

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Industriālās elektronikas un elektrotehnikas institūts

Pēteris APSE-APSĪTIS
Doktora studiju programma „Elektrotehnoloģiju datorvadība”

**ELEKTROTEHNOLOĢISKO IEKĀRTU
BEZVADU MONITORINGA UN VADĪBAS
SISTĒMU IZPĒTE**

Promocijas darbs

Zinātniskais vadītājs
Akadēmiķis, Dr. habil. sc. ing., profesors
L.RIBICKIS

Rīga 2013

UDK

.....

Apse-Apsītis P. Elektrotehnoloģisko iekārtu
bezvadu monitoringa un vadības sistēmu izpēte.
Promocijas darbs. -R:RTU, 2013. -153 lpp.

Iespiests saskaņā ar IEE institūta 2012. gada
4.oktobra lēmumu, protokols Nr.68.

ISBN _____

ANOTĀCIJA

Promocijas darbā “Elektrotehnoloģisko iekārtu bezvadu monitoringa un vadības sistēmu izpēte” ir izklāstīta galveno pētījumu būtība attālinātās vadības, parametru un datu iegūšanas metodēs un paņēmienos vairākas spēka elektronikas un elektroiekārtu sistēmās.

Darbā ir veikta bezvadu monitoringa un vadības sistēmu (EIBMVS) klasifikācija, izstrādātas EIBMVS moduļu komunikācijas metodes un ir izpētīta EIBMVS praktiskā realizācija: a) elektropiedziņas un robotu sistēmās, b) LED gaismekļu vadībā, c) attālinātās vadības eLaboratorijas iekārtās un d) elektroenerģijas patērētāju monitoringa sistēmā.

Energoelektronikas elektriskās shēmas ir izstrādātas no EIBMVS potenciālā pielietojuma viedokļa objektos, kuros ir nepieciešama energoelektronikas lietošana.

Izstrādāta datorprogrammas FileMaker datubāzes izmantošanas metode EIBMVS vadībā.

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 153 lappusēm, satur 90 attēlus un ilustrācijas, 8 tabulas, 10 pielikumus un tajā ir izmantoti 134 informācijas avoti.

ANNOTATION

The Doctoral thesis “Research of Wireless Monitoring and Control Systems for Electrotechnology Equipment” reflects the content of the research in filed of the field of wireless remote control and measurement data acquisition techniques and methods in several power electronics electrotechnology systems.

The thesis deals with a classification of determining wireless parameters and control systems, communication methods and technique and practical evaluation for: a) electrical drive and robotics, b) LED lighting management, c) remote management of eLaboratory equipment, d) electricity consumption monitoring systems.

Wireless data exchange methods and power electronics circuitry is developed and discussed in terms of the potential application at sites which require the use of power electronics.

The thesis describes development of the use of a FileMaker database software for management of the systems.

The thesis are written in Latvian, contains 153 pages, 90 images, 8 tables, 10 annexes and is based on 134 bibliographical (information) sources.

АННОТАЦИЯ

Тема докторской диссертации “Исследование систем беспроводного мониторинга и управления системами электротехнологических устройств” отражено содержание исследований по методам и способам беспроводного управления и измерения параметров в нескольких системах силовой электроники и электротехнологических устройствах.

В диссертации проведена классификация систем беспроводного измерения параметров и управления электротехнологических устройств, разработаны методы коммуникации между модулями систем и исследована практическая реализация систем: а) в электроприводе и роботизированных системах, б) управления лампами LED, г) управления устройствами отдаленной лаборатории, д) мониторинга потребляемой энергии электропотребителей.

Обзор схем силовой электроники произведен исходя из потенциального применения этих схем в БМУСЭУ.

Разработан метод применения компьютерной программы базы данных FileMaker для управления системами.

Работа написана на латышском языке на 153 страницах, в ней 90 изображений, 8 таблиц, 10 приложений и использованы 134 источников информации.

SATURS

DARBĀ IZMANTOTIE SAĪSINĀJUMI	8
IEVADS.....	10
1.ELEKTROTEHNOLOĢISKO IEKĀRTU BEZVADU MONITORINGA UN VADĪBAS SISTĒMU (EIBMVS) FUNKCIONĀLĀS STRUKTŪRAS UN KLASIFIKĀCIJA.	18
1.1.EIBMVS funkcionālās struktūras.....	18
1.2.EIBMVS klasifikācija.	24
Klasifikācija pēc dialogrežīma	24
Klasifikācija pēc nesēja	25
Klasifikācija pēc pārklājuma	26
Klasifikācija pēc komunikācijas protokola	28
Klasifikācija pēc reakcijas laika	33
1.3.Secinājumi	34
2.EIBMVS METODES - ANALĪZE UN RISINĀJUMI	35
2.1.Ievads EIBMVS izveidē.....	35
2.2.Radioviļņu nesēja modulācija informācijas pārvadei.....	38
2.3.EIBMVS slēgumi un reakcijas laiks	43
Tiešās EIBMVS.....	43
Reālā laika EIBMVS	46
Vispārējās EIBMVS	50
2.4.EIBMVS tīkli.....	51
2.5.EIBMVS tīkls ar relāciju datubāzes vadību	53
2.6.Informācijas sūtīšanas - saņemšanas laika noteikšana.	62
2.7.Secinājumi	64

3.JAUNU EIBMVS MEZGLU IZSTRĀDE.....	65
3.1.Čūskveida kustības robota mezglu elektropiedziņa	65
3.2.Termokompensēts šunts strāvas mērīšanai un integrācijai EIBMVS.....	72
3.3.Secinājumi.....	77
4.EIBMVS EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI	78
4.1.Apgaismes sistēmas.....	78
4.2.Patērētāju elektroiekārtu enerģijas patēriņa monitoringa sistēma.....	91
4.3.EIBMVS bezvadu jaudas pārvades sistēmā	97
4.4.EIBMVS elektrotehnikas studijās.....	102
4.5.Secinājumi.....	114
DARBA KOPĒJIE SECINĀJUMI.....	115
IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI.....	117
PIELIKUMI.....	126
1. Viedtīkli un EIBMVS.....	126
2. SRD radioviļņu raidīšanas-uztveršanas moduļu raksturlielumi.....	128
3. Tiristoru laika releja modifikācija iekļaušanai EIBMVS.....	131
4. Elektroenerģijas patēriņa monitoringa sistēmas pieslēgumvietas moduļa PKP ...	133
5. Elektroenerģijas patēriņa monitoringa sistēmas centrālā moduļa PKP	135
6. Datu saņemšanas pa BV elektriskās jaudas pārvades mezglu PKP - A.dala.....	137
7. Datu saņemšanas pa BV elektriskās jaudas pārvades mezglu PKP - B. daļa.....	139
8. Divu servodzinēju un sensora iekārtas vadības PKP	141
9. Sistēmas “Dzinējs-Ģenerators” un Soļu dzinēja testēšanas PKP - A. daļa.....	145
10.Sistēmas “Dzinējs-Ģenerators” un Soļu dzinēja testēšanas PKP - B. daļa.....	148

DARBĀ IZMANTOTIE SAĪSINĀJUMI

Iekavās, slīprakstā ir dots nosaukums vai termins angļu valodā

ACP - analog-ciparu pārveidotājs, (*Analog to Digital Converter - ADC*)

ASK - 100% amplitūdas modulācija (*Amplitude Shift Keying - ASK*)

EI - elektrotehnoloģiska iekārta

EIBMVS - elektrotehnoloģisko iekārtu bezvadu monitoringa un vadības sistēma

bps - biti sekundē, komunikācijas ātrums (*bits per second*)

Bps - baiti sekundē komunikācijas ātrums (*bytes per second*)

BV - bezvadu (*wireless*)

DTMF - divtoņu daudzfrekvenču signālizācija (*Dual-tone multi-frequency signaling*).

EPMS - elektroenerģijas patēriņa monitoringa sistēma.

FDD - frekvenčdales duplekss (*Frequency Division Duplex*)

FMKRD - FileMaker lietojumprogramma EIBMVS,

FSK - 100% frekvences modulācija (*Frequency Shift Keying - FSK*)

GSM - mobilo sakaru globālā sistēma (*Global System for Mobile Communications*)

IC - integrālā shēma (*integrated circuit* arī *chip* vai *microchip*)

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineer*

ISM - industriālā, zinātniskā un medicīniskā (*Industrial, Scientific and Medical*)
pielietojuma nesējfrekvence

KRD - EIBMVS komunikācijas koka tīkls ar relāciju datubāzi

LCD - šķidro kristālu displejs (*Liquid Chrystal Display*)

MCU - mikrokontroleris (*MicroController Unit*)

MEMS - mikroelektromehāniskā sistēma(-s) (*MicroElectroMechanical Systems*)

PAN - personālais tīkls (*Personal Area Network*)

PKP - programmas koda piemērs

IPM - impulsa platuma modulācija (*Pulse Width Modulation-PWM*)

RC - distances vadība (*Remote Control*)

SDK - programmēšanas rīku kopa (*Software Development Kit*)

SMPS - impulsu barošanas avots (*Switching Mode Power Supply*)

TDM - laika dales dubleksēšanas (*Time Division Multiplexing*)

TTL - tranzistora-tranzistora loģika (*Transistor-Transistor Logic*)

UART - universiālais asinhronais raidzvērs (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*)

WiFi - *Wireless Fidelity*, populāra komunikācijas tehnoloģija, kura balstās uz IEEE 802.11 standartu kopu

WiMAX - *Worldwide Interoperability for Microwave Access*

ZigBee - mazjaudas ciparu radiosakaru datu apmaiņas platforma, kura balstās uz IEEE 802.15 standartu kopu personāliem tīkliem

IEVADS.

Bezvadu informācijas apmaiņas paņēmieni starp attālinātiem objektiem bija zināmi un tos izmantoja jau tālā pagātnē - signālugunskuri, akustiskie signāli, signālkarodziņi u.c.

Mūsdienās ar bezvadu informācijas apmaiņu saprot informācijas apmaiņu, kura izmanto dažādas bezvadu raidīšanas - uztveršanas metodes un paņēmienus: audio, infrasarkanā vai radioviļņu komunikāciju. No minētajiem, galvenokārt, izmanto radioviļņu komunikācijas paņēmienus un metodes.

Telemetrijas un telekomandu izmantošana ir zināma jau kopš 19.g.s vidus. 20.g.s sākumā telemetriju sāka izmanto elektrisko tīklu slodžu monitoringā. Telemetriju un telekomandas izmanto daudzās ražošanas sfērās, piemēram medicīnā, naftas un gāzes ieguvē u.c. To izmanto arī zinātniskajā pētniecībā, ieskaitot kosmosa izpēti, piemēram, Marsa zonde “Curiosity” un mobilā platforma “Curiosity Rover” [82]. Telemetriju un telekomandas nodrošina speciālas, tieši šiem nolūkiem paredzētas iekārtas un sistēmas.

Vispārīgā skatījumā, promocijas darba izpētes tēma ietilpst telemetrijas un telekomandu kategorijā.

IKT kopumā un to bezvadu komunikācijas pēdējo 10-15 gadu laikā ir kļuvušas par nozīmīgu ekonomikas un pētniecības nozari. Galvenais bezvadu datu komunikācijas attīstības dzinējspēks ir patērētāju multifunkcionālo stacionāro un mobilo ierīču lietojumprogrammu izmantošanas pieaugums un to savstarpējās komunikācijas nepieciešamība. Vairāku desmitu gadu garumā, sekojot informācijai literatūrā, publikācijās un ražotāju informatīvajos materiālos (*white paper*), iespējams secināt, ka bezvadu komunikācija, galvenokārt, ir apskatīta no programmatūras, lietojumprogrammu vai bezvadu sakaru realizācijas skatu punkta, bet minimāli un fragmentēti no EIBMVS skatu punkta. Arī autors līdz šim vairāk bija pievērsies bezvadu sakaru realizācijai plaša patēriņa IKT ierīcēs, piemēram, [130]...[134].

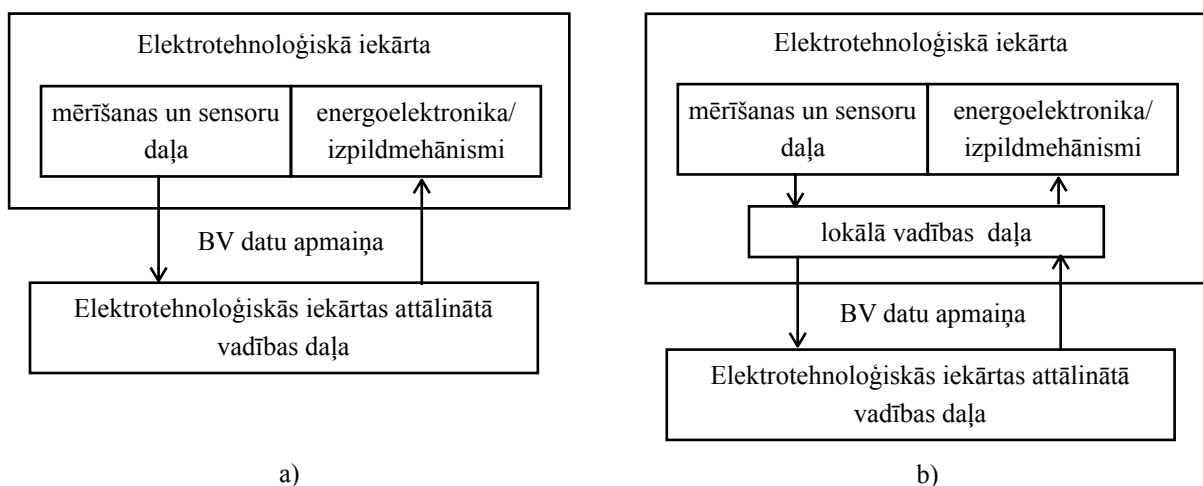
Pieaugot atsevišķu, pilnīgi vai daļēji autonomu, elektrotehnoloģisko iekārtu iekļaušanai lielākās sistēmās, tām veido centralizētas vadības, datu uzkrāšanas u.c. moduļus un iekārtas. Komunikācijas vadu izmantošana daudzos gadījumos, piemēram, starp elektrotehnoloģiskām iekārtām, kuras atrodas atsevišķās ēkās, vai ja elektrotehnoloģiskās iekārtas maina

novietojumu telpā (mobilas iekārtas vai to mezgli), var būt grūti vai pat neiespējami realizējama.

Potenciāls risinājums ir bezvadu (BV) komunikācija.

Vairāku desmitu gadu garumā, sekojot informācijai literatūrā, publikācijās un ražotāju informatīvajos materiālos (*white paper*), iespējams secināt, ka bezvadu komunikācija, galvenokārt, ir apskatīta no programmatūras, lietojumprogrammu vai bezvadu sakaru realizācijas skatu punkta, bet minimāli un fragmentēti no elektrotehnoloģisko iekārtu bezvadu monitoringa un vadības sistēmu (EIBMVS) skatu punkta.

Tādēļ nav skaidra ekonomisko BV komunikācijas risinājumu ZigBee vai SRD (*Short-Range Device*) iespējas un komplikētība pielietojumam EIBMVS, kuru struktūra attēlota A.1. attēlā un kuras sīkāk ir aprakstītas 2. nodaļā.



A1. att. Elektrotehnoloģisko iekārtu bezvadu monitoringa un vadības sistēmas EIBMVS
a) momentānā, b) un reālā laika

Aktuālais izpētes jautājums (aktuālā problēma):

iespējas integrēt zināmos ekonomiskos bezvadu datu apmaiņas risinājumus tiešās un reāla laika EIBMVS ar mērķi nodrošināt nepieciešamos elektrotehnoloģisko iekārtu darba uzdevumus un šādas integrācijas potenciālās problēmas.

Citiem vārdiem, rast atbildi uz jautājumu “*Vai ir iespējams aizstāt komunikācijas vadus starp elektrotehnoloģiskām iekārtām un to mezgliem ar bezvadu komunikācijas līdzekļiem?*”

Problēma ir aktuāla gan no tehniskā aspekta, gan no risinājuma izvēles ekonomiskā aspekta.

Ievērojot iepriekš minēto, **promocijas darba mērķis** ir izpētīt pazīstamo ekonomisko bezvadu datu apmaiņas risinājumu piemērotību telpā izkliedētu elektrotehnoloģisko iekārtu un to moduļu “mākoņa” (*cloud*) vadībai un parametru vērtību iegūšanai tieši vai reālā laikā un tos eksperimentāli pārbaudīt EIBMVS ietvaros.

Galvenie **darba uzdevumi** promocijas darba mērķa realizēšanai ir:

- klasificēt un analizēt bezvadu komunikācijas sistēmas, to parametrus un komunikācijas protokolus,
- izpētīt galvenos datu/komandu apmaiņas bezvadu komunikācijas risinājumus,
- noteikt bezvadu datu apmaiņas laika aiztures EIBMVS darbībā,
- daļēji pielāgojot praksē plaši izmantotas datorprogrammas, izveidot EIBMVS vadības (centrālo) mezglu,
- izstrādāt elektrotehnoloģisko iekārtu mezglu piemērus, to integrēšanai EIBMVS,
- izstrādāt un izveidot EIBMVS eksperimentāliem pētījumiem paredzētu iekārtu prototipus.

Bezvadu informācijas apmaiņas vēsturi un attīstību veido elektromagnētisma, radiosakaru un elektronikas vēsture un attīstība.

1820. g. Andre Ampērs (*Andre-Marie Ampere*) izveidoja galvanometru.

1840. g. Samuels Morze (*Samuel Morse*) patentēja elektrisko telegrāfu - “*Improvement in the mode of communicating information by signals by the application of electromagnetism*” [80].

1873. g. Džeimss Maksvels (*James Clerk Maxwell*) publicēja “Apcerējums par elektrību un magnētismu” (*A Treatise on Electricity and Magnetism*), kurā matemātiski pamatoja toreiz vēl nezināmo elektromagnētisko viļņu esamību. Pirms tam, 1867 .g. viņš publicēja rakstu “*On governors*”, ko bieži uzkata par vadības teorijas aizsākumu.

1879. g. Deivids Hjūss (*David Edward Hughes*) izstrādāja dzirksteļspraugas raidītāju un uztvērēju kā bezvadu komunikācijas sistēmu, ar kuru bija iespējams nosūtīt un saņemt Morzes koda signālus līdz 500 jardu (460 m) attālumam [49]. Ierīci viņš arī demonstrēja “*The Royal*

Society of London for Improving Natural Knowledge” 1880.g. Toreiz ierīces radītais efekts kļūdaini tika novērtēts kā indukcija.

1898.g. Nikolā Tesla (*Nikola Tesla*) veiksmīgi demonstrēja ar radioviļņu palīdzību vadāmu kuģīša modeli izstādē “*Elektro*” (*Madison Square Garden, New York*), Viņš saņēma ASV patentu Nr 613,809 [97].

