą lemia laisvųjų elektronų šiluminis judėjimas ir sąveika.

Šilumos laidumo būdu medžiaga neperduodama iš vienos kūno dalies į kitą arba iš vieno kūno į kitus. Šilumos laidumą galima paaiškinti vidine medžiagų sandara. Gerą metalų šilumos laidumą lemia laisvųjų elektronų šiluminis judėjimas ir sąveika. Skysčiuose ir dujose šiluma perduodama dėl molekulių smūgių ir difuzijos. Difuzijos įtaka šilumos laidumui yra ryškiausia dujose. Jų molekulės

yra toli viena nuo kitos, todėl susiduria rečiau ir lėčiau perduoda energiją viena kitai. Todėl dujos ir skysčiai yra blogi šilumos laidininkai.

Gerai šilumos laidininkai energiją perduoda greitai, daugiausia dalyvaujant laisviesiems elektronams. Tačiau ją perduoti gali ir svyruodami atomai. Medžiaga, kurioje šilumos laidumo vyksmas greitas, vadinama šilumos laidininku. Tokie laidininkai energiją perduoda daugiausia dalyvaujant laisviems elektronams (gebantiems laisvai judėti kietajame kūne). Jeigu energija perduodama atomų svyravimo dėka, medžiaga vadinama šilumos izoliatoriumi. Šilumos laidumas yra pernašos reiškinys. Kadangi yra temperatūros gradientas, molekulės perduoda kinetinę energiją. Matematiškai šį procesą aprašo Furjė dėsnis: šilumos srauto tankis proporcingas temperatūros gradientui:

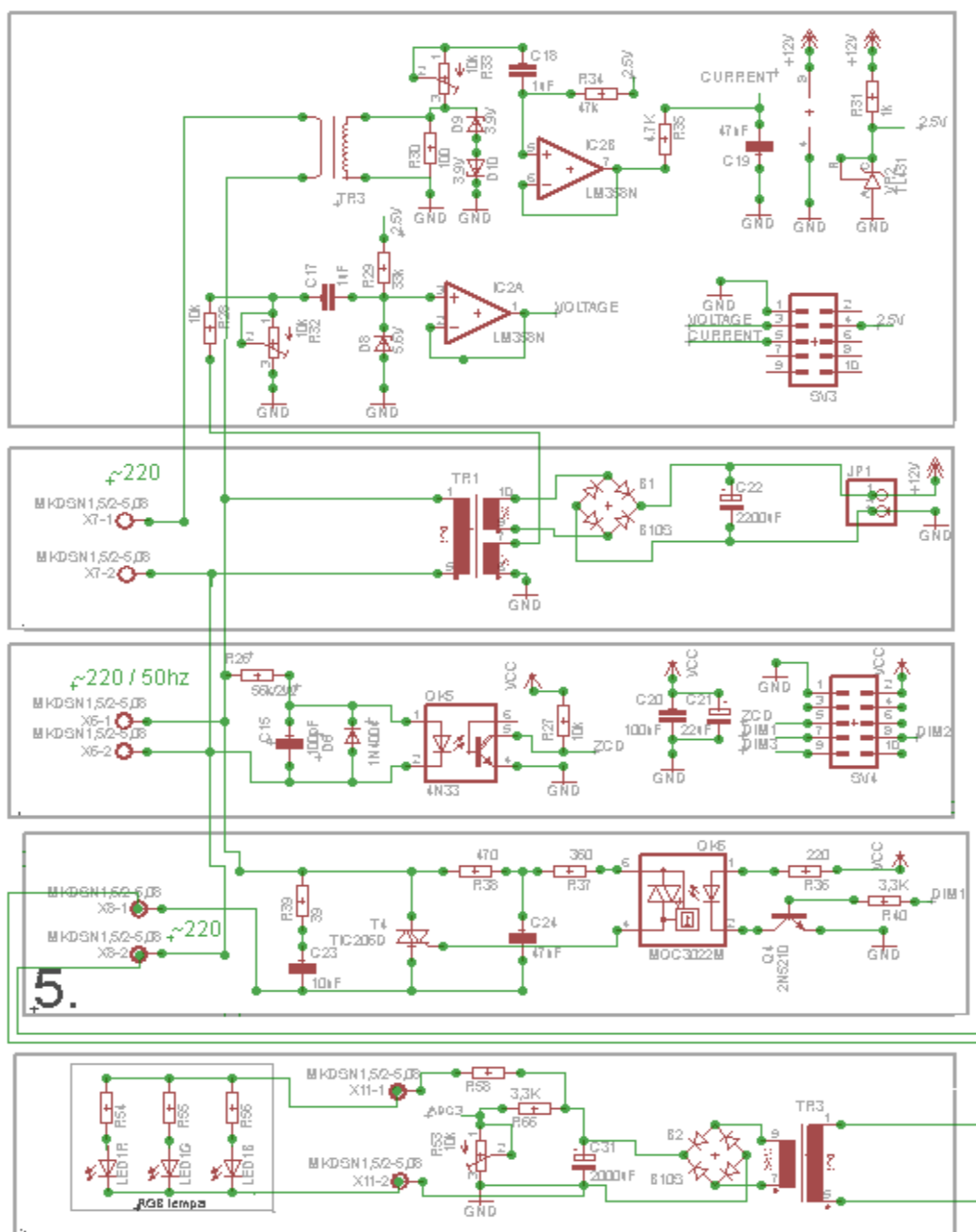
$$q = -\lambda \Delta T$$

Čia q - šilumos srauto tankis (šilumos kiekis perneštas per laiko vienetą vieno kvadratinio metro plotu) W/m^2 ;

λ - yra šiluminio laidumo koeficientas;

T - absoliutinė temperatūra.

Pradėta kurti RGBY LED lempa, kuri kartu su išmaniuoju galios keitikliu gali keisti išmaniosios laboratorijos apšvietimą, taip suteikiant dirbantiems daugiau patogumo. Galios keitiklio ir RGBY LED lempos schema pavaizduota 23 paveiksle. Temperatūra bus matuojama dėka analoginio termometro LM35DZ. Temperatūra būtina matuoti norint užtikrinti ilgą šviesos diodų darbo laiką, nes kuo didesnė temperatūra, tuo labiau trumpėja šviesos diodų darbo laikas. Lempos maitinimo schema pavaizduota 24 paveiksle. Panaudoti penki 1W galingumo RGB LED šviesos diodai, bei keturi geltonos spalvos šviesos diodai šiltesnės spalvos išgavimui. Visi jie jau turi MCPCB plokštes, kurios puikiai atiduoda šilumą į aplinką. Šviesos diodai jungiami lygiagrečiai atskiromis šakomis, tam kad nekiltų nepageidaujamų srovės šuolių, kurie šviesos diodams kenksmingi, panaudoti keturi srovės stabilizatoriai „LDD-1000H“. Ši schema pateikta 25 paveiksle. Šakų tekančioms srovėms matuoti gali būti panaudoti Holo davikliai tokie kaip LEM Instruments FHS 40-P. 23 paveiksle paskutiniame bloke esantis įtampos daliklis skirtas įtampos matavimui. Šis ryšys tiesiogiai pajungtas prie mikrovaldiklio ADC3 įėjimo.