Ampērs, Morze, Hjūss un Tesla, pēc autora domām, ir bezvadu mēriekārtu un vadības sistēmu pamatlicēji un pionieri. Pēc tam būtu jāmin Heinriha Herca (*Heinrich Hertz*) 1887.g. eksperiments un 1893.g. sekojošā grāmata “*Elektriskie viļņi*” (“*Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft*”), Markoni (*Guglielmo Marconi*), Popova (Александр Степанович Попов) u.c. pētnieku un eksperimentētāju darbi un sasniegumi.

Šodien par pašsaprotamām uztvertās un plaši izmantotās tehnoloģijas balstās uz nozīmīgu teorētisko un praktisko pētījumu virkni. EIBMVS izmanto ievērojamu daļu no elektrotehnikā, elektrotehnoloģijās un automātikā izmantotām metodēm un tehnoloģijām.

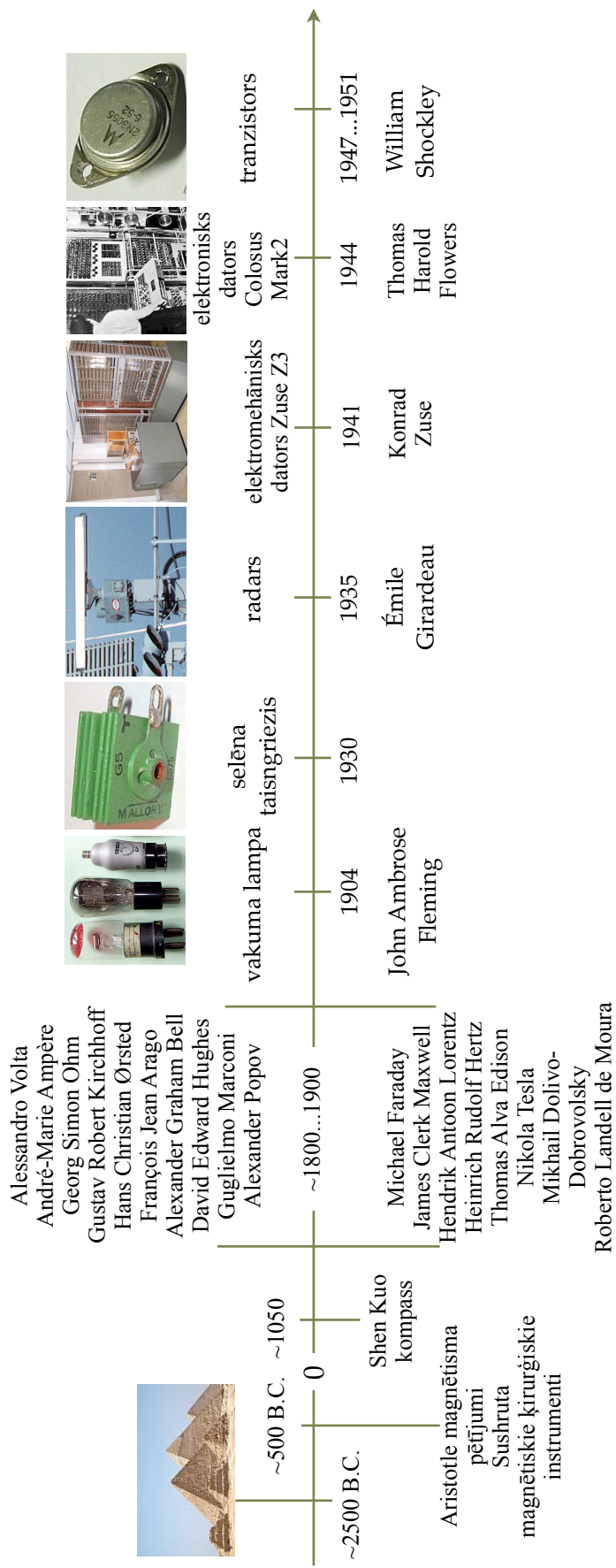
Veidojot un izstrādājot EIBMVS, zināšanas tehnoloģiju vēsturē ir vienlīdz nozīmīgas ar zināšanām shematiskos risinājumos, elektrisko/elektronisko shēmu elementos un to darbības principos.

Nepieciešamību iegūt zināšanas tehnoloģiju vēsturē, citiem vārdiem var aprakstīt kā: “*Tie, kas nespēj mācīties no vēstures, ir nolemti to atkārtot.*” /Sers Vinstons Čērčils/.

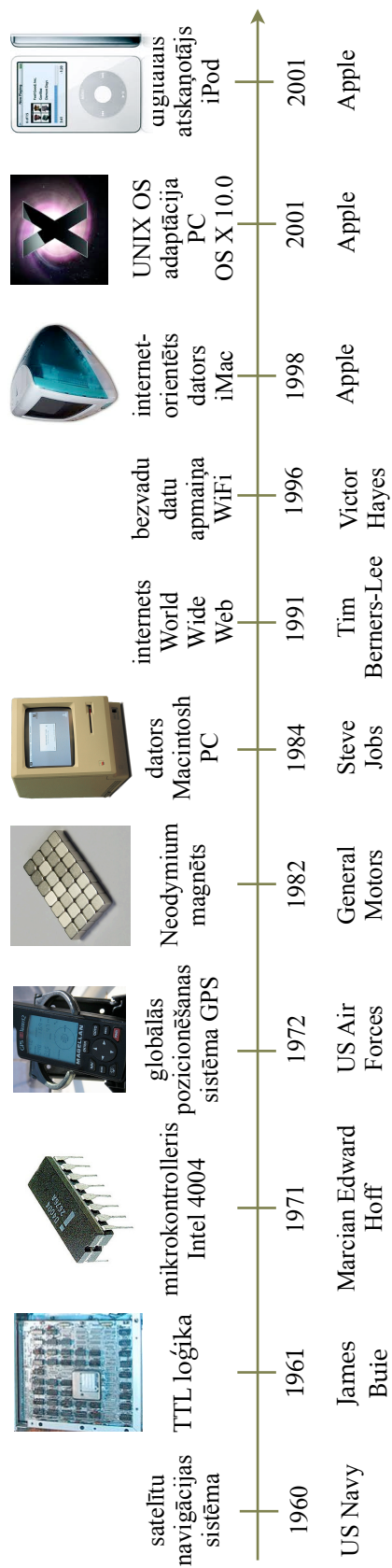
Nezinot tehnoloģiju vēsturi, var viegli kļūdīties, uzskatot izstrādi par tehniski-tehnoloģisku jaunu un līdz šim nezināmu, lai arī metodei, paņēmienam vai risinājumam var būt desmitiem gadu gara vēsture. Autoram savā 45 gadu praktiskās pieredzes uzkrāšanas periodā elektrotehnikā, elektronikā, energoelektronikā, radiotehnikā un automātikā, savās izstrādēs ir nācies ar minēto saskarties.

Tehnoloģisko sasniegumu vēsturiskā secība, tās galvenie punkti, pēc autora domām, koncentretā veidā ir parādīta A.2. un A.3. attēlos.

Elektromagnētismā izmantoto magnētisko lauku veido gan dabā atrodamie materiāli (dzelzs rūda), gan mākslīgi veidotie magnēti, piemēram, neodīma magnēti (*Neodymium magnet*) [42], gan elektriskā strāva, kura dabā, viegli izmantojamā veidā, nav sastopama.



A.2. att. Tehnoloģiju vēsture



A.3. att. Tehnoloģiju vēsture (turpinājums)

Piemēram, elektriskās zivis un zibeni nevar praktiski pielietot.

Šodien zināmie un izmantotie gan bezvadu sakaru, gan elektriskās strāvas un jaudas/enerģijas iegūšanas, pārvades, konvertēšanas u.t.t. pielietotie paņēmieni, metodes un sakarības ir daudzu pētnieku neskaitāmu pētījumu, eksperimentu un atklājumu rezultāts.

EIBMVS sensoru moduļi ar autonomu elektrobarošanu, ļauj tehniski vieglāk iegūt informāciju par dažādiem iekārtu, sistēmu un konstrukciju parametriem, apkārtējas vides parametriem u.c., piemēram, putekļu piesārņojumu gaisā vai augsnes mitrumu.

EIBMVS izmanto veidojot viedās sistēmas - viedās mājas, viedtīklus u.c.

Daudzas plaši izmantotās patērētāju ierīces, piemēram, viedtelefonu, nosacīti veic vai var veikt daudzas EIBMVS funkcijas. Kā piemēru var minēt GPS (*Global Positioning System*) ģeogrāfisko koordinātu noteikšanu, distances noteikšanu ar viedtelefona fotokameru, digitālā osciloskopa u.c. ar atbilstošām lietojumprogrammām. Šīs ierīces un to elementi, ir piemēroti izmantošanai EIBMVS, kur nepieciešama augsta uzticamība. Lielais saražoto un ikdienā lietojamo šādu ierīču skaits prasa lai tām būtu augstu uzticamība (reputācijas un ekonomisko apsvērumu dēļ).

Piemēram, korporācijas Apple pārdošanas apjomi 2012. g. 2.ceturksnī bija 35,1 miljoni iPhone viedtālrunu un 11,8 miljonu iPad planšetdatoru [64]. Šīs plaša patēriņa ierīces izmanto praktiski vienādu operētājsistēmu un lielu skaitu vienādu elektronisko elementu. To pārdošanas apjoms gada laikā ir pieaudzis attiecīgi par 88% un 151%. Šādi labi rādītāji nav iespējami, ja ierīcēm ir zema uzticamība, t.i. nav pārlicība, vai ierīce darbosies kā paredzēts, jo sevišķi nepieciešamības gadījumā, vai bieži bojājas.

EIBMVS vadības iekārtas izstrādē vairāk ir jāpievēršas viedtelefonu un planšetdatoru lietojumprogrammu izmantošanai: gan no iespēju, gan no uzticamības, gan arī no izstrādes izmaksu viedokļa. Lietojumprogrammu veidošanai EIBMVS kontekstā ir nepieciešamas programmēšanas zināšanas un prasmes, lai varētu izmantot piedāvātos SDK (*Software Development Kit*), kas ievērojami atvieglo programmēšanu.

Darba **1.nodaļā** ir aprakstītas EIBMVS funkcionālās struktūras un veikta EIBMVS analīze un klasifikācija pēc dažādiem iespējamiem pielietojuma veidiem, parametriem vai esošajiem standartiem.

2. nodaļa ir veltīta EIBMVS vadības metodēm un to analīzei. Īpaša uzmanība ir veltīta datubāzes programmas izmantošanai EIBMVS vadībā: izveidots EIBMVS tīkls ar relāciju datubāzes vadību. Viegli izmantojama vadības programma bieži ir nepieciešama spēka elektronikas iekārtu izstrādātājiem, kuriem nav speciālu zināšanu programmēšanas valodās, nav pieredze liela apjoma programmēšanā u.t.t., bet kuri vēlas papildināt savas izstrādes ar datubāzu programmas iespējām.

3. nodaļā ir aprakstīti izstrādātie jaunie EIBMVS un citur izmantojamie mezgli, kuru uzbūve ir patentēta vai saņemts pozitīvs atzinums starptautisko patentu izpētē, ar mērķi to patentēt. Tie ir: čūskskveida kustības robota mezglu elektropiedziņa un termokompensēta šunta izstrādne strāvas mērīšanai EIBMVS u.c. elektriskās shēmās.

4. nodaļā ir aprakstīti EIBMVS eksperimentālo pētījumu rezultāti - EIBMVS apgaismes sistēmās, patērētāju elektroiekārtās, elektropiedziņas sistēmās un robotu mezglos., ka arī EIBMVS pielietojums elektrotehnikas priekšmetu apmācībai attālinātas vadības laboratorijā.

Ir vispārzināms - šodien tehnoloģijas un to elementi attīstās un mainās ļoti strauji, to starpā arī EIBMVS. Šīs izmaiņas ir ievērojami straujākas, salīdzinot ar iespējām publicēt informāciju par jaunumiem. Publikācijas brīdī, informācija bieži vien jau nav aktuālākā un jaunākā. Patenta izpētes procesa laiks vai pētījuma/eksperimenta publicēšana iespieddarba formā aizņem 6-12 mēnešus un vairāk. Tadēļ šajā darbā daudzviet ir minētas atsauces uz internetā pieejamo informāciju, kura potenciāli atbilst visjaunākajai informācijai - ražotāju mājaslapas, produktu katalogi, profesionālo izdevumu elektroniskās versijas u.c. Šāda veida informācija praktiski netiek iespiesta.

Informācijas avotos ietvertas autora publikācijas [124] ... [134] uz kurām nav tieša atsauce, bet kuru saturs atbilst promocijas darba tēmai un kontekstam.

Visas norādes uz internetā pieejamo informāciju ir pārbaudītas 2012.g. 1.-2. oktobrī.

Promocijas darbs ir izstrādāts ar daļēju Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā "Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai".

Autors izsaka pateicību visiem, kuri dažādi ir palīdzējuši šī darba tapšanā.

1. ELEKTROTEHNOLOĢISKO IEKĀRTU BEZVADU MONITORINGA UN VADĪBAS SISTĒMU (EIBMVS) FUNKCIONĀLĀS STRUKTŪRAS UN KLASIFIKĀCIJA.

1.1. EIBMVS funkcionālās struktūras.

EIBMVS funkcionāli ietver divās galvenās daļas - parametru mērīšanas / komandu realizācijas daļu, kura atrodas EI un attālināto vadības daļu, kuras ir aprīkotas ar bezvadu (BV) sakaru moduļiem.

Atšķirībā no lokālajām monitoringa / vadības sistēmām, kur operatoram ir iespēja tieši veikt mērījumus vai realizēt vadības komandas, attālinātai mērījumu veikšanai vai vadības komandu realizēšanai EIBMVS nepieciešams ietvert:

- raidīšanas (*transmitter*) moduli - raidītāju,
- uztveršanas (*receiver*) moduli - uztvērēju vai
- kombinēto raidīšanas-uztveršanas (*transceiver*) moduli - raiduztvērēju,

Papildus nepieciešams izmantot adreses vai nosaukums (lokālus vai globālus)mērinstrumenta un vadāmās iekārtas identificēšanai,

Komunikācijai izmanto kādu no BV datu apmaiņas protokoliem, kuri ietilpst virknes (*serial*) datu apmaiņas protokolu grupā.

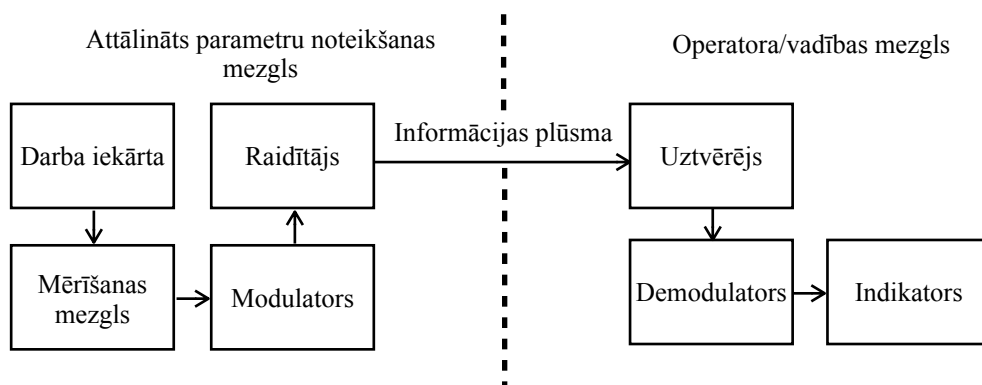
Realizēt paralēlo datu apmaiņas protokolu ir iespējams, tomēr tas ir tehniski sarežģīti un neekonomiski: katru informācijas baita individuālo bitu pārraida un uztver pa savu bezvadu datu apmaiņas kanālu - nepieciešama sava nesējfrekvence katram bitam. Informācijas apmaiņai, kura ir kodēta 8-bitu kodā (piemēram, ASCII [86]), nepieciešamas 8 atšķirīgas nesējfrekvences, 8 raidītāji un 8 uztvērēji vienvirziena komunikācijai.

Par paralēlam datu apmaiņas protokolam līdzīgu struktūru var uzskatīt 2.2. nodaļā aprakstīto vienjoslas modulācijas paralēlā monitoringa - vadības sistēmu.

Vienvirziena EIBMVS funkcionālā struktūra.

Vienvirziena sistēmas nosacīti ietilpst kopējā EIBMVS, jo tajās veic vai nu tikai monitoringu, vai tikai vadību. Lai arī šodien reti izmanto informatīvas/vadības sistēmas bez informatīvās atgriezeniskās saites, tomēr arī šādas sistēmas ir iekļaujamas EIBMVS.

EI BV sakaru moduļi izmanto infrasarkanās gaismas IR (*infrared* - IR) vai, šodien pārsvarā, radioviļņu raidītājus/uztvērējus attālinātā mēriekārtā un atbilstošu raidītāju/uztvērēju, kurš atrodas pie operatora vai citas iekārtas (1.1.1. attēls). Izņēmums ir vadāmās monitoringa ierīces. Vadāmās monitoringa ierīces raksturo nepieciešamība mainīt mērīšanas diapazonu, mērāmos parametrus u.c. Šādas BV mēriekārtas ietilpst EIBMVS kategorijā.



1.1.1. att. BV parametru noteikšanas / monitoringa sistēma

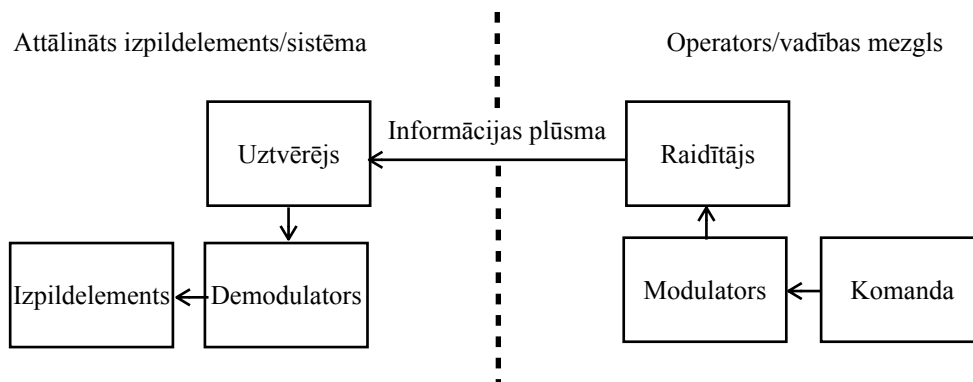
EI BV vadības sistēmās izmanto pretēju kombināciju - raidītājs atrodas pie operatora vai citas iekārtas, bet uztvērējs - pie attālināta izpildmehānisma vai izpildiekārtas (1.1.2. attēls). Šādi veidotas sistēmas var attālināti vadīt izpildierīces, bet operatoram nav informācijas par attālinātās sistēmas stāvokli un veicamo darbību atbilstību sūtītajām komandām. 1.1.1. un 1.1.2. attēlā parādīto vienvirziena informācijas pārraidi sauc par simpleksa (*simplex*) datu pārraidi.