23 pav. Galios keitiklio ir RGBY LED lempos schema

Visumoje šie prietaisai yra surinkti ir išbandyti. Kartais sunkumų sukelia sąsajos tarp valdiklio ir jo valdomų prietaisų. Taip nutinka dėl to, kad USB – Com232 adapteryje per greitai prisipildo buferiai, dėl ko kartais netenkama informacija, ar nutrūksta darbas.

Šviesos diodų tarnavimo laikas yra apie 60000 valandų prie normalių darbo sąlygų. Norėdami apskaičiuoti RGBY lempas šviesos diodų PN sandūros vertę, pasinaudosime pasikliautiniu koeficientu. Iš techninės dokumentacijos žinome PN sandūros temperatūrą.

3 lentelė. PN sandūros temperatūra

<i>Tiesioginė srovė (mA)</i>	<i>Maksimali sandūros temperatūra (°C)</i>
350	135
350	150

Čia 150 °C maksimali temperatūra esant aplinkos temperatūrai 40 °C. Šviesos diodams dirbant tokiomis sąlygomis, sugedimo tikimybė didėja eksponentiškai.

Taigi kad šviesos diodai veiktų ilgą laiką, PN sandūros temperatūra neturi viršyti 135 °C esant aplinkos temperatūrai 25 °C (informacija paimta iš techninės šviesos diodų dokumentacijos). Ieškome pasikliautinio koeficiento pagal formulę:

$$\frac{T_j - T_{aplinkos}}{T_{j,specifine} - T_{aplinkos}} = \frac{\Delta T}{T_{j,specifine} - T_{aplinkos}} \leq PK \quad (26)$$

Čia T_j - reikalinga sandūros temperatūra;

$T_{j,specifine}$ – nustatytoji sandūros temperatūra;

$T_{aplinkos}$ – aplinkos temperatūra;

ΔT - temperatūrų skirtumas tarp reikalingos ir aplinkos temperatūrų.

Kad neviršyti maksimalios sandūros temperatūros, skaičiavimams imsime nominalią temperatūrą 100 °C. Aplinkos temperatūrą pasirenkame 20 °C. Taigi:

$$\frac{100 - 20}{135 - 20} = 0,7 \leq PK$$

Pasikliautinį koeficientą (PK) pasirenkame 0,7 arba 70%.

Pertvarkius (26) lygtį gauname:

$$\Delta T = PK \times (T_{j,specifine} - T_{aplinkos}) = 0,7 \times (135 - 20) = 80,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (27)$$

Taip pat galime nustatyti ir maksimalią temperatūrą:

$$\Delta T_{max} = PK \times (T_{j,specifine} - T_{aplinkos}) = 0,7 \times (150 - 20) = 91 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (28)$$

Pertvarkius lygtį (26), gauname sandūros temperatūros formulę:

$$T_j = PK \times (T_{j,specifine} - T_{aplinkos}) + T_{aplinkos} \quad (29)$$

Iš čia apskaičiuojame sandūros temperatūrą:

$$T_j = 0,7 \times (135 - 20) + 20 = 100,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Taigi atliekant sekančius tyrimus PN sandūros temperatūra turi būti mažesnė nei $100,5 \text{ } ^\circ\text{C}$, esant aplinkos temperatūrai $20 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Analitinė analizė

Taigi tarkim pasirinkta šviesos diodų PN sandūrų temperatūra $100 \text{ } ^\circ\text{C}$, o tiesioginė srovė siekia 350mA. Šviesos diodo vienos spalvos galia siekia 1W. Tarkim, kad pasirinkti šviesos diodai išspinduliuoja 20% energijos [11], o likusi energija paverčiama šiluma (26 paveikslas), tuomet:

$$\eta = P_I / P_e \quad (30)$$

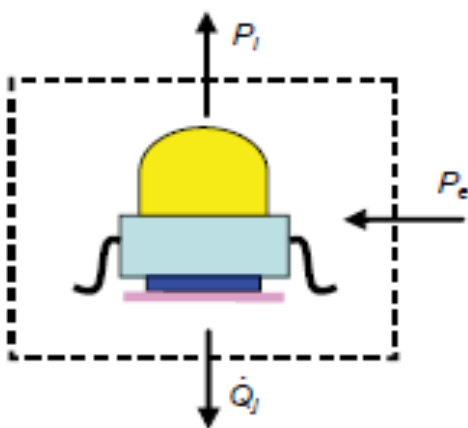
Čia η – RGB šviesos diodo naudingumo koeficientas;

P_I - šviesos pavidalu išspinduliuojama galia;

P_e - elektrinė galia.

Išreiškiame P_I :

$$P_I = \eta P_e \quad (31)$$



26 pav. Energijų mainai vykstantys šviesos spinduliavimui diode

Įsivaizduokime uždara šviesos diodo aplinką. Elektrinė galia (P_e) į šią aplinką įeina ir atlikdama darbą skaidosi į dvi komponentes: šilumą (Q_j) ir šviesos galią (P_l), kuri iš šios aplinkos išeina. Tad galima pritaikyti ir šilumos balanso lygtį:

$$\sum E_{i \rightarrow j} = \sum E_{j \rightarrow i} \quad (32)$$

Arba mūsų atveju būtų:

$$P_e = P_l + Q_j \quad (33)$$

Iš šios formulės išsireiškiamo šilumą (Q_j):

$$Q_j = P_e + P_l \quad (34)$$

Į (34) formulę įrašę išraišką iš (31) formulės gauname:

$$Q_j = P_e - \eta P_e \quad (35)$$

Arba:

$$Q_j = P_e(1 - \eta)$$

Vienos spalvos šakos tiesioginė srovė yra 350mA, o įtampa 3,3V, taigi elementariai galime apskaičiuoti vienos šakos galią:

$$P = U \times I = 0,35 \times 3,3 = 1,155 \text{ W} \quad (36)$$

Kadangi viename RGB šviesos diode yra trys spalvų šakos, tai bendra šviesos diodo galia bus:

$$P_{RGB} = 3 \times P = 3 \times 1,155 = 3,465 \text{ W} = P_e \quad (37)$$

Dabar turint visus parametrus, galime apskaičiuoti šviesos diodo išskiriamą šilumą:

$$Q_j = 3,465(1 - 0,2) = 2,772 \text{ W} \approx 2,8 \text{ W} \quad (38)$$

Paprastai šviesos diodams, išskiriantiems šilumos iki 0,5W kaip pagrindo spausdintinės plokštės nereikia, tačiau mūsų atveju ji yra būtina. Kadangi šilumos sklaidos galia yra apie 2,8W, šilumos nuvedimui naudojama metalo sluoksniu padengta spausdintinė plokštelė (*angl. Metal Coated Printed Circuit Board*). Tokia plokštelė pavaizduota 27 paveiksle.



27 pav. LED MCPCB plokštelė

Apskaičiuojama šios plokštelės terminė varža, o terminį laidumą galima apskaičiuoti pagal (39) formulę [19]:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{N_C} k_C t_C + \sum_{i=1}^{N_G} k_G t_G}{t} \quad (39)$$

Čia t – visos plokštelės storis;

t_C ir t_G - vario ir epoksidinės dervos sluoksnis;

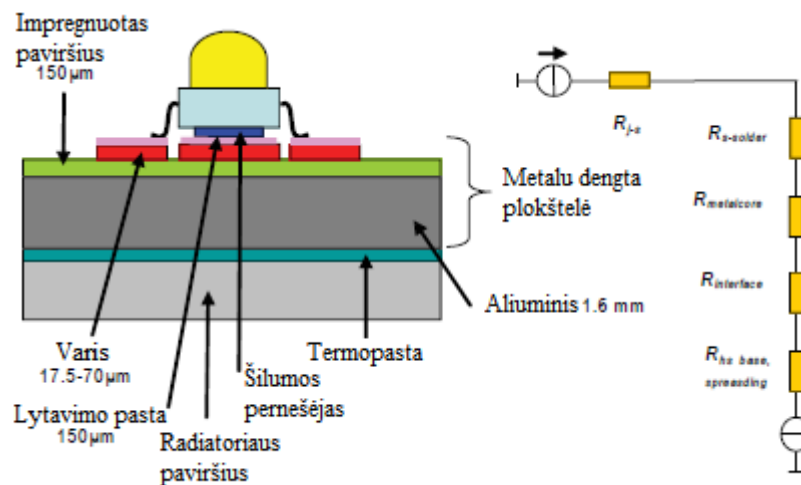
k_C ir k_G – vario ir epoksidinės dervos šiluminiai laidumai.

Ši lygtis gali būti pakoreguota į ją įtraukiant ir aliuminio sluoksnį, tada:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{N_C} \beta_i k_C t_C + \sum_{i=1}^{N_G} \beta_i k_G t_G + \beta_{AL} k_{AL} t_{AL}}{t} \quad (40)$$

Čia β - koeficientas, dėl skirtingų sluoksnių dydžių;

k_{AL} ir t_{AL} - aliuminio storis ir šiluminis laidumas.



28 pav. LED MCPCB terminė struktūra

Tokios plokštelės medžiagų savybės parodytos 4 lentelėje.

4 lentelė. MCPCB medžiagos

Medžiaga	Padengimas (%)	Šiluminis laidumas (W/m*K)	Sluoksnio storis (μ m)
Varis	50	385	70
Dielektrikas	100	3	150
Aliuminis	100	180	1600

Taigi gauta šiluminė plokštelės varža [14] $R_{plokstels} = 1K/W$, bei kiti dydžiai:

$$R_{litavimo} = 0,13K/W$$

Čia $R_{litavimo}$ - terminė varža tarp LED lusto ir šilumos pernešėjo.

$$R_{termopastos} = 0,2K/W$$

Čia $R_{termopastos}$ – termopastos tarp MCPCB ir radiatoriaus terminė varža.

$$R_{pernesejo} = 9K/W$$

Čia $R_{pernesejo}$ - terminė varža tarp PN sandūros ir šilumos pernešėjo.

Žiūrint į 28 paveikslą, galima matyti, jog šilumos perdavimas vyksta nuosekliai terminių varžų pavidalu, tad visa terminė varža nuo PN sandūros iki radiatoriaus bus šių varžų suma:

$$R_{visa} = R_{litavimo} + R_{termopastos} + R_{pernesejo} + R_{plokstels} = 0,13 + 0,2 + 9 + 1 = 10,33K/W$$

Šilumos pernešimo greitis tarp PN sandūros ir radiatoriaus išreiškiamas formule:

$$Q_j = \frac{T_j - T_{radiatoriaus}}{R_{visa}} \quad (41)$$

Kadangi visi dydžiai žinomi, galime apskaičiuoti radiatoriaus temperatūrą:

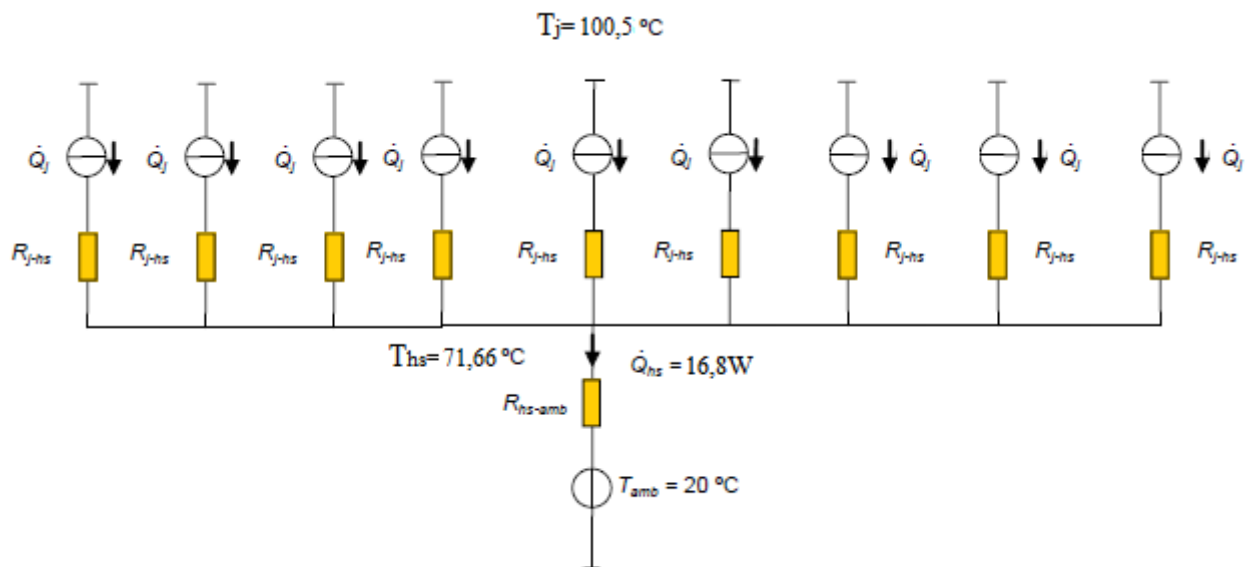
$$T_{radiatoriaus} = T_j - Q_j R_{visa} = 100,5 - 2,8 \times 10,3 = 71,66 ^\circ C$$