Divvirzienu EIBMVS funkcionālā struktūra.

EIBMVS ar atgriezenisku saiti un vadāmās monitoringa sistēmas (kā minēts iepriekš) un EIBMVS kopumā izmanto nepilna vai pilna duplexa (*half-duplex*, *full-duplex*) BV komunikāciju.

Nepilna duplexa BV komunikācija ir EIBMVS monitoringa sistēmas (1.1.1. attēls) un

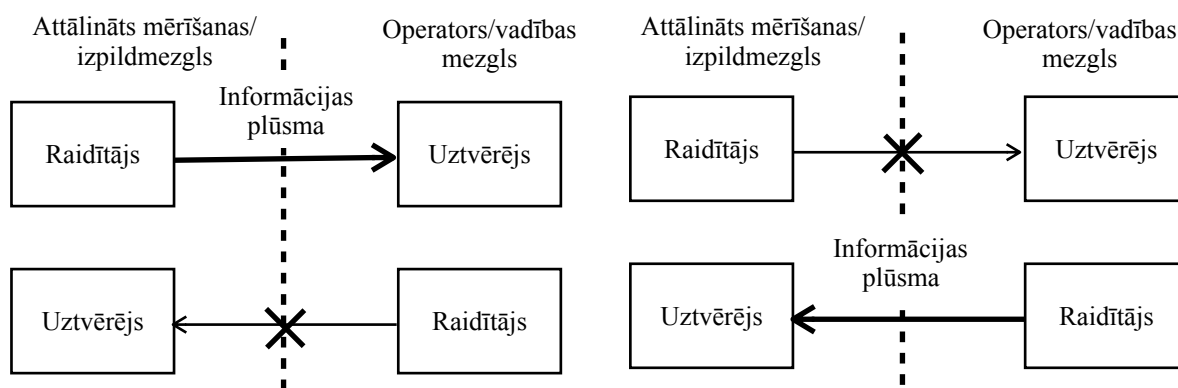
EIBMVS vadības sistēmas (1.1.2. attēls) apvienojums.



1.1.2. att. BV vadības sistēma

Nepilna duplexa BV komunikācija ir EIBMVS monitoringa sistēmas (1.1.1. attēls) un EIBMVS vadības sistēmas (1.1.2. attēls) apvienojums. BV raidīšanas - uztveršanas sistēma izmanto vienus un tos pašus informācijas nesēja parametrus. Piemēram, radioviļņu gadījumā, vienu un to pašu radio nesējfrekvenci (*carrier*). Šādā sistēmā nav iespējama vienlaicīga pārraide un uztveršana. Raidīšanas - uztveršanas procesi norit pārmaiņus (1.1.3. attēls).

Pilna duplexa informācijas apmaiņu veido ar dažādām metodēm. Kā piemērus var minēt dažādu radiofrekvenču izmantošanu vai signālu multipleksēšanu-demultipleksēšanu.



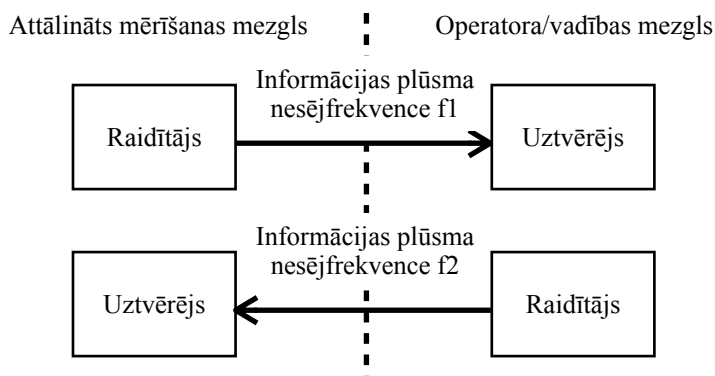
1.1.3. att. Nepilna duplexa BV vadības sistēma

Izmantojot dažādas radiofrekvences, informācijas (komandu) pārsūtīšanai no operatora/vadības mezgla uz attālināto monitoringa / izpildmezglu izmanto vienu frekvenci, bet informācijas saņemšanai no attālinātā monitoringa / izpildmezgla - citu.

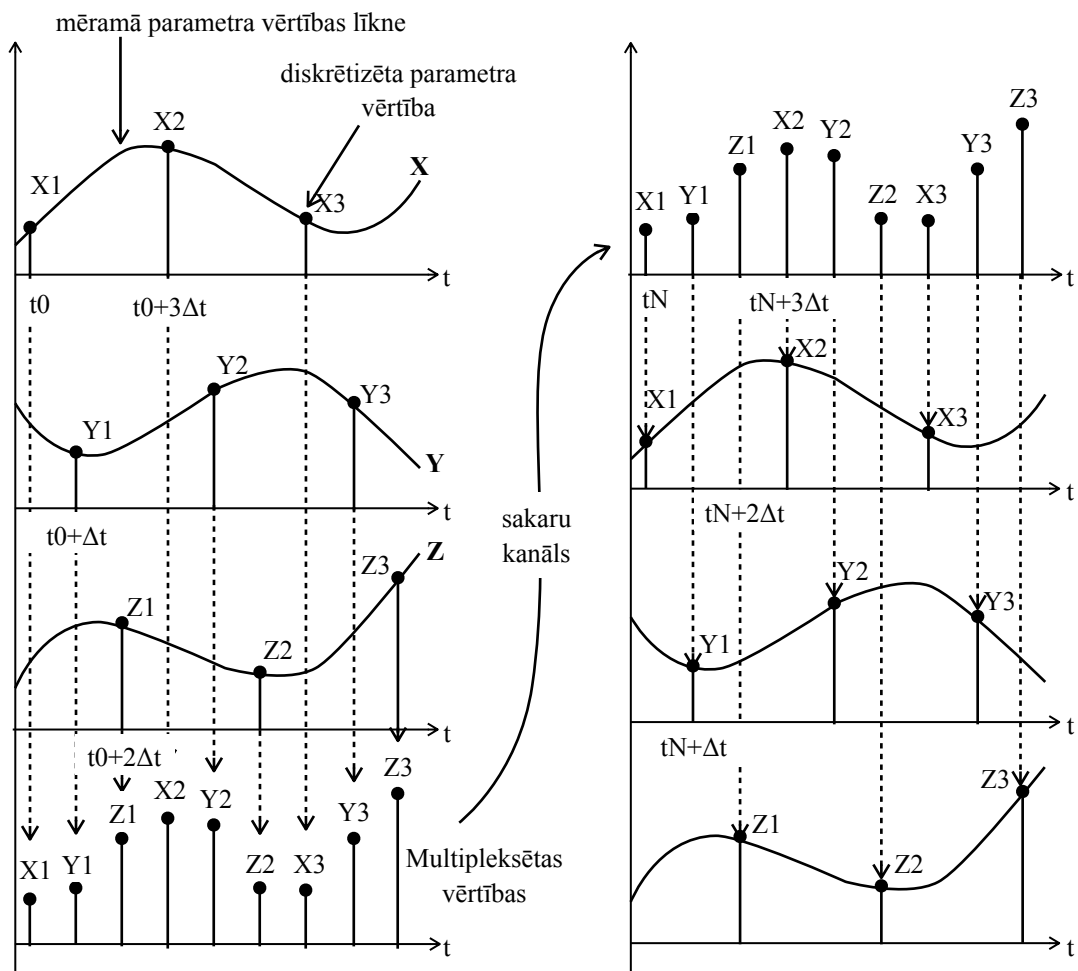
Metodi (1.1.4. attēls) pazīst arī kā frekvenčdales duplexu FDD (*FDD - frequency division duplex*) un tā ir plaši izplatīta, piemēram, mobilo telefonu GSM (*Global System for Mobile Communications*) sistēmā.

Pilna duplexa informācijas apmaiņu nodrošina arī citās metodes, piemēram, statistiskās laikdales blīvēšana/multipleksēšana (*Time Division Multiplexing, TDM*), laikdales duplexēšana (*Time-Division Duplexing, TDD*) [96], [102].

TDM metodes pamatus patentēja D.E.Hjūss (*David E. Hughes* [56]) 1859.g. [50].



1.1.4. att. BV vadības sistēma ar frekvenčdales duplexu

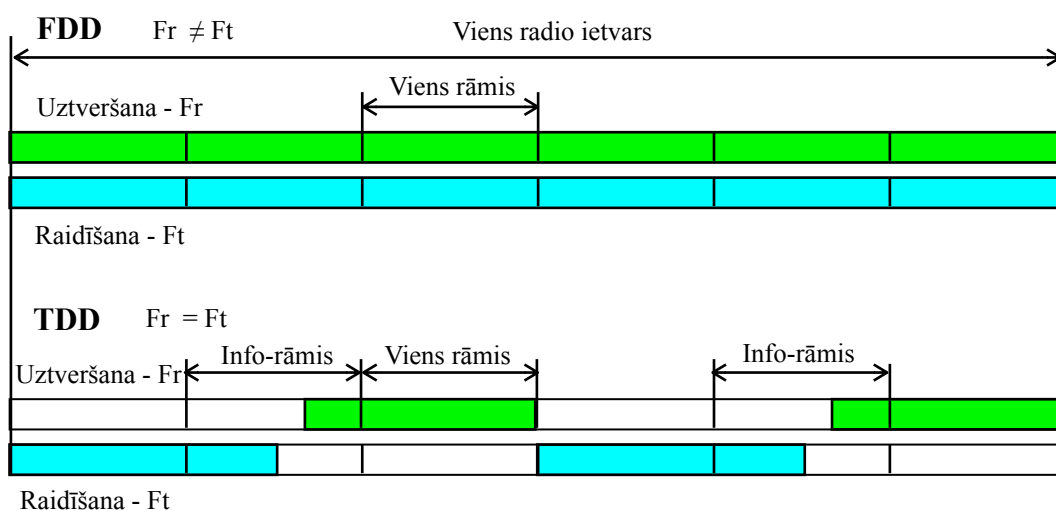


1.1.5. att. Laikdales blīvēšanas multipleksēšana

Laikdales multipleksēšana ir metode, ar kuru vairāku parametru mērījumus (1.1.5. attēls), piemēram, X, Y, Z, vai vairākas datu plūsmas segmentē laikā (paketē) un tad apvieno vienā signālā. Apvienoto signālu tālāk pārraida pa sakaru kanālu. Katrs signāla uztvērējs (X,

Y, Z) no kopējās datu plūsmas, pamatojoties uz noteiktiem laika intervāliem Δt , izvēlas atbilstošo segmentu (vērtību) no kopējā sakaru kanāla signāla.

TDM metode ir IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) standarta IEEE 802.16 pamatā [118]. Šis standarts vairāk ir pazīstams kā WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) vai WiMAN (*Wireless Metropolitan Area Networks*) datu apmaiņas protokols.



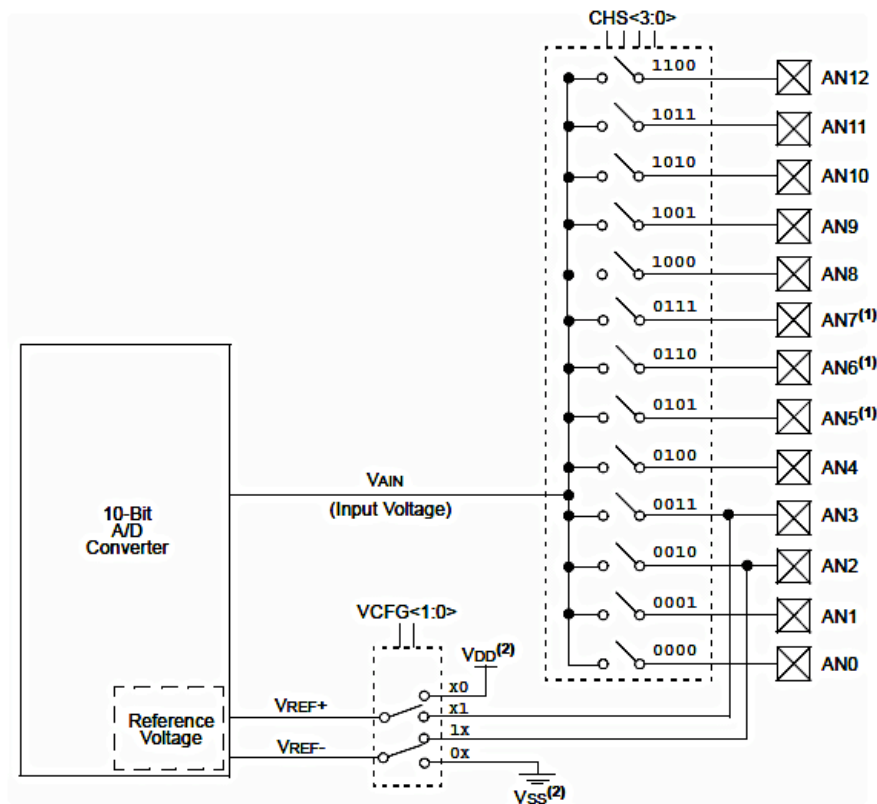
1.1.6. att. FDD un TDD raidīšanas - uztveršanas process

TDD metode pārmainus pārraida/uztver noteiktu datu paketes daļu no kopējās pārraidāmās / uztveramās informācijas pa kopējo raidīšanas - uztveršanas kanālu (1.1.6. attēls). Metode ir līdzīga nepilna duplexa raidīšanai/uztveršanai. Atšķirība ir apstākļi, ka raidīšanas - uztveršanas laika sprāži ir nelieli, kas ļauj emulēt pilna duplexa komunikāciju.

1.1.6. attēls norādītais “radio ietvars” (*radio frame*) var saturēt gan visu informācijas apjomu, vai tikai tās daļu - “rāmi” (*frame*). Pārraidošās un uztveramās informācijas rāmjus (daļas) pārraida pamīšus: raidīšanas rāmis - speciāls rāmis (info-rāmis) - uztveršanas rāmis. Kopējais informācijas apmaiņas laiks palielinās vairāk kā divas reizes. Galvenā priekšrocība, kā minēts iepriekš, ir iespēja izmantot vienu nesējfrekvenci.

Signālu multipleksēšanai līdzīgu procesu izmanto mikrokontrolleros - piemēram, nolasot vērtības ar mikrokontrollera ACP pārveidotāju. Lai arī mikrokontrollera analogā signāla ieejas var būt vairākas, tā integrālā shēma ietver tikai vienu ACP ieejas secīgi pieslēdz

mikrokontrollera ACP ar iebūvēto analoģo slēdžu starpniecību (multipleksēšanu), kā tas redzams, ražotāja Microchip [78] mikrokontrollera PIC18F4520 aprakstā [57] (1.1.7. attēls).



1.1.7.att. Mikrokontrollera Microchip PIC18F4520 analoģo ieeju multipleksēšana

Savukārt, nolasītās vērtības tālāk izmanto kā atsevišķus lielumus vai vērtības kopējā programmā (demultipleksēšana).

Mikrokontrolleru darbības un vadības procesus var raksturot kā laika daļes darbības - galvenā funkcija mikrokontrolleru programmās ir funkcija *loop* (cilpa) un tās variācijas, piemēram, C valodas “*for loop*”, “*while loop*”, “*do while loop*”[23].

Mikrokontrolleru darbība un darbības secība ir nepārtraukta noslēgtu ciklu atkārtotānās.

Mikrokontrollers ir “vienas darbības” ierīce - programmai veicot vairākas, šķietami paralēlas darbības, reāli notiek to secīga darbība laikā - multipleksēšana.

1.2. EIBMVS klasifikācija.

Lielā iespējamā EIBMVS daudzveidība, dažādie EIBMVS uzdevumi un to risināšanas veidi / paņēmieni, ļauj veidot vairākas EIBMVS klasifikācijas shēmas, no kurām galvenās ir:

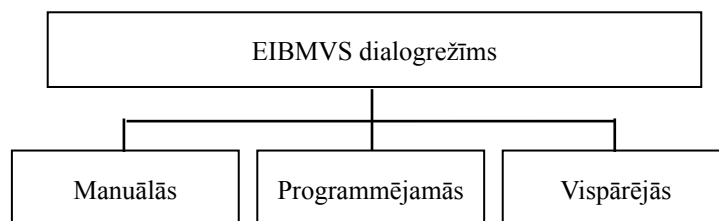
- 1) klasifikācija pēc dialogrežīma,
- 2) klasifikācija pēc nesēja,
- 3) klasifikācija pēc pārklājuma,
- 4) klasifikācija pēc komunikācijas protokola,
- 5) klasifikācija pēc reakcijas laika,

1.2.1. Klasifikācija pēc dialogrežīma

EIBMVS var iedalīt 3 pamatgrupās pēc dialogrežīma (1.2.1. attēls):

- a) manuālās, kuras ļauj iegūt mērījumus vai realizēt vadības komandas praktiski tāpat, kā, ja to veiktu lokāli, operatoram atrodoties tieši pie mēraparatūras vai izpildiekārtas. Praksē tomēr ir atšķirības starp mērījumu iegūšanu vai komandu realizēšanu izmantojot BV sistēmas. Proti, BV sistēmas izmanto virknes datu apmaiņas kodu un pilna koda nosūtīšana - saņemšana nav realizējama momentāni.
- b) programmējamās (viedās), kuras ļauj iegūt mērījumus vai realizēt vadības komandas saskaņā ar iepriekš definētu programmu, operatora realizētu parametra/raksturlieluma izvēli, balstoties uz saistīti darbojošos iekārtu parametriem / datiem vai darba fonu. Programmējamās EIBMVS ir iespējams iekļaut viedās iekārtās, sistēmās un tīklos,
- c) vispārējās, attālināti vadāmās, mēriekārtas un vadības sistēmas, kuras mērījumu rezultātus uzkrāj un tad pārsūta, vai vadības komandām ir vispārējs raksturs, piemēram, “ieslēgt apgaismojumu”, “atvērt vārtus” u.c.

Dialogrežīms vispārējās EIBMVS nosacīti ir iespējams, bet praktiski to neizmanto.



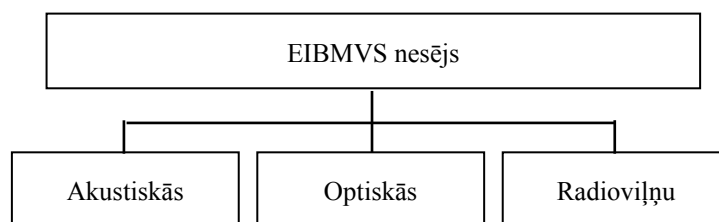
1.2.1. att. Bezvadu mēriekārtas un vadības sistēmas pamatgrupas

1.2.2. Klasifikācija pēc nesēja

Attīstoties BV sakaru moduļiem, piemērotāka ir klasifikācija pēc “nesēja” (1.2.2. attēls) - izmantotā informācijas “nesēja” frekvences.

”Nesēja” definīcija [73]:

“Nemodulēts signāls, ko izmanto kodētu datu pārraidei.”



1.2.2. att. BMVS klasifikācija pēc nesēja

Kā “nesēju” EIBMVS kontekstā saprot zināmo fizikālo parādību pielietojumu (uzrādītās parametru mērvienības ir raksturīgākās katrai metodei):

- akustisko viļņu nesējs - EIBMVS šo nesēju praktiski neizmanto zemā akustisko viļņu izplatīšanās ātruma (gaisā - 334 m/s, šķidrums - 1435 m/s) [46] un signāla vērtības slāpēšanas dēļ. Virszemes ierīcēs izmanto nesējus ultraskaņas frevencu diapazonā 30 KHz-125 KHz,
- optiskie stari - infrasarkanā staru (IR) nesējs ar tipiskiem viļņa garumiem 940 -960 nm un 850-880 nm. Kā starojuma avotu pārsvarā lieto GaAs gaismas diodes. Kā uztvērējus izmanto moduļus, kuros apvienots IR uztverošais elements un atbilstošs loģiskā signāla formētājs, piemēram [58]. IR nesējam ir laba noturība pret traucējumiem, bet ievērojams trūkums - nepieciešama raidītāja un uztvērēja IR starojuma virzienorientācija, t.i. uztvērējam ir jābūt

raidītāja IR stara zonā. IR nesēja komunikāciju izmanto gadījumos, ja radioviļņu nesējs var radīt traucējumus citu iekārtu darbībā, piemēram, medicīniskās iekārtās.

Optiskos starus var klasificēt arī kā elektromagnētisko starojumu, tomēr EIBMVS kontekstā šo nesēju nepieciešams izdalīt atsevišķi. Optisko un radiosakaru raidītāji - uztvērēji konstruktīvi ievērojami atšķiras,

- elektromagnētisko viļņu nesējs - radiosakari (125 kHz-60 GHz).

Aprakstot EIBMVS šī darba ievaros, galvenokārt runa ir par radioviļņu nesēju, atmetot akustisko un IR nesēju izmantošanu.

Meklējot piemērotākos risinājumus un iespējas iegūt lielāku datu apmaiņas ātrumu, mazāku jaudas patēriņu, vienkāršāku programmēšanu lietotājam un zemāku cenu, šodien plaši izmanto dažādas radioviļņu nesēju frekvences, dažādas raidošo-uztverošo antenu konstrukcijas, dažādas datu komunikācijas frekvences un dažādus protokolus.

1.2.3. Klasifikācija pēc pārklājuma

EIBMVS tīklus un tajos darbojošās ierīces, iekārtas un sensorus iespējams klasificēt pēc tīkla pārklājuma, t.i. tīkla aptvertās zonas(1.2.3. attēls):

- EIBMVS **sensoru tīkli** - pārklājums 0-100 m, bezvadu personālie tīkli (*WPAN - Wireless Personal Area Network*), ko veido ISA100 (*International Society of Automation*) [55] standartu atbalstošās ierīces [59] - ZigBee, Bluetooth u.c.,
- EIBMVS **ražotņu tīkli** - pārklājums līdz dažiem kilometriem, bezvadu lokālie tīkli (*WLAN - Wireless Local Area Network*) - WiFi u.c. Ražotņu tīkli var ietvert sensoru tīklus,
- EIBMVS **telekomunikāciju savienojumi** -pārklājums no vien līdz vairākiem simtiem km, BV pilsētīkli (*WMAN -Metropolitan Area Network*) un BV teritoriālie tīkli (*WWAN -Wide Area Networks*) -WiMAX (IEEE802.16), mobilie tīkli (*Cellular Network*) 2G, 3G u.c. Telekomunikāciju savienojumi ir jaukti, skatoties gan no nesēja, gan komunikācijas protoklu skatu punkta.

1.2.4. Klasifikācija pēc komunikācijas protokola

EIBMVS iespējami dažādi radioviļņu nesēja komunikācijas risinājumi [51], kuri tālāk ir klasificēti pēc komunikācijas protokola, t.i. izmantotajiem standartiem, kuri nosaka arī nesēja frekvenci (1.2.5. attēls). Komunikācijas protokoli savstarpēji tieši nav savienojami.

1.2.5. attēlā ar pārtrauktas līnijas rāmīti ir marķēti darba ietvaros testētie protokoli un atbilstošās iekārtas - SRD, GSM/GPRS, ZigBee/XBee, WiFi un nestandarta. Plašāk uzmanība pētīti ir SRD, ZigBee/XBee, un nestandarta protokoli.

Komunikācijas protokola definīcija saskaņā ar [72]:

“Sakaru protokols vada datu apmaiņas procesu starp datu avotu un datu saņēmēju. Tas parasti nosaka pārsūtāmo datu formātu, pārsūtīšanas ātrumu un režīmu, piem., sinhrono, asinhrono, pusduplekso vai duplexo režīmu. Bez tam sakaru protokolā var tikt iekļautas metodes, ko izmanto datu pārsūtīšanas procesā radušos kļūdu atklāšanai un labošanai, kā arī datu kodēšanai un dekodēšanai. Sarežģītu komunikācijas protokolu sistēmu veido Starptautiskās standartizēšanas organizācijas septiņu slāņu atvērto sistēmu sadarbības etalonmodelis, kā arī internetā izmantojamie protokoli TCP/IP.”

Komunikācijas protoklus var dalīt grupās, saskaņā ar definētiem standartiem:

- IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*),
- ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*),
- ISO/IEC (*International Organization for Standardization /International Electrotechnical Commission*),
- ražotāju grupu (*alliance*) standarti (noteikumi, definīcijas),
- nestandarta vai brīvie.

1.2.4.1. IEEE standartu protokoli.

IEEE 802.15.4 standarta [22] protokolu izmanto EIBMVS ar nesējfrekvenci 800-900 MHz un 2,4 GHz diapazonos un datu pārraides ātrumu līdz 250 Kbit/s. Šī protokola ietvaros atšķir 802.15.4, ZigBee / XBee protoklus un moduļus. 802.15.4 un ZigBee, lai arī izmanto uz vienu un to pašu protokolu, savstarpēji tieši nav savienojami.

IEEE 802.11 standarta [84] protokolu paketi izmanto EIBMVS ar nesējfrekvenci 2,4 GHz un 5GHz diapazonos ar lielu datu pārraides ātrumu. Šī protokola ietvaros notiek WiFi (*Wireless Fidelity*) [113] komunikācija. Šodien apzīmējums WiFi ir sinonīms Wireless LAN (*Wireless Local Area Network*).

IEEE 802.11 standarti definē raksturlielumus, protokolus un procesus:

- 802.11a - 5 GHz nesējfrekvence ISM (*Industrial, Scientific and Medical - industriālā, zinātniskā un medicīniskā pielietojuma nesējfrekvence*) joslā ar datu pārraides ātrumu līdz 54 Mbps,
- 802.11b - 2,4 GHz darbojas ISM joslā ar datu pārraides ātrumu līdz 11 Mbps,
- 802.11e - Pakalpojumu kvalitāte un prioritāšu noteikšana (*Quality of service and prioritisation*),
- 802.11f - pārtvere (*handover*),
- 802.11g - 2,4 GHz ISM joslā ar datu pārraides ātrumu līdz 54 Mbps,
- 802.11h - Jaudas kontrole (*Power control*),
- 802.11i - Autentifikācija un šifrēšana (*Authentication and encryption*),
- 802.11j - Mijiedarbība (*Interworking*),
- 802.11k - Mērījumu ziņojumi (*Measurement reporting*),
- 802.11n - 2,4 un 5 GHz ISM joslā ar datu pārraides ātrumu līdz 600 Mbps,
- 802.11s - Režģtīkls (*Mesh networking*),
- 802.11ac - mazāk par 6GHz, lai nodrošinātu datu pārraides ātrumus vismaz 1Gbps sekundē vairāku staciju komunikācijai un 500 Mbps vienā saitē,
- 802.11ad - ļoti augstu caurlaidspēju nodrošinājums frekvencēs līdz 60GHz,
- 802.11af - nesējs darbojas WiFi un TV spektra balto joslu (arī *White-Fi*).

IEEE 802.15 standarts [54] nosaka bezvadu personāltīklu WPAN (*Wireless Personal Area Network*) protoklus. Šī protokola ietvaros darbojas Bluetooth [19], [61] un ZigBee/XBee komunikācija.

IEEE 802.16 ... 802.16d and 802.16e. standartu [53] protoklus izmanto komunikācijas iekārtas ar nesējfrekvenci 2 GHz ... 66 GHz diapazonā (atkarībā no standarta versijas un

valsts kura to pielieto) platjoslas datu pārraidei. Sākotnēji tehnoloģija un reglamentējošais standarts bija iecerēts kā platjoslas kabeļu datu apmaiņas aizstājējs.

IEEE 802.22 standarta [52] protoklu izmanto WRAN (*Wireless Regional Area Network*) ar nesējfrekvenci 54 MHz ... 862 MHz diapazonā: brīvās vai iespējamās frekvences starp televīzijas kanāliem.

1.2.4.2. ETSI standartu protokoli

SRD (*Short Range Devices*) ir mazjaudas tuvo distanču ierīces, kuras izmanto 433 MHz, 868 MHz vai 2,4 GHz nesējfrekvenci. SRD izmanto, ja ZigBee vai WiFi lietošana nav piemērota - pārlietu komplicēta programmatūra vai augsta cena. SRD saista arī ar RFID (skat. tālāk).

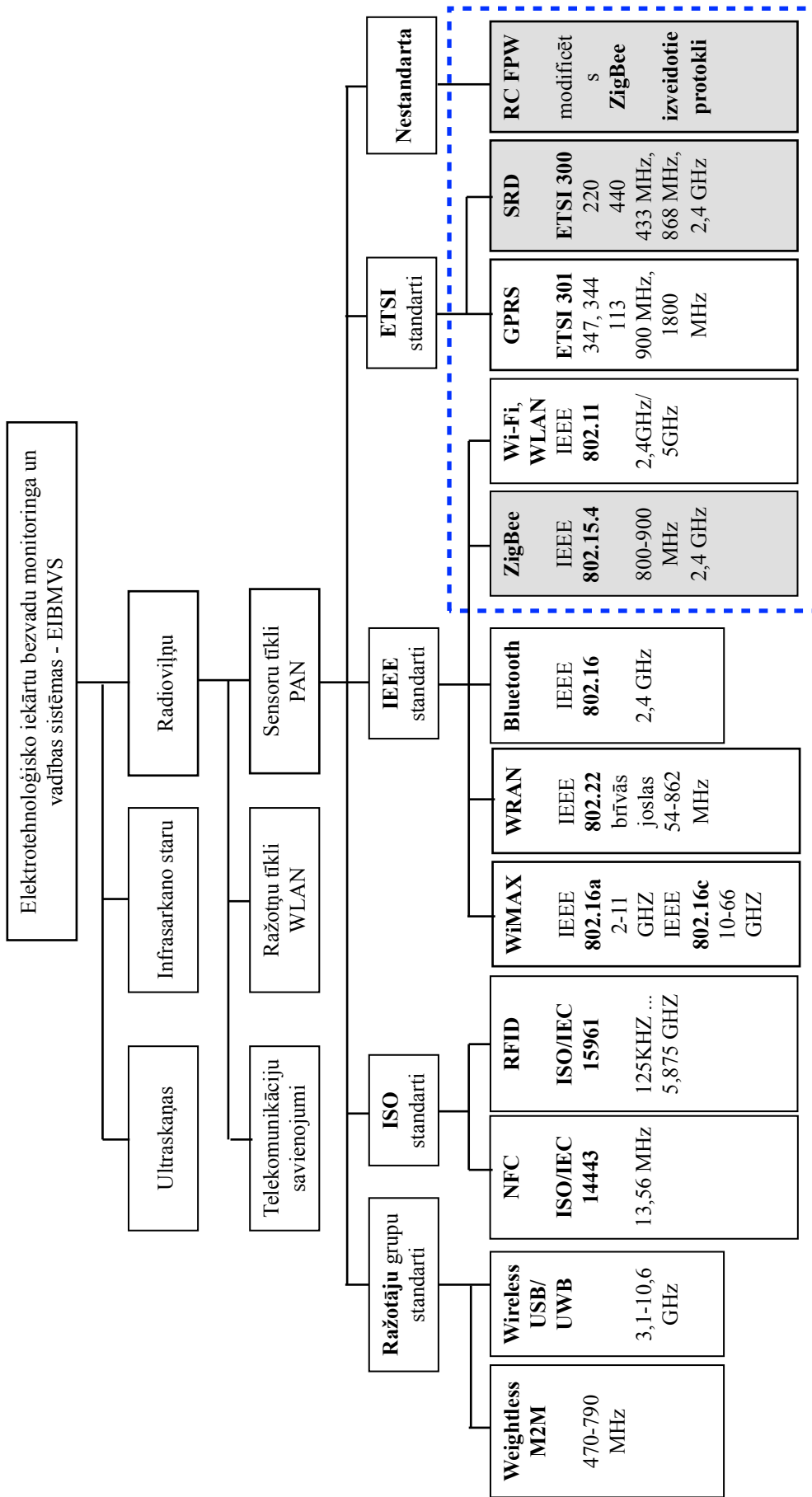
SRD ierīcēm jāatbilst ETSI standartiem EN 300 xxx-1 vai EN 300 xxx-2 [100]. EN300xxx-1 (Daļa 1) nosaka tehniskās prasības, arī konkrētām lietojumprogrammām. EN300xxx-2 (Daļa 2) nosaka nepieciešamos SRD parametrus, lai atbilstu ES R& TTE (*Radio and telecommunications terminal equipment*) prasībām.

SRD lieto:

- durvju, garāžu durvju, vārtu un līdzīgu objektu kontrolei/vadībai,
- pretaizdzīšanas ierīcēs,
- signalizācijas un kustības detektoros,
- rūpnieciskās kontroles un monitoringa ierīcēs u.c.

1.2.4.3. ISO/IEC standartu protokoli

RFID (*Radio Frequency Identification*) [35] - radiofrekvenču identifikācijas sistēmas - izmanto nesējfrekvences 125-134, 140-148 KHz, ~6,77, ~13,55, ~27, ~433, ~900 MHz, ~2,45, ~5,88 GHz. (“~” norāda, ka uzrādītā ir frekvenču joslas aptuvenā centrālā frekvence). RFID reglamentē ISO/IEC standarti [101], [106] un to iespējams iekļaut SRD (skat. iepriekš).



1.2.5. att. EIBMVS klasifikācija pēc nesēja, tīkla, standarta un komunikācijas protokola

RFID darba attālums ir 0-1 m. Balstoties uz nepieciešamo attālumu, izvēlas raidītāja sasaisti ar uztvērēju, visbiežāk induktīvo saiti. RFID izmanto radiofrekvenču diapazonus, bet ne visos gadījumos to var definēt kā “tradicionālos” radiosakarus, piemēram gadījumos, kuros izmanto signāla atgriezeniskā starojuma savienojumu (*backscatter coupling*) [41].

NFC (*Near Field Communication*) praktiski izmanto tos pašus standartus, kā RFID, ieskaitot ISO/IEC 14443 [60] un FeliCa [38] (RFID viedkaršu standarts). Gan RFID, gan NFC ir tuvi daudzos aspektos. Kā NFC piemēru var minēt elektronisko biļeti: E-talons Rīgas sabiedriskajā transportā.

1.2.4.4. Ražotāju grupu noteiktie protokoli

Wireless USB/UWB (W-USB) - platjoslas komunikācijas tehnoloģija: datu apmaiņas ātrums ir līdz 480 Mbit/s (līdz 3m) un līdz 110Mbit/s (līdz 10 m), ar nesējfrekvenci 3,1-10.6 GHz.

W-USB tehnoloģiju attīsta un koordinē WiMedia Alliance [114], Wireless USB Promoter Group, USB grupa [109], [117], un to izmanto spēļu kontrolleri, printeri, skeneri, digitālās kameras, mediju atskaņotāji, cietie diski un zibatmiņas. Šobrīd ir pieejami W-USB raidītāji - uztvērēji, piemēram [119].

Tehnoloģija ir savas attīstības sākumā. Salīdzinoši tā spēj konkurēt un arī pārspēt WiFi datu apmaiņas ātrumā, piemēram WiFi 802.11b, g (54 Mbit/s).

Wireless USB/UWB izmantošana EIBMVS ir turpmākas izpētes jautājums, ko ierobežo speciālas USB draivera programmas nepieciešamība, kura nav pieejama visām datoru operētājsistēmām un nelielā darbības distance.

Weightless Wireless M2M White Space komunikāciju attīsta un koordinē *Weightless Special Interest Group* [68]. *Weightless White Space* mērķis ir pārvarēt radiofrekvenču spektra sadalījuma ierobežojumus - izmantot brīvās (neaizņemtās) radiofrekvenču spektra brīvās joslas. Weightless galvenie mērķi:

- zemas izmaksas - daudziem M2M (*Mobile to Mobile*) nepieciešams ļoti zemu izmaksu risinājums: atbilstošās IC cenai jābūt < 1-1,5 LVL,

- mazjaudas - attālinātās ierīces bieži izmanto akumulatoru barošanu. Vēlamais darbības laiks ar vienrezēji uzlādētu akumulatoru pārsniedz 5 gadus,
- pārklājums - jāspēj atrast *White Space* joslas visā valsts teritorijā, piemēram viedo mērījumu vai viedo sistēmu darbības nodrošināšanai,
- ticamība - būtiska prasība ir pārraidīto-saņemto datu ticamībai,
- drošība - jāspēj novērst nesankcionētu komandu un datu izmantošanu.

Šo komunikāciju potenciāli iespējams izmantot vairāku uzdevumu risināšanai sadzīves, enerģijas uzskaites, veselības aprūpes (m-veselība), transporta u.c. Jāatzīmē ka *Weightless* mērķi ir tādi paši, kā jebkura veida EIBMVS.

1.2.4.5. Nestandarta komunikācijas protokoli

“Nestandarta” neattiecas uz maksimālo raidītāja izstaroto jaudu un nesēja frekvenci, kurai jāatbilst diapazoniem, kuros licence nav nepieciešama, piemēram, 27 MHz, 415 MHz, ISM u.c. Nesējfrekvenču diapazonus u.c. parametrus nosaka Starptautiskā telekomunikāciju savienība (International Telecommunication Union - ITU) [107].

“Nestandarta” šajā kontekstā ir tikai datu apmaiņas noteikumi.

“Nestadarta” komunikācijas realizācijai tipiski izmanto SRD moduļus

“Nestandarta” komunikācijas protokoli ietver RC FPV (First Person View) vadības sistēmas, signalizācijas sistēmas u.c.