Kadangi ant radiatoriaus yra sudėti penki šviesos diodai ir keturi geltonos spalvos ($Q_j = 0,875(1 - 0,2) = 0,7W$), radiatorius turi gebėti pervesti $(5 \times 2,8W) + (4 \times 0,7W) = 16,8W$ galią nuo $71,66 ^\circ C$ iki aplinkos $20 ^\circ C$.

Remiantis terminine diagrama (29 pav.) galime apskaičiuoti terminę varžą nuo radiatoriaus į aplinką:

$$Q_{\text{radiatoriaus}} = \frac{T_{\text{radiatoriaus}} - T_{\text{aplinkos}}}{R_{\text{radiatoriaus}}} \quad (42)$$

$$R_{\text{radiatoriaus}} = \frac{T_{\text{radiatoriaus}} - T_{\text{aplinkos}}}{Q_{\text{radiatoriaus}}} = \frac{94,58 - 20}{16,8} = 4,44 \text{ K/W}. \quad (43)$$



29 pav. Terminė modelio diagrama

Taigi iš (43) lygties matome, jog radiatoriaus terminė varža turi būti mažesnė už $4,44 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$ arba jis turi sugebėti išsklaidyti $16,8 \text{ W}$ galios šilumą esant $51,66 \text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrų skirtumui.

Realaus modelio parinkto aliumininio radiatoriaus (AH197-100) temperatūra buvo apie $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Tai yra gan didelis skirtumas nuo modeliuotos, kuris tik parodo, jog radiatorius parinktas su didele šilumos sklaidos atsarga ir geba puikiai išsklaidyti šilumą, bei nepasiekti aukštos temperatūros. Duomenų nesutapimą taip pat galėjo įtakoti ir naudoto skaitmeninio termometro paklaidos, bei netikslus nustatymas. Tačiau, jei mes skaičiuotume paties radiatoriaus terminę varžą, kuri yra apie $2 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$, (t.y. pakilus vienam vatui, temperatūra padidėja dviem laipsniais), pamatytume, jog pasiekiamą temperatūra yra $16,8 \text{ W} \times 2 \text{ }^{\circ}\text{C/W} = 33,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, kuri nežymiai skiriasi nuo išmatuotosios.



30 pav. Radiatorius AH197-100

Aliumininių radiatorių terminė varža (kryptimi radiatorius – aplinka) svyruoja nuo $0,4^{\circ}\text{C}/\text{W}$ dideliems radiatoriams iki $85^{\circ}\text{C}/\text{W}$ mažiems elektronikos elementams. Dažniausiai pasitaikantys yra radiatoriai pagaminti iš aliuminio lydinų. Tokie lydiniai turi vieną iš didesnių terminių laidumų, kurie siekia $229\text{W}/\text{mK}$, tačiau jie yra minkšti. Varis turi bene dvigubai didesnį šiluminį laidumą ir greičiau išsklaido šilumą, tačiau yra tris kartus tankesnis ir apie šesiskart brangesnis už aliuminį.

IŠVADOS

1. Naujų RGB LED šviesos diodų kūrimas ir tobulinimas sparčiai vystomas ir jų potencialas didžiulis. Šviesos diodai po truputį, bet užtikrintai užkariauja apšvietimo sritį. Toks jų populiarumas lengvai paaiškinamas, juos lengva valdyti, mažas energijos suvartojimas, gana pigūs ir ilgaamžiai.

2. Išmanioji aplinka turi prisitaikyti prie žmonių pasikeitusių darbo, poilsio sąlygų, gebėti atskirti žmonių savijautą, jų būseną. Tokia sistema turi gebėti apdoroti didelį duomenų kiekį, iš įvairių temperatūros, padėties, elektrinio odos laidumo ir kito tipo jutiklių. Rinkti informaciją apie skirtingas žmonių būsenas į aplinkos pasikeitimus. Visa tai padaroma įvairių prietaisų, kompiuterių dėka, o pagal gautus ir išanalizuotus duomenis yra užprogramuojami mikrovaldikliai, kurie vykdo programą ir reaguoja realiu laiku į jutiklių parodymus, taip greitai keisdami žmogų supančios aplinkos parametrus tokius kaip apšvietimas, šildymas ir kt. Tokia išmani aplinka gali pagerinti žmogaus savijautą, sveikatą, darbingumą, nuotaiką ir sukurti didesnę komfortą ten kur jo trūksta.

3. Realaus modelio parinkto aliumininio radiatoriaus (AH197-100) temperatūra nuo skaičiuotos skyrėsi $46,66^{\circ}\text{C}$ (radiatoriaus buvo apie 25°C .) Tai yra gan didelis skirtumas nuo modeliuotos, kuris tik parodo, jog radiatorius parinktas su didele šilumos sklaidos atsarga ir geba puikiai išsklaidyti šilumą, bei nepasiekti aukštos temperatūros. Duomenų nesutapimą taip pat galėjo įtakoti ir naudoto skaitmeninio termometro paklaidos, bei netikslus nustatymas. Tačiau, jei mes skaičiuotume paties radiatoriaus terminę varžą, kuri yra apie 2°C/W , (t.y. pakilus vienam vatui, temperatūra padidėja dviem laipsniais), pamatytume, jog pasiekiamą temperatūrą yra $16,8\text{W} \times 2^{\circ}\text{C/W} = 33,6^{\circ}\text{C}$, kuri nežymiai skiriasi nuo išmatuotosios.