1.2.5. Klasifikācija pēc reakcijas laika

EIBMVS, atkarībā no BV komunikācijas un EI mezglu savstarpējā slēguma, var dalīt:

- tiešās EIBMVS,
- reālā laika EIBMVS,
- vispārējās EIBMVS

Reālā laika definīcija, balstīta uz [29], [74], [99]:

“Reālā laika EIBMVS ir EIBMVS, kurās datu nosūtīšanas, apstrādes un saņemšanas laiks starp operatoru un mēriekārtu/vadības sistēmu/izpildiekārtu ir

pietiekami mazs, lai neradītu kavējumus operatora - iekārtas dialogrežīmam un dialogrežīms būtu iespējams.”

Klasifikācija pēc reakcijas laika ir būtiskākā EIBMVS klasifikācija un tā ir sīkāk pētīta un aprakstīta 2.3. nodaļā.

1.3. Secinājumi

EIBMVS iespējams klasificēt pēc klasifikācija pēc dialogrežīma, nesēja, pārklājuma, komunikācijas protokola un reakcijas laika.

Klasifikācija pēc komunikācijas protokola, t.i izmantotajiem standartiem, kuri nosaka arī nesēja frekvenci ir būtiska, jo nosaka BV komunikācijas moduļu izvēli, tomēr šī klasifikācija neļauj noteikt EIBMVS spēju aizstāt EI komunikācijas vadus.

Klasifikācija pēc reakcijas laika ir ļoti būtiska EIBMVS pētījumos, izstrādē un realizācijā, jo ļauj noteikt vai BV komunikācija tieši vai pastarpināti ļauj aizstāt EI komunikācijas vadus.

2. EIBMVS METODES - ANALĪZE UN RISINĀJUMI

2.1. Ievads EIBMVS izveidē.

EIBMVS izstrāde ir komplicēts process, kurā papildus labai uzdevuma izpratnei nepieciešamas zināšanas:

- spēka elektronikas vadības principos un sistēmās,
- datu iegūšanas un mērīšanas sistēmu darbības principos (kontakta, bezkontakta, sensori) un parametros,
- mikrokontroleru programmēšanā,
- programmējamo moduļu programmēšanā,
- datu apmaiņas (komunikācijas) protokolos, galvenokārt virknes (*serial*) datu apmaiņā,
- bezvadu datu apmaiņas iekārtu darbības principos un parametros,
- datoru lietojumprogrammās un lietojumprogrammu pielāgošanā veidojot pielāgotus profilus (*custom profile*).

EIBMVS izstrādē ir iespējams izmantot praktiski visu, ko piedāvā mikroelektronika, datortehnika un komunikāciju tehnika.

Šodien piedāvāto elementu un iespējamo risinājumu apjoms bieži pārsniedz nepieciešamās vajadzības un tādēļ novērtējumam "iegūtais rezultāts - izstrādāšanas sarežģītība - cena" ir fundamentāla nozīme jebkuras EIBMVS izstrādē.

Praksē EIBMVS realizē divos galvenos veidos, kur primārais ir elektrotehnoloģiskās iekārtas:

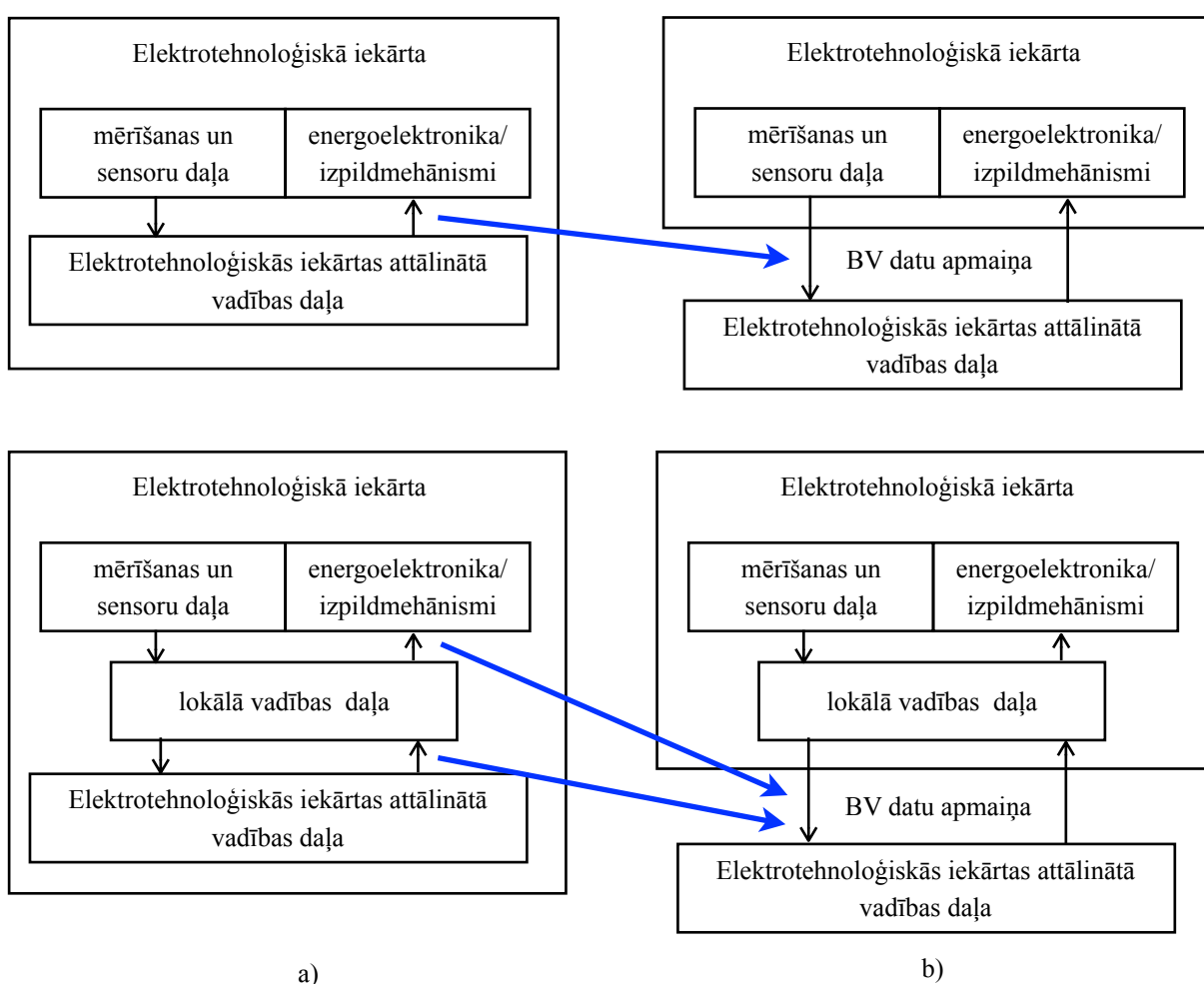
- papildina esošos elektrotehnoloģiskos mezglus (sistēmas),
- iekļauj jaunu izstrādņu konstrukcijā un vadības principos.

Modeli, kurā primārais ir bezvadu sakaru tīkls, praktiski neizmanto.

Izvēlētais EIBMVS komunikācijas tīkla risinājums abos gadījumos ir vienāds, atšķirība ir to sasaistē ar elektrotehnoloģiskajām iekārtām.

EIBMVS uzdevums ir nodrošināt attālinātu elektrotehnoloģisko iekārtu parametru monitoringu un šo iekārtu vadību, aizstājot komunikācijas vadus ar bezvadu sakaru kanālu. Korektai elektrotehnoloģiskās iekārtas darbībai nav pieļaujami BV datu apmaiņas traucējumi.

EIBMVS uzskata, ka BV komunikācijas daļa ir elektrotehnoloģiskās iekārtas energoelektronikas daļas (izpildmehānismi un to vadības elementi, piemēram, asinhronā dzinēja frekvenču pārveidotājs) un vadības daļas (vadības pulsts, loģiskie elementi, programmatūra u.c.) telpā izvērstais saistošais elements (2.1.1. attēls), ar kura palīdzību aizstāj komunikācijas vadus.



2.1.1. att. "Tradicionālā" a) un BV saite b) starp elektrotehnoloģiskās iekārtas moduļiem

Izmantojot BV datu apmaiņu, mērījuma-izpildkomandas cikla kopējais laiks summējas no vairākām sastāvdaļām un to aprēķina sekojoši:

$$T_C = t_M + t_{SA} + t_R + t_{SU} + t_{IE}, \quad (2.1.1)$$

kur T_C - cikla kopējais laiks,

t_M - mērījuma iegūšanas laiks,

t_{SA} - saņemšanas laiks pa BV saiti,

t_R - vadības daļas reakcijas laiks,

t_{SU} - sūtīšanas laiks pa BV saiti,

t_{IE} - energoelektronikas reakcijas laiks.

Salīdzinot ar tādu pašu iekārtu bez attālinātās vadības daļas (proti - vadības daļa atrodas pie elektrotehnoloģiskās iekārtas), redzams - kopējais cikla laiks T_C palielinās par BV datu apmaiņas datu saņemšanas un sūtīšanas laikiem t_{SA} un t_{SU} , kuri arī nosaka EIBMVS piederību kādai no iepriekš minētajām variācijām.

Aprēķinātais baitu pārraides laiks attēlots 2.1. tabulā.

BAITU PĀRRAIDES LAIKS

2.1.tabula

bitu pārraides ātrums	Kbps					Mbps	
	9,6	19,2	38,4	115,2	250	11	54
UART 1 baita + "start" + "stop" bits pārraides laiks, μ s	1042	520,8	260,4	86,8	40	0,909	0,185
UART 3 baitu ASCII koda pārraides laiks, μ s - 8 bitu ACP nolasījums ASCII kodā	3125	1562	781,2	260,4	120	2,727	0,555
UART 8 baitu ASCII koda pārraides laiks, μ s - 2x8 bitu ACP nolasījums + 2x nolasītā parametra identifikators	8334	4166	2083	694,4	320	7,272	1,48

Piemēram, pieņemot ka $t_{SA} = t_{SU}$, 2x8 bitu ACP nolasījumu + 2x nolasītā parametra identifikatora pārraidei 8 baitu ASCII kodā ar bitu pārraides frekvenci 38,2 KHz, nepieciešamas 4,16 (ms). Dažādu iemeslu dēļ, praktiski šīs vērtības ir daudzkārt lielākas.

Bezvadu komunikācija ir jāuzskata par sistēmā ienestu, mainīgas vērtības laika aiztures elementu EIBMVS.

2.2. Radioviļņu nesēja modulācija informācijas pārvadei.

1. Ar elektrotehnoloģiskās iekārtas parametru nolasījumu vērtībām saistītā radioviļņu nesēja modulācija var būt nepārtraukta vai diskrēta (digitāla).

Izšķir analoģu vai digitālu nesēja amplitūdas, frekvences un fāzes modulāciju (2.2.1.attēls). Modulācija ir nesēja sinusoīdas parametru U_ω , ω vai ψ proporcionāla maiņa ar modulācijas signāla vērtībām:

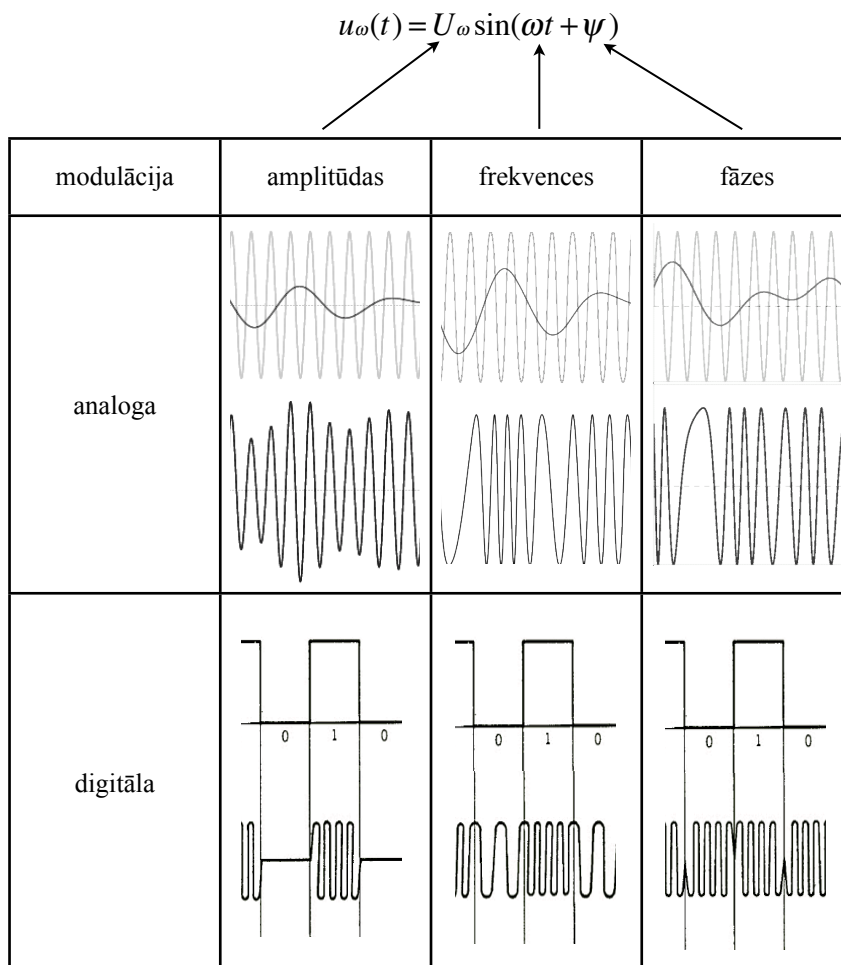
$$u_\omega(t) = U_\omega \sin(\omega t + \psi), \quad (2.2.1)$$

kur U_ω - nesēja amplitūdas vērtība,

ω - nesēja frekvence,

ψ - nesēja sākuma fāzes leņķis.

Modulācija ir pētīta un aprakstīta desmitiem gadu garumā un šodien ir labi zināma.

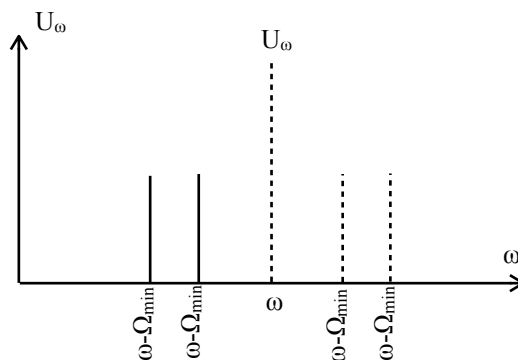


2.2.1. att. Nesēja modulācijas metodes

Šodien galvenokārt izmanto digitālo frekvences vai fāzes modulāciju, jo amplitūdas modulācijai (gan analogajai, gan digitālajai) ir zemāka traucējumnoturība, turklāt, amplitūdas modulēta signāla spektrā ir nesējfrekvence, ka arī augšējā un apakšējā sānu frekvence (2.2.2. attēls).

AM modulēta signāla nesējfrekvence nesatur pārraidāmo informāciju - tā ir ietverta sānu frekvencēs. Sānu frekvenču spektrs ir atkarīgs no zemo (modulācijas) frekvenču Ω spektra. Bieži “sānu frekvenču” vietā runā par “sānu joslām”.

Raidītāja jaudas patēriņa samazināšanai iespējams izmantot tikai viena modulētā signāla sānu joslas pārraidi, jo informatīvi gan augšējā, gan apakšējā sānu josla ir vienāda.



2.2.2. att. Amplitūdas modulācijas (AM) frekvenču spektrs

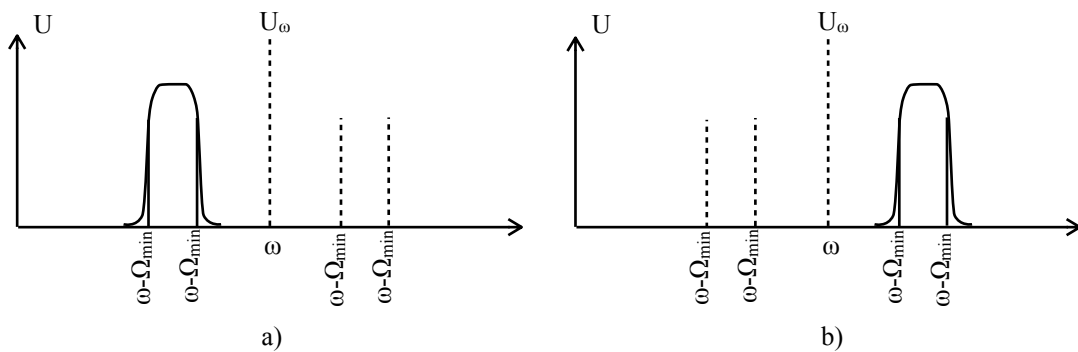
Monitoringa ierīces bieži izmanto autonomo barošanas avotu un no tā patērētā jauda nosaka ierīces darbības laiku vai nepieciešamos autonomā barošanas avota uzlādes periodus - amplitūdas modulēts nesējs enerģētiski ir neizdevīgs. Enerģijas patēriņu iespējams samazināt, izmantojot vienjoslas modulāciju.

Vienjoslas modulācija SSB (*Single Sideband*) ir pazīstama jau no 1915.g. 1918.g *Bell Laboratories* pirmo reizi to lietoja telefonsakaros.

SSB iespējams realizēt izmantojot:

- joslu filtrus ar taisntūrim līdzīgu frekvenču raksturlīkni,
- speciālas signālu jaucēju shēmas (balansa shēmas).

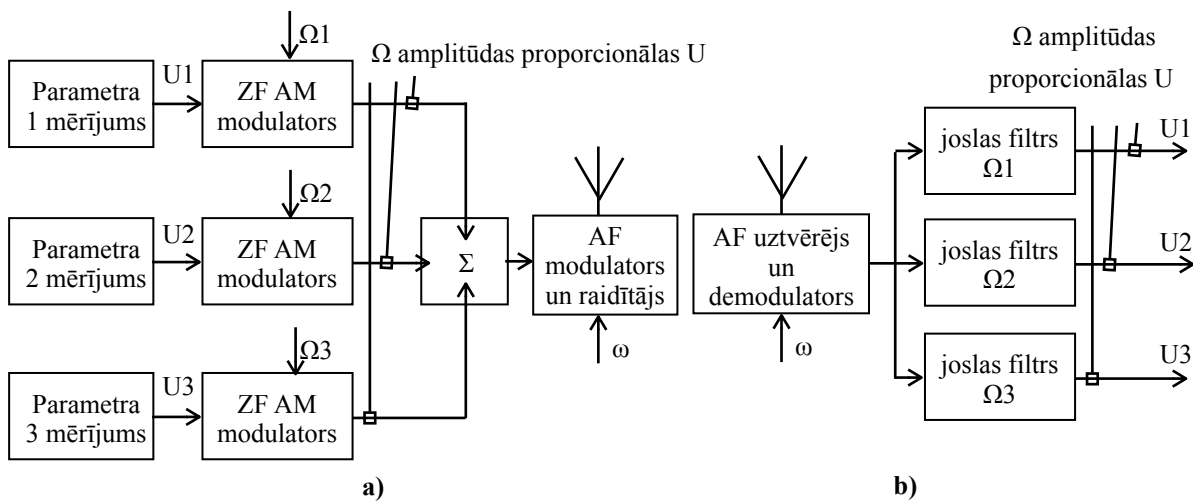
Kā joslu filtrus izmanto elektromehāniskos filtrus, kuru frekvenču raksturlīkni veido atsevišķu elektromehānisku rezonatoru (tipiski izmanto nepāra skaitļa rezonatoru skaitu - 7,9,11). Elektromehāniskie filtri ir raksturīgi ar stavu raksturlīkni joslas malās un nelielām raksturlīknes pulsācijām filtra caurlaides joslā. Filtrēt var vai nu augšējo, vai apakšējo sānjoslu (2.2.3. attēls).