4. Buvo sukurtas ir išbandytas išmanus galios keitiklis. Jo pagalba sėkmingai reguliuotas patalpos apšvietimas, matuota suvartojama energija. Apšvietimas buvo valdomas naudojant impulso pločio moduliaciją. Tokiu būdu vartojama mažiau energijos, jei intensyvus apšvietimas nėra būtinas. Buvo parinkti tinklo srovės ir įtampos matavimui reikalingi elementai, priimti konstruktyviniai sprendimai kuriant RGBY šviesos diodų tipo lempą, bei sudarytos schemos tolesniam šio prietaiso tobulinimui.

5. Išmaniosios technologijos yra labai perspektyvios ir jų populiarumas turėtų vis didėti, ypač tarp pagyvenusių žmonių, kurie dažnai turėdami kokią nors negalią galėtų jaustis komfortabiliai. Pagal jų būseną susireguliuojantis apšvietimas bus puiki priemonė nuotaikai pakelti.

Literatūra

Moksliniai straipsniai:

1. A. A. Bielskis, A. Andziulis, O. Ramašauskas, E. Guseinovienė, D. Dzemydienė, G. Gričius. Daugelio agentų e. socialinės rūpybos paslaugų sistema išmaniojo ekologiško socialinio būsto gyventojams // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2011. – Nr. 1(107). – P. 11–14.
2. A. Andziulis, A.A. Bielskis, V.Denisovas, O. Ramašauskas, J. Bielskienė, P. Bielskis, E. Guseinovienė. An Approach of Creating of an Intelligent Mobile Tutoring Eco-social Laboratory for Assisted Recreation. Electronics and Electrical Engineering (ISSN 1392–1215), Nr. 3(91). – K.: Technologija, 2009, pp. 61–66.
3. A. A. Bielskis, V. Denisovas, D. Drungilas, G. Gričius, „Multi-Agent-Based Human Computer Interaction of E-Health Care System for People with Movement Disabilities“. ISSN 1392 – 1215 ELECTRONICS AND ELECTRICAL ENGINEERING 2010. No. 7 (103) – P. 77–82.
4. Bhardwaj, S.; Ozcelebi, T.; Lukkien, J. „Smart lighting using LED luminaries“ Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2010 8th IEEE International Conference – P. 654 - 659
5. Chun-Wen Tang; Fu-Cheng Wang; Bin-Juine Huang „Design and control of a RGB LED system“, ICE Annual Conference 2010 – P. 2555 – 2558
6. Ching, T.W. „Modular dimmable light-emitting-diode driver for general illumination applications“, Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2010 23rd Canadian Conference – P. 1 – 4
7. G.Gričius, A. A. Bielskis. Autonominės emocijų atpažinimo sistemos įrenginio „Atmega Oscilografas“ vystymas. Vadyba, ISSN 1648-7974 Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla, 2009, Nr.1 (14), p.99-106 (Index Copernicus (IC) DB <http://www.indexcopernicus.com>).
8. Yueh-Ru Yang „Implementation of a colorful RGB-LED light source with an 8-bit microcontroller“, Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2010 the 5th IEEE Conference, - P. 1951 - 1956
9. Koh,L.H.;Tan,Y.K.;Wang,Z.Z.;Tseng, K.J. „An energy-efficient low voltage DC grid powered smart LED lighting system“ IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society – P. 2883 - 2888

10. Min Gyu Kim; Hui Sung Lee; Jeong Woo Park; Su Hun Jo; Myung Jin Chung „Determining color and blinking to support facial expression of a robot for conveying emotional intensity“, Robot and Human Interactive Communication, 2008. RO-MAN 2008. The 17th IEEE International Symposium – P. 219 – 224
11. S.A. Stockman, P.S. Martin, M.R. Krames, R.S. Kern, F.M. Steranka, A.Y. Kim, W. Gotz, D.A. Steigerwald, J.J. Wierer, N.F. Gardner, J. Sun, „Performance of High-Power AlInGaN Light Emitting Diodes“ LumiLeds Lighting, 2001.
12. R. Fisher, S. Perkins, A. Walker, E. Wolfart. Gaussian Smoothing. 2009.
13. Shang Ping Ying; Chun-Wen Tang; Bin-Juine Huang,“ Charaterizing LEDs for Mixture of Colored LED light sources“ Electronic Materials and Packaging, 2006. EMAP 2006. International Conference – P. 1 – 5
14. Shabany, Y, Component Size and Effective Thermal Conductivity of Printed Circuit Boards, I THERM, 2002.
15. Shrestha, N.; Sohail, M.; Viphavakit, C.; Saengudomlert, P.; Mohammed, W.S. „Demonstration of visible light communications using RGB LEDs in an indoor environment“, Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2010 International Conference – P. 1159 - 1163
16. Suzdalenko, A.; Galkin, I. „Choice of power and control hardware for smart LED luminary“ Electronics Conference (BEC), 2010 12th Biennial Baltic – P. 331 - 334
17. Xiaohui Qu; Siu Chung Wong; Tse, C.K. „Color Control System for RGB LED Light Sources Using Junction Temperature Measurement“, Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE – P. 1363 - 1368
18. Xiaohui Qu; Siu-Chung Wong; Tse, C.K. „Temperature Measurement Technique for Stabilizing the Light Output of RGB LED Lamps“ , Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions – P. 661 - 670
19. Xin He; Guanying Cao; Nianyu Zou „Simulation of white light based on mixed RGB LEDs“, Communication Technology and Application (ICCTA 2011), IET International Conference“, - P. 961 – 964
20. Qpedia eMagazine, „Spreading Thermal Resistance: Its Definition and Control“, September 2007.

Interneto šaltiniai:

21. <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>. (žiūr. 2012-04-12)
22. http://www.lighting.philips.co.uk/pwc_li/ (žiūr. 2012-03-15)
23. <http://www.technologijos.lt> (žiūr. 2012-04-21)
24. <http://www.spec.lt/index.php?cid=445> (žiūr. 2012-04-05)
25. http://en.wikipedia.org/wiki/Yerkes–Dodson_law (žiūr. 2012-03-30)
26. <http://www.spec.lt/?cid=11933> (žiūr. 2012-03-30)
27. <http://www.slo.lt/index.php?cl=rekomenduoja> (žiūr. 2012-04-14)
28. <http://emblazeworld.wordpress.com/2009/05/28/smart-metering-future-of-energy-conservation/> (žiūr. 2012-03-12)

1 Priedas

Moksliniai straipsniai:

Energijos socialaus taikymo paslaugų kokybės rodiklių matavimas išmaniojoje laboratorijoje

Redas Petkus, Artūras Starostovičius, Andrius Antanas Bielskis

Klaipėdos universitetas, Elektrotechnikos katedra

Išvadas

Energijos socialaus taikymo paslaugų kokybės rodiklių matavimas išmaniojoje laboratorijoje priklauso nuo žmogaus emocijų, kurios stipriai siejasi su nervine sistema. Ji reguliuoja žmogaus nevalingus procesus. Šie nevalingi procesai gali būti fiksuojami tam tikrais fiziologinių parametru fiksavimo metodais, iš kurių nustatomi žmogaus fiziologiniai parametrai. Pagal fiziologinius parametrus, kurie laikui bėgant gali kisti, galima sudaryti žmogaus darbui laboratorijoje palankią aplinką, kuri pavyzdžiui automatiškai keistų darbo vietos apšvietimą ar įjungtų šilumos siurbį.

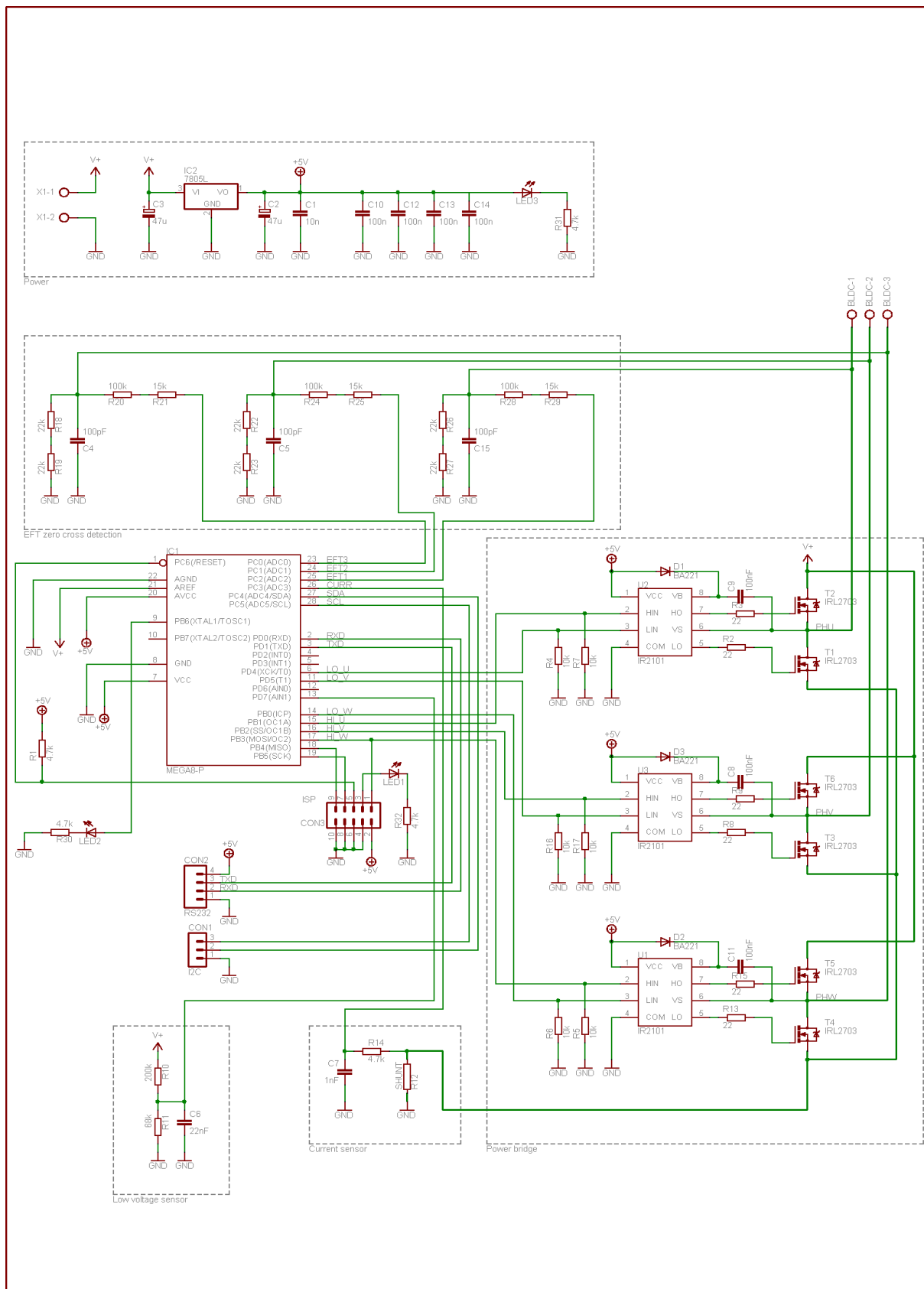
Darbo tikslas: sudaryti (1.) LED apšvietimo ir (2.) bešepetėlinio ventiliatoriaus (BLDC) valdymo (reguliavimo) schemas, kurios leistų automatiškai keisti atitinkamus parametrus išmaniojoje laboratorijoje, priklausomai nuo žmogaus būsenos.

Metodika ir rezultatai:

1. LED apšvietimo sistemų išmaniojoje laboratorijoje valdymas impulso pločio moduliavimo metodu, priklausomai nuo žmogaus būsenos.

LED - light emitting diode - įprastai vadinami šviesos diodai praplečia apšvietimo galimybes. Visų pirma tai taupiausi ir ilgaamžiškiausi šviesos šaltiniai, saugūs eksploatacijoje, nes nėra dūžtančių ar įkaitusių dalių, žema 12V įtampa.

LED apšvietimo valdymui naudotinos kelios schemas, leidžiančios paprasčiau valdyti LED apšvietimą. Paprasčiausias linijinės srovės reguliavimo metodas yra paprastos struktūros ir jis plačiai taikytas lygiagrečiai sujungtų LED šviestuvų ryškumo reguliavimui (diminimui). Tačiau linijinis diminimas nerekomenduotinas naudoti esant mažesnei srovei nei rekomenduotinoms darbo sąlygoms, nes tai gali sukelti nenusipėjamų rezultatų, ankstyvų gedimų ar nenormalias darbinės charakteristikas. Impulso pločio moduliacijos diminimo (reguliavimo) metodu galima reguliuoti LED apšvietimą keičiant impulso plotį. Šio dimerio pagalba (1 pav.), turint žmogaus nuotaikų būsenų rezultatus bei specialiai sukurta programą, galima atitinkamai valdyti LED apšvietimo ryškumą laboratorijoje.