2.2.3. att. AM frekvenču spektra SSB realizācija
a) filtrējot apakšējo sānu joslu, b) filtrējot augšējo sānu joslu,

EIBMVS kontekstā, galvenā analogi modulēta radiosignāla priekšrocība ir iespēja vienlaicīgi saņemt vai pārraidīt vairāku parametru mērījumus (elektrotehnoloģiskās iekārtas vairāku parametru monitoringu) vai vairākas komandas.

Pārraidot ar atsevišķo parametru mērījumu vērtībām modulē zemo frekvenču Ω_1 , Ω_2 , Ω_3 amplitūdas un summē kopējā signālā, ar kuru modulē nesējfrekvenci ω (2.2.4. attēls).



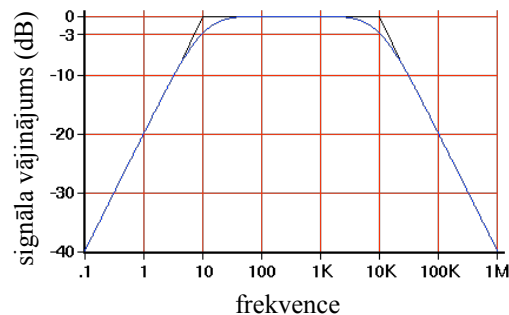
2.2.4. att. Nesēja analogās modulācijas bāzētas EIBMVS funkcionālā shēma, simpleksa datu pārraide
a) raidošā daļa, b) uztverošā daļa

Šim nolūkam katram monitorējamam parametram izvēlas savu zemās frekvences Ω vērtību. Uztveršanas daļā nepieciešams izmantot signāla frekvenču filtrus ar augstu selektivitāti, t.i. ar iespējami šauru -3dB joslu (2.2.5. att.). Praksē šis apstāklis ierobežo vienlaicīgi izmantoto frekvenču Ω skaitu, t.i. vienlaicīgi monitorējamo parametru skaitu EIBMVS kontekstā.

Atsevišķu parametru vērtību raksturojošo spriegumu U_1, U_2, \dots, U_N summa nedrīkst pārsniegt kopējo pieļaujamo modulācijas spriegumu $U_{\text{mod_max}}$:

$$U_1 + U_2 + \dots + U_N \leq U_{\text{mod_max}} . \quad (2.2.2)$$

Nosacījums 2.2.2 ir monitorējamo parametru skaita ierobežojošais faktors.



2.2.5. att. Frekvenču joslas filtra raksturlīkne

Būtisks analogās modulācijas trūkums neatkarīgi no modulācijas veida (pilna spektra vai vienjoslas) ir ierobežotais pārraidāmo parametru vērtību dinamiskais diapazons, kuram jāatbilst uztvērēja dinamiskajam diapazonam:

Uztvērēja dinamiskais diapazons ir attiecība starp signāla atpazīšanai nepieciešamo minimālo ieejas līmeni un ieejas līmeni, kas “pārstūrē” uztvērēju un veido signāla kropļojumus, kuru nosaka decibelos dB.

Analogi modulēta signāla dinamiskais diapazons nepārsniedz 48 dB [104], kas praktiski ir mazāks nekā 8-bitu ACP dinamiskais diapazons 48,17 dB [93]:

$$DR_{ACP} = 6,0206 \times n = 6,0206 \times 8 = 48,165(\text{dB}) . \quad (2.2.3)$$

Mikrokontrolleros plaši izmantotā 10-bitu ACP dinamiskais diapazons ir 60,2 dB.

2.2.2 izteiksme nosaka, ka katra parametra monitorējamās vērtības maksimāli iespējamais dinamiskais diapazons DR_I ir atkarīgs no parametru skaita - kopējais dinamiskais diapazons (max 48 dB) ir jādala ar monitorējamo parametru skaitu N :

$$DR_I = \frac{48}{N} . \quad (2.2.4)$$

Ierobežoto dinamisko diapazonu iespējams izmantot pārejot no lineāras parametra vērtības pārsūtīšanas (lineāras skalas) uz logaritmisku, kvadrātsaknes u.c. vērtības pārsūtīšanu (skalu) - informācijas kompresija raidošajā daļā ar sekojošu dekompresiju uztverošajā daļā, ja nepieciešams (2.2.6. attēls). Līdzīgu procesu audio signālu apstrādē plašāk pazīst kā Dolbi paņēmienu.

Kompresētiem datiem ir nozīme to vizuāla attēlošanā - tie ir vieglāk un ātrāk uzverami, īpaši runājot par sadzīvē izmantotām EIBVMS un to vizualizāciju.

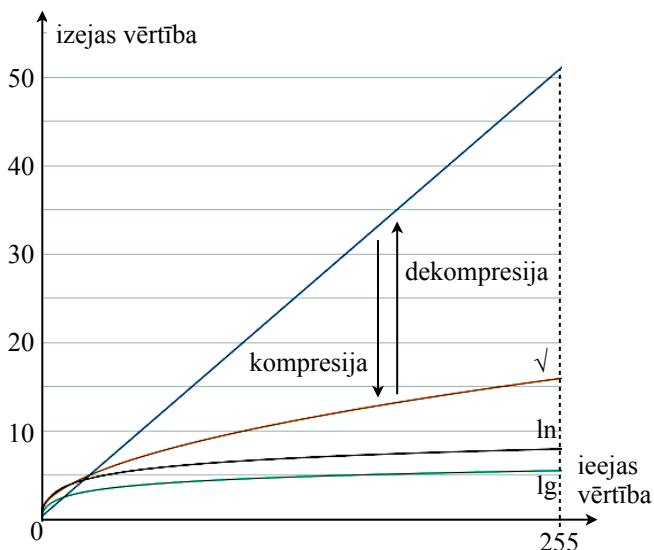
Ievērojams analogi modulēta (AM) nesēja trūkums ir zemā traucējumu noturība pret dažādiem dzirksteļu procesiem, piemēram, elektrodzinēju kolektoros, atmosfēras trokšņiem, elektrostatiskām izpausmēm u.c., kas ierobežo tās pielietojuma iespējas EIBMVS.

Šodien ir spēkā regulas, kuras ierobežo elektrotehnoloģisko iekārtu elektromagnētiskā starojuma līmeni, piemēram, Eiropas Parlamenta un

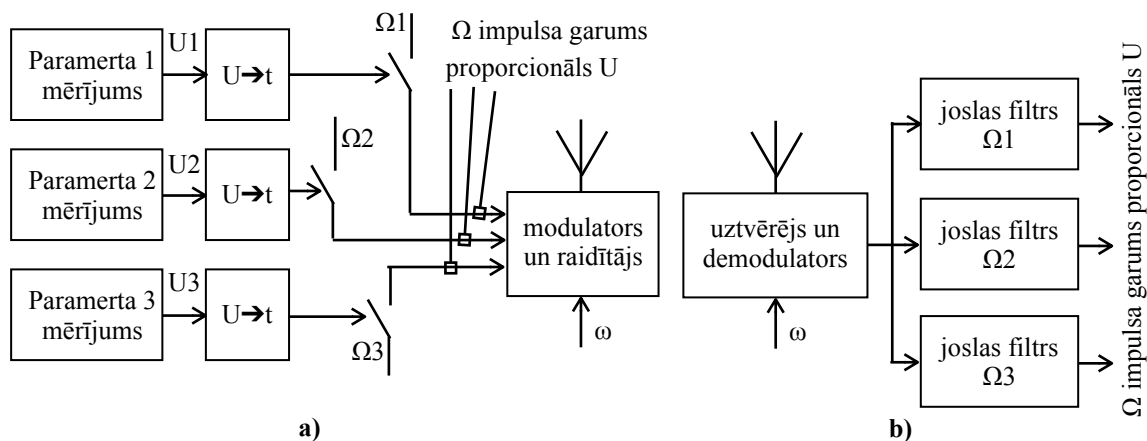
Padomes Direktīva 2004/40/EK par minimālajām drošības un veselības aizsardzības prasībām attiecībā uz darba ņēmēju pakļaušanu riskam, ko rada fizikāli faktori (elektromagnētiskie lauki). Šādu direktīvu realizācija samazina elektrotehnoloģisko iekārtu radīto radiosakaru traucējumu līmeni, tomēr informācijas pārvade ar radiosakaru starpniecību un lielu elektromagnētiskā starojuma radošu elektrotehnoloģisko iekārtu kopdarbība nelielos attālumos ir komplicēta, ir jāizmanto garāki un komplicētāki datu komunikācijas protokoli, kas palielina kopējo cikla laiku (2.1.1).

Lai mazinātu iepriekš minēto radiotraucējumu ietekmi uz EIBMVS bezvadu datu pārraidi, mērāmā parametra nolasījuma analogo vērtību pārveido proporcionāla garuma impulsā.

Pārraidot izmanto 100% modulāciju, ko var uzskatīt par ekvivalentu slēdža darbībai “ieslēgts-izslēgts” (2.2.7. attēls). Pārveidotāji “spriegums - impulsa garums” ir plaši lietoti, realizējot daudzus shematiskos risinājumus.



2.2.5. att. Parametra vērtības kompresija - dekompresija: $\sqrt{\quad}$ - kvadrātsaknes, \ln - naturālā logaritma, \lg - decimālā logaritma



2.2.7. att. Parametru vērtībām proporcionāla impulsa garuma reālā laika EIBMVS funkcionālā shēma
a) raidošā daļa, b) uztverošā daļa

Šādu principu izmanto daudzi RC (*Remote Controlled*) servodzinēji. Piemēram, servodzinēja rotora stāvokli 0^0 nosaka vadības impulsa garums 1,5 ms, stāvokli -90^0 nosaka impulsa garums 1 ms, $+90^0$ nosaka impulsa garums 2 ms.

2.3. EIBMVS slēgumi un reakcijas laiks

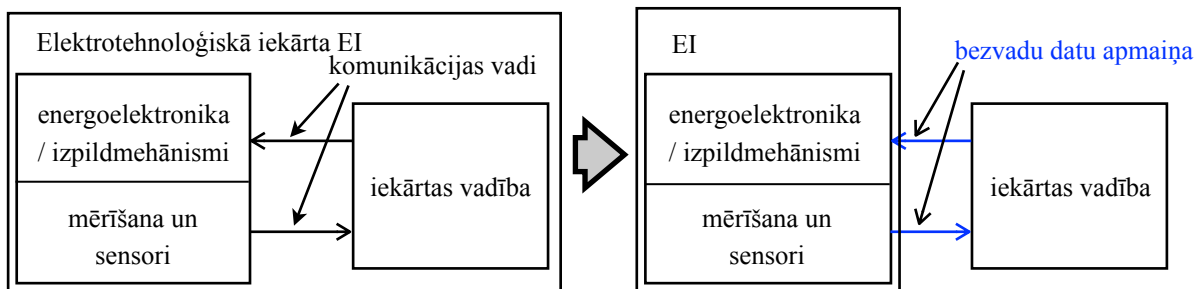
Atkarībā no EIBMVS slēguma, t.i. BV komunikācijas un EI mezglu savstarpējā slēguma, EIBMVS var klasificēt kā (1.2.1 nodaļa):

- tiešās EIBMVS,
- reālā laika EIBMVS,
- vispārējās EIBMVS.

Variācijas atšķir to raksturlielums - efektīvais informācijas apmaiņas ātrums. Praksē šo parametru bieži reducē uz datu pārraides ātrumu un pārraidamās informācijas apjomu.

2.3.1. Tiešās EIBMVS

Par tiešu EIBMVS uzskata EIBMVS, kura nemaina elektrotehnoloģiskas iekārtas darbību, aizstājot komunikācijas vadus ar radiosakaru saiti. Tiešās EIBMVS katrs komunikācijas vads aizstāts ar BV sakaru kanālu (2.3.1. attēls).



2.3.1. att. Tieša EIBMVS

Atkarībā no informācijas apmaiņas formāta (analogā vai digitālā) elektrotehnoloģiskā iekārtā, izvēlas atbilstošu analogu vai digitālu pilna duplexa radio komunikāciju.

Vienlaicīgai vairāku parametru vērtību vai komandu pārsūtīšanai iespējams izmantot 2.2.4. un 2.2.7. attēlos parādītās funkcionālās shēmas, kuras ļauj atteikties no individuālas nesējfrekvences izmantošanas katram parametram.

Lielākai EIBMVS stabilitātei vai gadījumos, ja nav iespējams realizēt augsta labuma zemo frekvenču joslus filtrus uztverošajā daļā, vēlams izmantot telefonsakarus plaši lietotās “Touch - Tone” frekvences.

Terminu “Touch-Tone” izmanto sadzīvē, profesionāls apzīmējums ir “divtoņu daudzfrekvenču signālizācija” - DTMF (*Dual-tone multi-frequency signaling - DTMF*).

DTMF frekvences, kuras veido 4x4 matricu (2.2. tabula), ir izvēlētas tā, lai būtu minimāla iespēja tām veidoties nejauši. Katru “toni” veido divu frekvenču kombinācija (frekvenču pāris). 2.2. tabulā attēlotās kombinācijas (“toņus”) nepārraida vienlaicīgi, bet vienu pēc otras.

Terminoloģijā [75] DTMF definē kā:

Publisko telesakaru sistēmu signalizācijas metode, ko lieto adresu raidīšanai (pārsūtīšanai). Šajā metodē izmanto 16 frekvenču pārus, kas atveido ciparus un citas rakstzīmes. Parasti to lieto galiekārtās, lai nosūtītu adreses informāciju komutācijas sistēmai, bet to var izmantot arī veidojot pakalpojumu pieprasījumus starp sakaru sistēmām.

DTMF vajadzībām ir izveidotas specializētas IC, piemēram, National Semiconductor (arī Texas Instruments uc.) TP5089 [98] - 2.3.2. attēls.

EIBMVS vajadzībām, papildus nepieciešams integrēt analogo slēdžu integrālo shēmu, piemēram, HCF4066 IC, kura aizstāj mehāniskos matricas slēdžus. Iespējams izmantot arī citus 4x4 matricas elektroniskos komutēšanas paņēmienus. TP5089 aprakstā minētais “Johnson Counter” ir virknes reģistrs, kura izeja ir saslēgta ar ieeju.

TAUSTIŅAM ATBILSTOŠĀS DTMF FREKVENČU KOMBINĀCIJAS

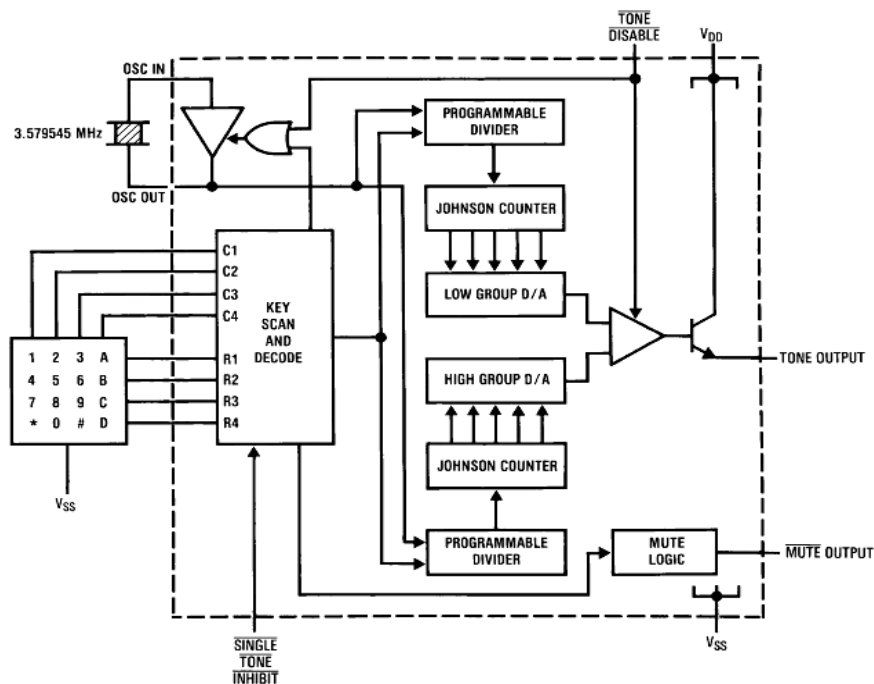
2.2. tabula

	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	1	2	3	A
770 Hz	4	5	6	B
852 Hz	7	8	9	C
941 Hz	*	0	#	D

DTMF dekodēšanu nodrošina IC HT9170, CM8870/70C. Minēto IC funkcionālā darbība reproducē zināmos frekvenču noteikšanas paņēmienus - filtru, detektēšanas līmeņus u.c.

Dekodēšanai iespējams izmantot arī mikrokontrolera programmu, piemēram PIC 16F87X [30].

Korektai frekvenču noteikšanai kopējā frekvenču spektrā, galvenokārt, izmanto ātro Furjē transformāciju. DTMF gadījumā ērtāk ir izmantot Goertzela algoritmu [45].



2.3.2. att. DTMF IC TP5089 blokshēma

Modernizēts Goertzel'a algoritms ir realizēts Texas Instruments IC TMS320C80 [26].

Goertzela algoritms ir izvēlēts, jo tas neizmanto daudz konstanšu un tādejādi samazina nepieciešamo IC atmiņu. DTMF gadījumā ir jāaprēķina 8 frekvences un algoritms samazina nepieciešamo skaitļošanas jaudu.

Realizējot EIBMVS digitālu informācijas formātu uzturošā elektrotehnoloģiskā iekārtā, komunikācijai iespējams izmantot digitāli modulēta radioviļņu un nestandarta iekārtas un protokolus.

Ievērojot, ka aprakstītajos gadījumos bezvadu komunikācija tieši aizstāj vadu komunikāciju, aiztures ir pieņemamas tikai gadījumā, ja tās neietekmē elektrotehnoloģiskās iekārtas darbību.

Zemu ātrumu virknes datu apmaiņas radioviļņu (ZigBee, SRD u.c.) komunikācijas nav piemērotas elektrotehnoloģisko iekārtu tiešai vadībai, jo var būtiski mainīt tās darbību, papildus ienesto aiztures laiku dēļ.