2 pav. Bešepetėlinio (BLDC) variklio valdymo schema

Išvados:

Dimerio pagalba, bei turint žmogaus būsenų matavimo rezultatus, galima atitinkamai valdyti LED apšvietimo ryškumą ir bešepetėlinius (BLDC) ventiliatorius išmaniojoje laboratorijoje. Sukurtos valdymo schemos leidžia realiu laiku efektyviai reguliuoti LED apšvietimo ryškumą ir ventiliatoriaus greitį tam tikram diapozone.

Literatūra:

1. T. W. Ching, "Modular dimmable light-emitting-diode driver for general illumination applications" CCECE 2010 (May 2010), pg. 1-4
2. H. J. Chiu, Y.L. Lo, J. T. Chen, S. J. Cheng, C. Y. Lin, and S. C. Mou, "A high efficiency dimmable LED driver for low-power lighting applications," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 57, no. 2, pp. 735–743, Feb. 2010.

Santrauka

Energijos socialaus taikymo paslaugų kokybės rodiklių matavimas išmaniojoje laboratorijoje

Redas Petkus, Artūras Starostovičius, Andrius Antanas Bielskis
Klaipėdos universitetas, Elektrotechnikos katedra

Šiame darbe aprašomi LED apšvietimo ryškumo bei bešepetėlinio variklio (BLDC) reguliavimas moduluojant impulso plotį, panaudojant atitinkamas schemas. Užprogramavus generuojami impulso pločio signalai, kurių dėka atsiranda galimybė automatiškai reguliuoti atitinkamus parametrus išmaniojoje laboratorijoje, taip sudarant žmogaus darbo vietoje palankią aplinką.

Summary

Survey of energy indicators for social purpose in smart laboratory

Redas Petkus, Artūras Starostovičius, Andrius Antanas Bielskis
Klaipėda University, Department of Electrical Engineering

In this paper, the proposed LED illumination system and brushless (BLDC) motor is regulated by pulse – width modulation method. Micro-controller generates a dimming signal, so enabling to automatically adjust some indicators in smart lab. By doing so, the workplace becomes more user friendly.

2 Priedas

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 akademinę bendruomenę 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 protingesnį 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 įrenginiai 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 apšviestumo, temperatūros ir asmens emocinės būsenos matavimus.

2 Išmaniosios mikroklimato valdymo sistemos modelio parinkimas

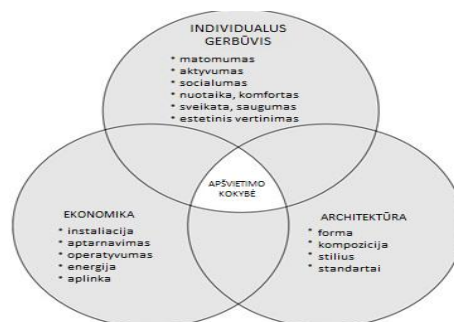
Eksperimentinės mikroklimato adaptyvaus valdymo laboratorijos (EMAVLab) modeliui gali būti pritaikytas „protingosios aplinkos“ (angl., „the smart environment“) modelis. Šis modelis paremtas automatiniu valdymu, kuris yra susijęs su adaptyviąja aplinka. Valdymas vyksta matuojant žmogaus fiziologinius 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, neraiškiają 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 *Aktoriaus* parinktus veiksmus. *Kritikas* naudojamas kaip reikšminė funkcija nuolatiniam mokymui atlikti, nes diskretus tolydžiai besikeičiančios aplinkos atstovavimas gali būti problematiškas.

3 EMAVLab apšvietimo valdymas

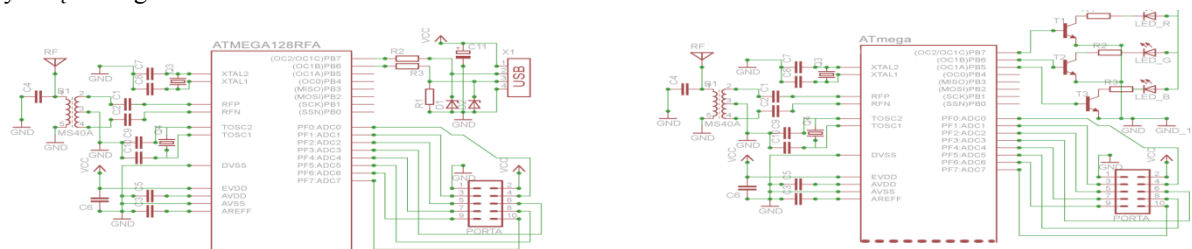
Tikėtina, jog šviesą spinduliuojantys diodai (LED) netolimoje ateityje taps pagrindiniais šviesos šaltiniais. Viena iš šių diodų rūšių, taip vadinamų raudonos-žalios-mėlynos (RGB) spalvų LED'ai, galintys realiu laiku keisti skleidžiamos šviesos spalvą, randa savo nišą biomedicinos aparatų, detektorinių 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 nevisiškai patenkina išmaniojo apšvietimo idėją (nėra tiesioginio sąryšio tarp žmogaus būsenos ir valdymo sistemos). Norint išvengti šios problemos, naudojama „*Ambient Comfort Affect Reward*“ (ACAR) automatinė išmanios aplinkos kontrolės sistema, t.y. naudojami metodai, kurių dėka randami aplinkos parametrai, automatiškai sureguliuojama sistema, taip leidžiant žmonėms komfortabilią jaustis toje aplinkoje [1, 6].



4 EMAVLab mikroklimato nuotolinio valdymo įterptiniais agentais sistemos modeliavimas.

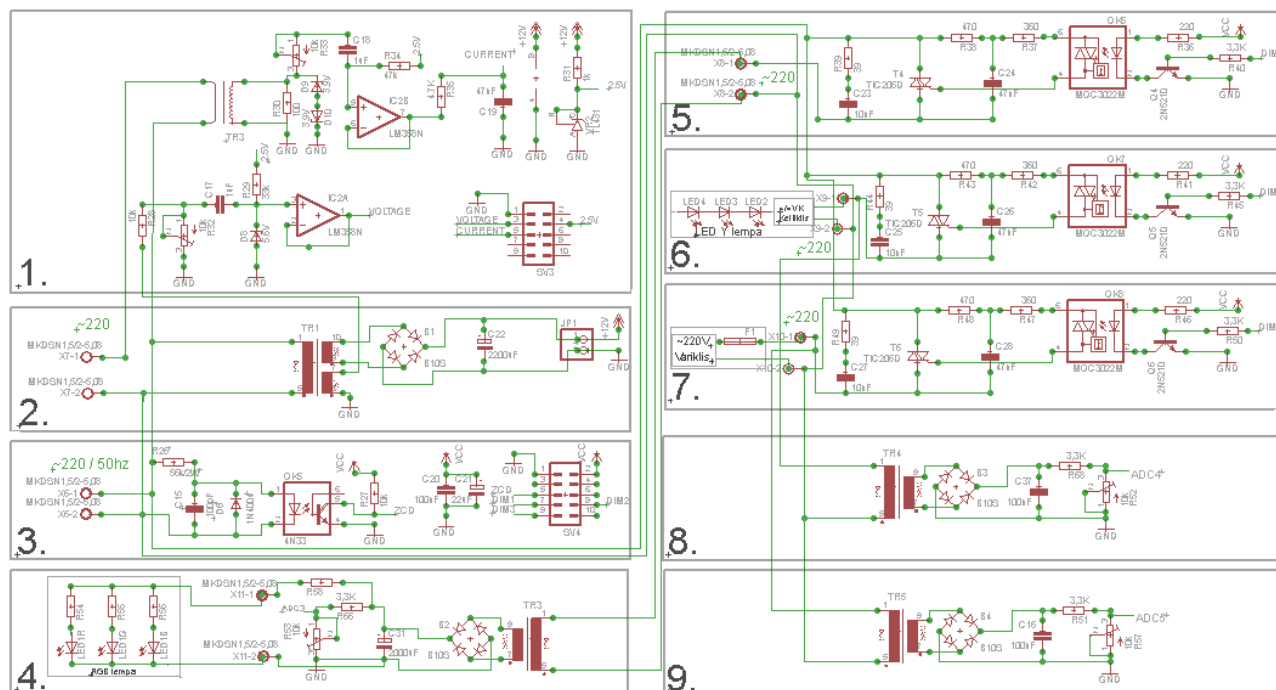
Eksperimentinės mikroklimato ir apšvietimo adaptyvaus valdymo laboratorijos (EMAVLab) paslaugų valdymo įterptiniais agentais sistemos modeliavimas vykdytas sukuriant, programuojant ir tiriant 2 – 3 pav. įterptinius agentus

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 į Atmega32 mikrovaldiklio atitinkamus bitus.



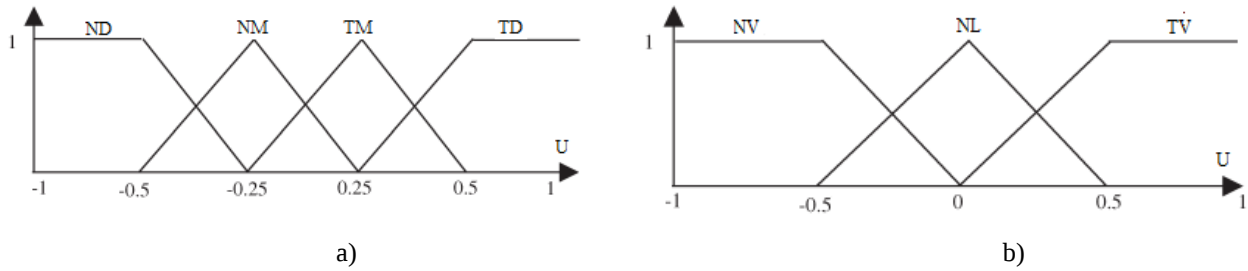
a) b)

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



3 pav. Maitinimo bloko ir galios regulatoriaus principinė schema: 1) Srovės *Current* ir įtampos *Voltage* momentinių verčių matavimo blokas; 2) Matuojamos įtampos transformavimo ir maitinimo blokas; 3) Nulinio 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 blokai; 8) 220V LED Y šviestuvų įtampos grįžtamojo ryšio blokas; 9) Šilumos siurblio įtampos grįžtamojo ryšio blokas.

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 $e(k)=y_o(k)-y(k)$ 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 vienetui. Neuronų $j=1, 2, 3, 4$ išėjimas $i=1$ įėjimui ir neuronų $j=1, 2, 3$ antrojo $i=2$ sluoksnio įėjimui gali būti taip skaičiuojamas: Teigiamam trikampio nuolydžiui, jei $X_i \geq a_j$ ir $X_i \leq b_j$,

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

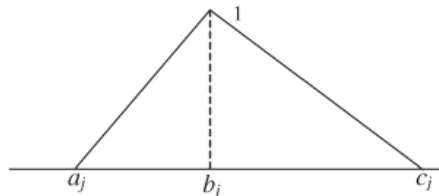
čia X_i yra i -tasis įėjimo į antrojo sluoksnio neuroną kintamasis; b_j ir c_j yra 2-jo sluoksnio j -tosios trikampės atstovavimo funkcijos kampų koordinatės.

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

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

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 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 $e(k)$ reikšmės ir trimis lingvistiniais kintamaisiais atstovaujamiems įtampos pokyčio $\Delta e(k)$ reikšmės. Kiekvienas trečiojo sluoksnio mazgo k išėjimas, išreiškiantis k -tosios iš 12 taisyklių įvykdymo galią - antecedentą, yra skaičiuojamas kaip:

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

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 konsekvantai. 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 neraiškiaja sąjungos operacija pagal maksimumo funkciją. Ketvirtasis sluoksnis veikia pasinaudodamas trečiojo sluoksnio išėjimais O_{3k} , padaugintais iš jungiančiųjų svorių W_{km} . Jo išėjimai:

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

čia skaičius k priklauso nuo jungčių iš 3 sluoksnio į atitinkamą m -ąją 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:

$$O_{5o} = \text{Sum}(O_{4m} * a_{cm} * b_{cm}) / \text{Sum}(O_{4m} * b_{cm}), \quad (9)$$

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

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 $\delta_m = (T_o - O_{5o}) * (\text{Sum}(O_{4j}(a_{cm} - a_{cj}))$ visiems $j = 1$ iki $m-1$, ($j < m$) / $\text{Sum}(O_{4j})$ visiems $j = 1$ 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 duotąją 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 apibūdinančią *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 sukurtais 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 dinaminių mikroklimato sistemos valdymo procesų ir išorinių trikdžių, užtikrinant stabiliąją vykdomo įtaisų maitinimo įtampą pagal patalpos temperatūrą $t(k)$, apšvietumą $E(k)$, 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.

3 Priedas