Virknes koda ZigBee vai SRD ierīču protokolu izmantošana nenodrošina nepieciešamo informācijas apmaiņas ātrumu:

- Zigbee IEEE 802.15.4 standarts nosaka datu pārraides ātrumu 20 kbps 868 MHz nesējfrekvencei (Eiropā), 40 kbps - 915 MHz (ASV) un 250 kbps - 2,4 GHz nesējfrekvencei. Standarts neparedz iespēju palielināt datu apmaiņas ātrumu.
- Pilnas 2,4 GHz nesējfrekvences ZigBee datu paketes (133 baiti) pārraidīšanas laiks (datu pārraides ātrums - 250 kbsec), labvēlīgos apstākļos, ir 4,256 ms un efektīvais datu pārraides ātrums ir 101 kbsec [83]. Pārtraide ir vienvirziena un minētais laiks neietver tādu faktoru kā transmittera pārslēgšanās laiku no uztveršanas uz raidīšanas režīmu uc. laika aiztures.

Ātrāka datu apmaiņa iespējama ar Bluetooth vai WiFi komunikācija [24], [83], [122], bet Bluetooth ir “*peer-to-peer*” komunikācija un ir problemātiski izveidot EIBMVS tīklu, savukārt WiFi - sarežģīti integrēt EIBMVS ja nav labas programmēšanas zināšanas šajā jomā.

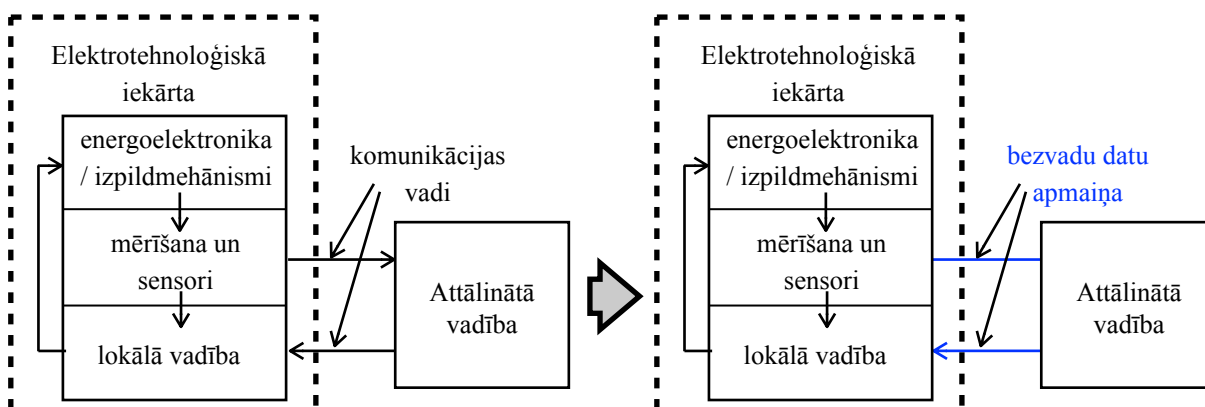
2.3.2. Reālā laika EIBMVS

Reālā laika EIBMVS ir tāda EIBMVS, kura principiāli nemaina elektrotehnoloģiskas iekārtas darbību, aizstājot komunikācijas vadus starp elektrotehnoloģisko iekārtu un tās

attālināto vadības daļu ar radiosakaru saiti (2.3.3. attēls). Reālā laika EIBMVS ietilpst Tiešās EIBMVS.

1.2. nodaļā minēto vispārējo reālā laika definīciju papildina, lai pielietotu EIBMVS (šī darba ietvaros):

Reālā laika EIBMVS komandu nosūtīšanas un datu saņemšanas kopējais laiks nepārsniedz cilvēka reakcijas laiku (vidēji 160-180 ms [40])



2.3.3. att. Reālā laika EIBMVS

SRD un nestandarta komunikāciju risinājumi

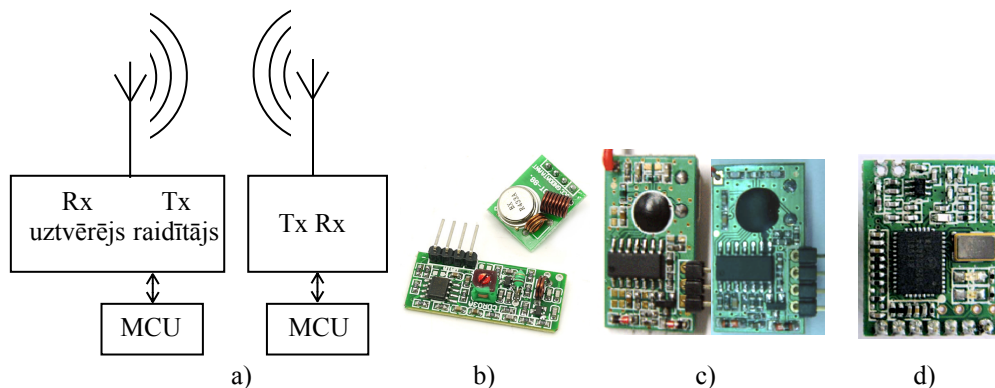
Vienkāršu EIBMVS veidošanai ir piemēroti iepriekšējās nodaļās aprakstītie īso distanču komunikāciju iekārtu (SRD) un nestandarta komunikācijas protokoli. Šādiem risinājumiem nav nepieciešamas labas programmēšanas zināšanas.

Moduļos nav integrēti datu / komandu drošības vai nesakcionētas piekļuves aizsardzības līdzekļi, kurus jāparedz nepieciešmības gadījumā .

Vienkāršām BV komunikācijām iespējams izmantot viena vai divu raidītāja un uztvērēja pāru veidoto bezvadu saiti EIBMVS ierīču/iekārtu simpleksa vai nepilna duplexa komunikācijai. Šādās BV komunikācijās izmanto nelielus raidītāja-uztvērēja vai raiduztvērēja moduļus (2.3.4. attēls).

Moduļos realizē nesēja ASK vai FSK modulāciju/demodulāciju. Dažu moduļu galvenie raksturlielumi ir redzami 1. pielikumā.

Lietojot augstāk minētos moduļus, kā datu apmaiņas protokolus izmanto UART, Maxim 1-wire protokolu [12] (iespējams lietot arī Arduino vidē [15]) vai citus, lietotāju izstrādātus, protokolus.



2.3.4. att. Raidīšanas - uztveršanas moduļi:

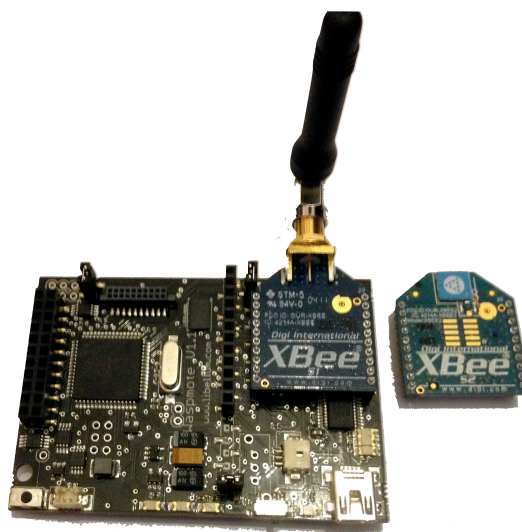
- a) slēguma funkcionālā shēma, b) 433 MHz SeedStudio raidītājs un uztvērējs, c) 868 MHz Hope raidītājs un uztvērējs, d) 433/868 MHz Hope HM-TRP raiduztvērējs

ZigBee/Xbee un Wasmote risinājumi

ZigBee/XBee protokolus atbalstošo moduļu ražotāju alianse šodien apvieno vairāk nekā septiņdesmit dalībniekus, tostarp arī “Digi International” [37].

“Digi International” sevi pozicionē kā “Mobilais uz Mobilo” ekspertu (*M2M Expert*) un ir nozīmīgs 802.15.4, ZigBee/XBee protokolus izmantojošo moduļu ražotājs (2.3.6. attēls).

Uzņēmums “Libelium” [115] piedāvā risinājumus “Wasmote” [111] (2.3.5. attēls) un “Meshlium” [77], kurus iespējams izmantot EIBMVS, un kuri, galvenokārt, ir paredzēti sensoru datu iegūšanai.



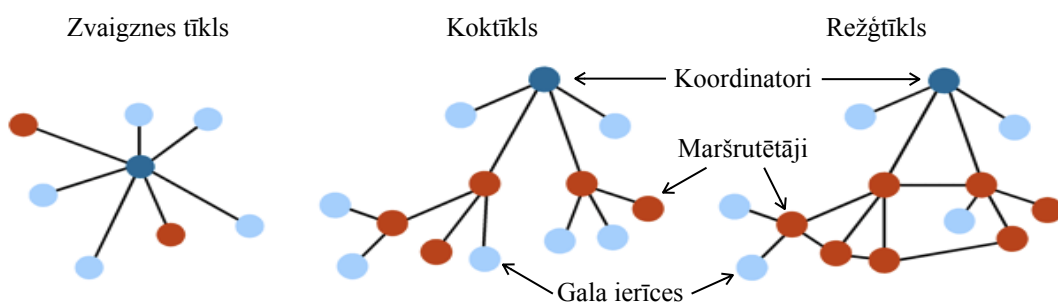
2.3.5. att. Libelium Wasmote procesora un komunikāciju plate un Digi XBee moduļi

802.15.4 un ZigBee/XBee protokolus izmantojošo moduļu savstarpējai komunikācijai ir nepieciešams pārejas modulis, neskatoties uz to, ka tie izmanto vienu standartu: atšķirības ir protokola līmeņu skaitā.

802.15.4 vai ZigBee/Xbee tīkls satur koordinatoru (*coordinator*), maršrutētāju (*router*) / un gala ierīci (*end device*). Maršrutētāja un gala ierīces funkcijas var pildīt viens modulis.

Tīklus organizē 3 topoloģijās (2.3.6. attēls) [121]:

- zvaigznes tīklu (*star network*),
- koktīklu (*tree network*),
- režģtīklu (*mesh network*).



2.3.6. att. Koordinators, maršrutētājs un gala ierīce dažādas topoloģijas tīklos

Neatkarīgi no tīkla topoloģijas ikvienā ZigBee tīklā ir koordinators (*coordinator*). Tīkla līmenī koordinators nodrošina tīkla inicializāciju un tā uzdevumi ir:

- izvēlēties tīkla frekvences kanālu,
- sākt tīklu,
- ļaut maršrutētājiem un gala ierīcēm pievienoties tīklam.

Maršrutētājs ir nepieciešams ikvienā koktīkla vai režģtīkla topoloģijā. To uzdevumi tīkla līmenī ir retranslēt datus no viena tīkla mezgla punkta uz citu un no gala ierīcēm.

Gala ierīces uzdevums tīkla līmenī ir sūtīt un saņemt datus. Gala ierīces nevar izveidot jauni tīklu vai retranslēt datus no citiem punktiem.

Tīkla pareizai darbībai tā koordinātoriem un maršrutētājiem ir jānodrošina nepārtraukta elektrobarošana un to darbībā nedrīkst izmantot miega režīmu (*sleep mode*).

Libelium **Waspnote** pamatplatē ir integrēts 3-koordinātu MEMS slīpuma, paātrinājuma sensors, temperatūras sensors, SD datu kartes un USB spraudņi. Elektrobarošana iespējama no USB, akumulatora vai saules paneļa. Papildus iespējams integrēt:

- mazas un vidējas jaudas ZigBee/802.15.4 moduļus (2.4 GHz, 868 / 900 MHz),
- Quadband GSM / GPRS moduli (850/900/1800/1900 MHz),

- Ethernet, WiFi vai Bluetooth moduļus
- sensoru moduļus (sensoru paneļi),
- GPS moduli.

Libelium Waspnote izmanto modulāru arhitektūru, kas ļauj izmantot tikai risinājumam nepieciešamos moduļus.

“Libelium” piedāvā ~50 dažādu uzdevumu un līmeņu Waspnote risinājumus. Tomēr, neskatoties uz dažādiem reklāmas apgalvojumiem, risinājumu izmantošanai ir nepieciešama programmēšana un izpratne / zināšanas par dažādiem ZigBee/XBee moduļiem, risinājumiem un to programmēšanu. Digi un Libelium moduļi nav “*plug’n’play*” moduļi (lietojami uzreiz pēc ieslēgšanas). Waspnote šobrīd ir relatīvi dārgs risinājums - pamatplates orientējošā cena ir 160-180 LVL, moduļu cena - 20-30 LVL. Augstā cena ir šķērslis Waspnote plašam lietojumam.

2.3.3. Vispārējās EIBMVS

Vispārējo EIBMVS tehniskie risinājumi būtībā neatšķiras no momentāno vai reālā laika EIBMVS tehniskajiem risinājumiem.

Atšķirība ir komandu nosūtīšanas un datu saņemšanas kopējā laikā - tas pārsniedz cilvēka reakcijas laiku manuālās vadības sistēmās (vidēji 160-180 ms).

Vispārējās EIBMVS izmanto vienkāršu uzdevumu risināšanai, kuros minētais laiks nav kritisks pareizai darbībai:

- attālinātu sensoru nolasījumi, piemēram, augsnes, mitrums, temperatūra,
- vispārējās komandas attālinātām elektrotehnoloģiskām iekārtām, piemēram, “atvērt vārtus.

2.4. EIBMVS tīkli

EIBMVS tīklos var veidoties laika aiztures, kuras pārsniedz reālā laika EIBMVS datu saņemšanas un komandu nosūtīšanas laika kritēriju 160-180 ms.

Jebkuru informācijas tīklu darbības algoritmu veidošana ir komplicēts uzdevums. Daudzos gadījumos tieši tīkla komunikācija un tās algoritms nosaka vai konkrēto EIBMVS var iekļaut reālā laika kategorijā vai nē.

Ja visi EIBMVS moduļi (precīzāk, EI un BV komunikācijas modulis) atrodas vadības elementa raidītāja - uztvērēja darbības zonā, iespējams izmantot zvaigznes tīklu. Zvaigznes tīklā nav nepieciešama datu vai komandu retranslācija. Elektrotehnoloģiskās iekārtās šis nosacījums praksē ir lielākā pārsvarā, jo šo iekārtu konstruktīvie izmēri nepārsniedz 2.3.2. nodaļā minēto raidītāju - uztvērēju un raiduztvērēju darbības zonu 100 -1000 m.

Atsevišķos gadījumos, visi vienas EIBMVS elementi var neiekļauties iespējamā zvaigznes tīklā, piemēram, garu, taisnu ielu apgaismojuma vadība. Tādos gadījumos nepieciešams veidot komunikācijas - retranslācijas tīklu.

Datu komunikācijas tīklu darbība nav haotiska, tās pamatā ir algoritms. Pazīstamākie algoritmi ir:

- minimālo svaru savienotā koka (*Minimum Cost Spanning Tree*) algoritms (Kruskala un Prima algoritmi),
- visu komunikācijas pāru īsākā attāluma / ceļa (*All Pairs Shortest Distance / Paths*) algoritms (Dijkstra algoritms),
- maksimālās tīkla plūsmas (*Maximum Network Flow*) algoritms (Forda and Fulkersona algoritmi),
- “celojošais pārdevējs” (*Travelling Sales Person - TSP*) algoritms, (*LinKernighan* “2-opt” algoritms),
- klāsteru veidošana (*Graph clustering*).

Mobilās ierīces (klēpjatori, planšetdatori, viedtelefonu u.c.), arī ZigBee, izmanto eksrompta dators-dators tīkla AODV (*Ad hoc On Demand Distance Vector - AODV*) tīkla veidošanas principu [63].

Minētie algoritmi neparedz vienu centrālo (vadības) moduli/ierīci. Algoritmi “uzskata” ka visi moduļi vienādi turklāt tie neievēro katra moduļa datu/komandu apmaiņas noslodzi retranslējot. Algoritmu uzdevums ir nodrošināt visu tīkla moduļu komunikācijas iespēju.

Retranslējošo moduļu datu/komandu apmaiņas noslodze ietekmē kopējo datu/komandu apmaiņas laiku starp centrālo moduli un monitorējamo moduli, kas rezultātā var pārsniegt reālā laika EIBMVS definēto aizturi.

Retranslējošo EIBMVS moduļu noslodzi iespējams raksturot tā komunikācijas noslodzi koeficientu K_p .

Komunikācijas noslodzi K_p raksturo komandu / datu apjoms baitos un nepieciešamais komandu sūtīšanas / datu saņemšanas periodiskums sekundēs. Tad komunikācijas noslodze K_p ir:

$$K_p = \frac{D}{T_t} + \frac{K}{T_r}, \quad (2.4.1)$$

kur K_p - komunikācijas noslodze,

D - summārais sūtāmo datu apjoms baitos,

T_t - sūtāmo datu periodiskums sekundēs,

K - summārais saņemamo komandu apjoms baitos,

T_r - saņemamo komandu periodiskums sekundēs.

Retranslējot datus un komandas, komunikācijas noslodze retranslējošiem moduļiem (2.4.1. attēls) palielinās saskaņā ar izteiksmi 2.4.2 (ievērojot 2.4.1 apzīmējumus):

$$K_{p_n} = \frac{D_n}{T_{t_n}} + \frac{K_n}{T_{r_n}} + \sum_n^{N-n} \left(\frac{D_i}{T_{t_i}} + \frac{K_i}{T_{r_i}} \right), \quad (2.4.2)$$

kur N - retranslācijas līnijas galējā moduļa kārtas skaitlis,

n - retranslācijas līnijas moduļa, kuram nosaka K_p , kārtas skaitlis,

D_i - katra sekojošā moduļa D ,

T_{t_i} - katra sekojošā moduļa T_t ,

K_i - katra sekojošā moduļa K ,

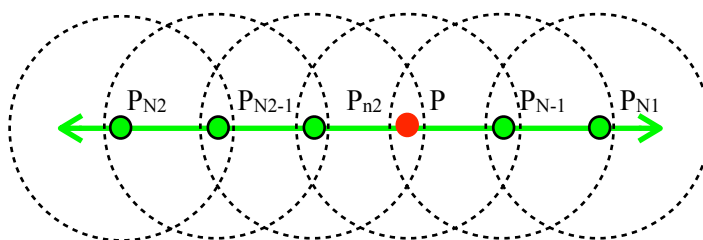
T_{r_i} - katra sekojošā moduļa T_r .

Ja visi EIBMVS moduļi veic vienādu parametru monitoringu un komandu izpildi, tad izteiksme 2.4.2 vienkāršojas. Katra moduļa retranslācijas noslodze (2.3.1. attēls):

$$Kp_n = (N - n + 1) \left(\frac{D}{T_t} + \frac{K}{T_r} \right), \quad (2.4.3)$$

kur N - retranslācijas līnijas galējā moduļa kārtas skaitlis,

n - retranslācijas līnijas moduļa, kuram nosaka K_p , kārtas skaitlis.



2.4.1. att. EIBMVS retranslēšana

Galvenais datu/komandu retranslācijas iemesls, kā minēts iepriekš, ir nepietiekamais EIBMVS moduļu raidīšanas-uztveršanas attālums - komunikācijas distance.

WiFi moduļu datu apmaiņas ātrums ir vairākkārt lielāks, tādēļ ir jāvērtē sabalansētība starp moduļu cenu, nepieciešamo informācijas apmaiņas ātrumu un moduļu patērēto jaudu.

2.5. EIBMVS tīkls ar relāciju datubāzes vadību

EIBMVS izstrādātāji var izmantot standartizētos un zināmos bezvadu komunikācijas protoklus, tomēr to izmantošanai nepieciešamas labas programmēšanas zināšanas. Moduļu programmēšanai, neskatoties uz pieejamo programmatūru, piemēram X-CTU [120] Digi moduļu programmēšanai, nepieciešamas zināšanas ZigBee/XBee tīklu veidošanā un konfigurācijā.

Savukārt radio komunikācijas risinājuma izvēlei nepieciešamas radiotehnikas zināšanas.

Praksē EIBMVS realizē spēka elektronikas un automātikas iekārtu/moduļu izstrādātāji, kuriem augstāk minētās nepieciešamās zināšanas ir svešas vai nepietiekamas. Rezultātā veidojas komplicēti un neoptimāli risinājumi. Dažādu specialitāšu profesionāļu sadarbība (pat vienkāršas EIBMVS izstrādē) palielina izstrādes laiku un negarantē tehniski un ekonomiski optimālu risinājumu.

Aprakstītajām EIBMVS metodēm un risinājumiem ir trūkumi:

- trūkst vizualizācijas,
- neievēro EIBMVS moduļu komunikācijas noslodzes, darbojoties tīklā,
- trūkst intuitīva un viegli saprotama lietotāja interfeisa ar iespēju viegli to mainīt atbilstoši lietotāja vajadzībām,
- nepieciešamas labas zināšanas mikrokontrolleru un moduļu programmēšanā.

EIBMVS izmantošanas un lietošanas būtība ir:

- informācijas (mērījumu u.c. datu) iegūšana,
- datu uzkrāšana,
- vadības komandu ģenerēšana, ievērojot EIBMVS moduļu komunikācijas noslodzi,
- vadības komandu reģistrēšana,
- datu un komandu atskaišu ģenerēšana un izvadīšana.

Reģistrēšanai, atskaišu ģenerēšanai un komunikācijas noslodzes izvērtēšanai nepieciešama datu uzkrāšana un apstrāde. Mikrokontrollera kapacitāte ir nepietiekama, tādēļ šādiem uzdevumiem izmanto datoru vai planšetdatoru.

Izstrādātais EIBMVS komunikācijas koka tīkls ar relāciju datu bāzi (KRD), ļauj izslēgt vai minimizēt minētās nepilnības un trūkumus.

Datorprogramma “FileMaker Pro” (tālāk saīsinājumā “FileMaker”) ir relāciju datu bāze ar plašām iespējām veidot lietotāja interfeisu, piemēram, veidot tādu lietotāja interfeisu, kurš nodrošina intuitīvu un viegli saprotamu EIBMVS vadību neprofesionālam programmētājam. “FileMaker” patreizējā versija ir FileMaker Pro 12 [39].

Uz jautājumu “Kas ir datu bāze?” ir iespējamas dažādas atbildes. Autora definīcija:

Datu bāze ir informācijas organizācijas un analīzes metode / paņēmiens

Kalendārs, grāmata, detaļu saraksts, adrešu grāmata u.c. ir datubāzes.

Datu bāze nesatur tikai informāciju, tā palīdz organizēt un analizēt informāciju dažādos veidos: grupēt un šķirot informāciju, saprotami sniegt pārskatus, piemēram par inventāru vai atrast konkrētu rēķinu.

Datorizētas datu bāzes sniedz daudzas priekšrocības: apstrādes ātrumu, uzticamību, precizitāti. Ar datu bāzes palīdzību iespējams automatizēt daudzus uzdevumus, kuri atkārtojas, piemēram EIBMVS uzdevumi. Tādēļ EIBMVS vadību ir efektīvi organizēt ar datu bāzes programmas palīdzību.

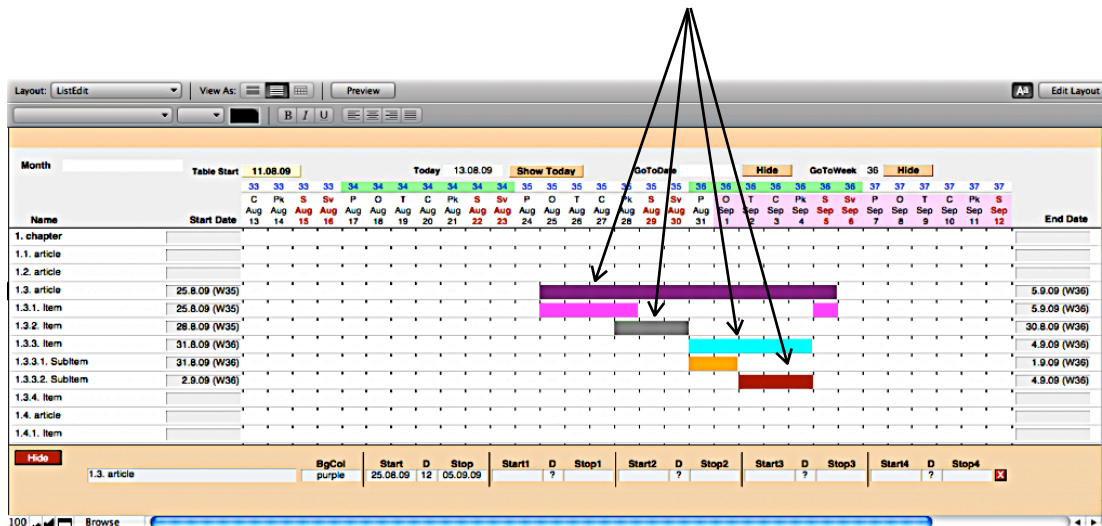
“FileMaker” darbojas vairākās datoru operētājsistēmās. Failus, kas izveidoti uz Apple Mac OS X var atvērt FileMaker uz datora, kas darbojas ar Windows OS un otrādi.

Atšķirībā no lielākās daļas tekstapstrādes vai izklājlapu programmu, visas izmaiņas datubāzē FileMaker saglabā automātiski, nav nepieciešams informāciju regulāri saglabāt, lai izsargātos no tās zaudēšanas.

Viena FileMaker faila datu bāzes tabulu (*table*), lauku (*field*), izklājumu (*layout*) un relāciju (*relationship*) skaits praktiski ir neierobežots - to ierobežo datora cietā diska apjoms un datora ātrdarbība. No EIBMVS skatu punkta skaits ir neierobežots.

Ilustrācijai - FileMaker teksta lauks var ievērt 2 GB informācijas apjomu.

atsevišķi interneta pārlūka logi, kuros attēlotā informācija - krāsu laukums - ir FileMaker kalkulācijas rezultātā ģenerēts HTML kods



2.5.1. att. FileMaker izklājuma ekrāna attēls ar vairākiem integrētiem interneta pārlūka logiem

No vienas puses, “FileMaker” ietver integrētu interneta pārlūku, kuru var vadīt ar lietotāja izveidotām komandām, turklāt, interneta pārlūka logu skaits vienā izklājumā praktiski ir neierobežots [10] (2.5.1.attēls). Pārlūka logu skaitu ierobežo datora interneta pieslēguma ātrums un datora interneta pārlūks.

No otras puses, "FileMaker" ietver interneta lapu publicēšanas dzini (*web publishing engine*), ar kura palīdzību iespējams datubāzi, datus, izklājumus un arī komandas publicēt internetā. Ar šo nodrošina iespēju darboties ar "FileMaker" adatu bāzi arī no attālināta datora, planšetdatora vai mobilā telefona ar interneta pārlūka palīdzību.

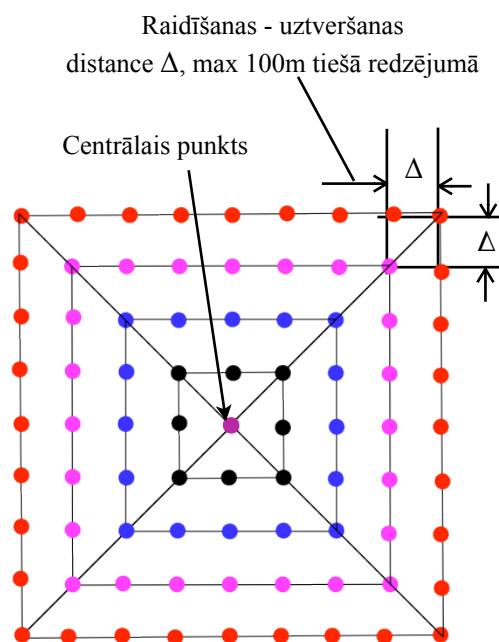
"FileMaker" organizē savu datu apmaiņas tīklu. Ar šī tīkla palīdzību, no jebkura datora vai planšetdatora, kurā ir uzstādīts "FileMaker", var attālināti darboties cita datora "FileMaker" failā. Veidojot sarežģītākas "FileMaker" sistēmas, ar šī tīkla palīdzību iespējams iekļaut uz cita datora bāzēta "FileMaker" faila datus ar relāciju palīdzību.

Šie apsvērumi ir tālāk aprakstītās KRD izveidošanas iemesls.

EIBMVS moduļu iekārtu tīklu var attēlot dažādās ģeometriskās formās, piemēram kā kvadrātu (2.5.2. attēls). Tīkls var būt simetrisks vai nesimetrisks. Piemēram, ielu vai telpu apgaismojums ir simetrisks vai gandrīz simetrisks tīkls.

EIBMVS moduļu raidītāji un uztvērēji nodrošina vienāda lieluma pārklājuma zonas un divi EIBMVS moduļu raidītāji-uztvērēji atrodas viens otra pārklājuma zonā.

Tīklā EIBMVS moduļus var attēlot kā tīkla punktus, kuru solis ir mazāks par raidītāju-uztvērēju definēto pārklājuma zonu Δ .



2.5.2. att. KRD raidīšanas - uztveršanas režģis

Visu KRD tīkla darbību koordinē un EIBMVS datu apmaiņu kontrolē uz datora instalēta vadības programma - šim nolūkam izveidota FileMaker lietojumprogramma FMKRD.

FMKRD uzkrāj visu informāciju, veic aprēķinus, ģenerē atskaites, nodrošina komunikāciju ar mobilām ierīcēm (kuras ir savietojamas) vai datu apmaiņu FileMaker tīklā.

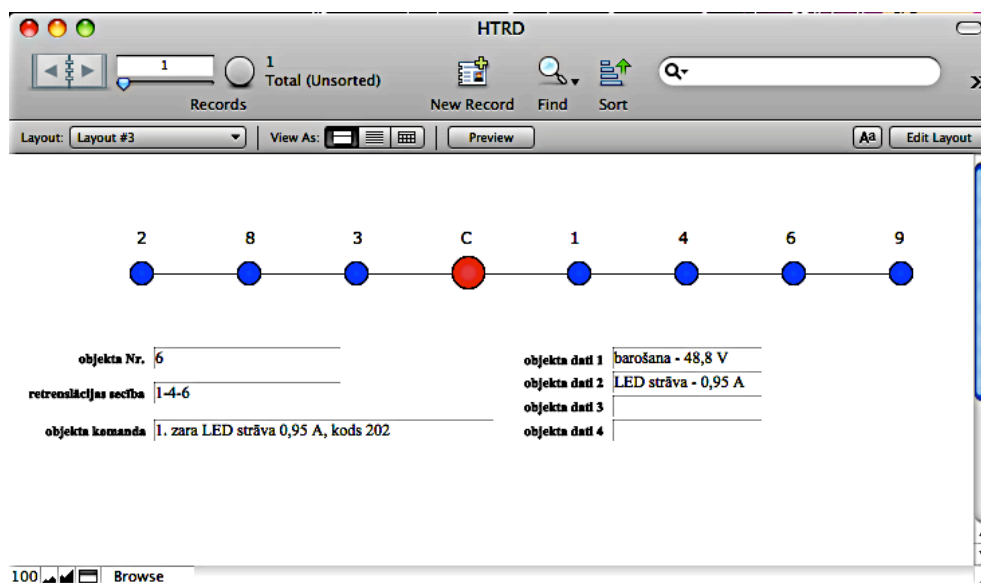
FMKRD aprēķina retranslācijas variantu (ja retranslācija nepieciešama) atkarībā no EIBMVS moduļu komunikācijas noslodzes.

Nesimetriska novietojuma gadījumā, ir vairāki priekšnoteikumi sekmīgai datu apmaiņai ar retranslācijas palīdzību:

- pārlicība, ka ikviens tīkla raidītājs - uztvērējs ir darba kārtībā un ir ieslēgts,
- samazināts tīkla solis, salīdzinot ar simetrisku tīklu, kas ir nepieciešams, ja nav izveidota EIBMVS objektu karte.

EIBMVS objektu karti iespējams izveidot manuāli, tomēr šodien šo jautājumu sekmīgi ir iespējams atrisināt izmantojot GPS [44] datus, veicot attiecīgas kalkulācijas. Objektu karte palīdz veidot optimālu EIBMVS komandu struktūru.

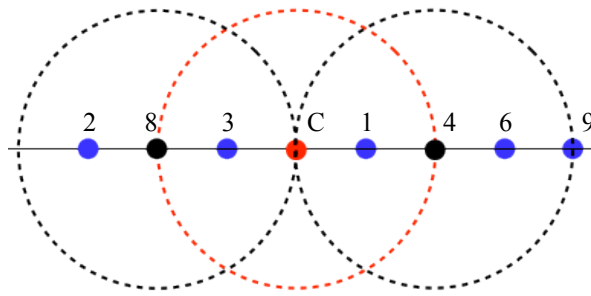
Vienkāršs FMKRD ekrāna attēls, kurā EIBMVS objekti aptuveni atrodas uz vienas līnijas (piemēram, LED ielas apgaismojums, garu koridoru apgaismojums), attēlots 2.5.3. attēlā.



2.5.3. att. FileMaker komandu un informācijas logs

Retranslējošie moduļi un izpildmoduļi konstruktīvi ir vienādi un darbojas ar vienādu mikrokontrollera programmu. Atšķirība ir apstākļi - ir vai nav nepieciešama tālāka retranslācija.

Šajā piemērā centrālais punkts C komunicē ar retranslējošiem izpildmoduļiem 4 un 8, kā arī ar izpildmoduļiem 1 un 3.



2.5.4. att. Centrālā punkta un retransloru pārklājuma zonas
 C - centrālais modulis,
 4,8 - retranslējošie izpildmoduļi
 2,3,1,6,9 - izpildmoduļi

Retranslējošais izpildmodulis 4 tālāk komunicē ar izpildmoduļiem 1, 6, 9 u.t.t. (2.5.4. attēls). Šajā piemērā, lai aptvertu visus izpildmoduļus, retranslāciju skaits ir 2.

Komandas struktūra (katrs baits atbilst vienam simbolam, 2.5.5. attēls) ir:

ID +V +SI +R1 +R2 +M +DK +DI +DA +D0 +D1,

kur ID -EIBMVS tīkla identifikators, 2 baiti,

V -retranslācijas virziens: no centrālā punkta vai uz centrālo punktu, 1 baits,

Mi -sūtītāja identifikators, 2 baiti,

R1, R2 -retransloru identifikatori, katrs 2-baiti,

M -mērķa identifikators,

DK -komanda, 2 baiti,

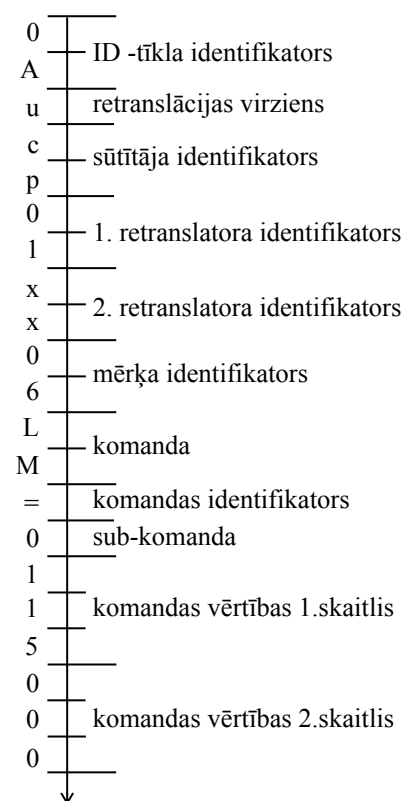
DI -komandas identifikators, 1 baits,

DA -komandas hierarhijā esoša apakškomanda (1 baits),

D0 -komandas vērtības pirmais skaitlis (3 baiti),

D1 -komandas vērtības otrais skaitlis (3 baiti).

Datu retranslēšanas struktūra no mērķa uz centrālo punktu ir analogiska, izņemot to, ka komandas baitu vietā pārraida informāciju.



2.5.5. att. KRD tīkla komandas struktūra

Komandas piemērs (2.5.5. attēls): 0Aucp01xx06LM=0115000.

Centrālais punkts, 2 retranslatori un mērķis aptver 1 km radiusa zonu ap centrālo punktu (izmantojot Hope HP-TRP/433 raiduztvērēju). Komandas kopējais garums ir 21 baid.

Ja datu pārraides ātrums ir 57600 biti/sekundē, tad teorētiski 21 baita pārraidīšanai no centrālā moduļa uz retranslējošo moduli vai no retranslējošā moduļa uz definēto izpildmoduli, ievērojot ka katru baitu ietver “start” un “stop” bits, ir:

$$21 \times (1+8+1)/57600 = 0,00365 \text{ s} = 3,65 \text{ ms.}$$

Kopējais “turp-atpakaļ” pārsūtīšanas teorētiskais laiks starp centrālo moduli un galējo izpildmoduli ar retranslāciju ir $4 \times 3,65 \text{ ms} = 14,6 \text{ ms}$, neievērojot pārejas laiku moduļu uztveršanas uz raidīšanas režīmu. Praktiskie eksperimenti parāda, ka tieši moduļu pārslēgšanās laiks no uztveršanas uz raidīšanas režīmu, kā arī pārsūtītās informācijas validācija, ievērojami palielina pārsūtīšanas laiku.

Komandu, saskaņā ar tās struktūru un parametriem ģenerē FileMaker KDR lietojumprogramma, atbilstoši nepieciešamajai mērķa darbībai. Normālā darba režīmā, datus no kāda EIBVMS moduļa uz centrālo moduli pārraida pēc pieprasījuma no centrālā moduļa.

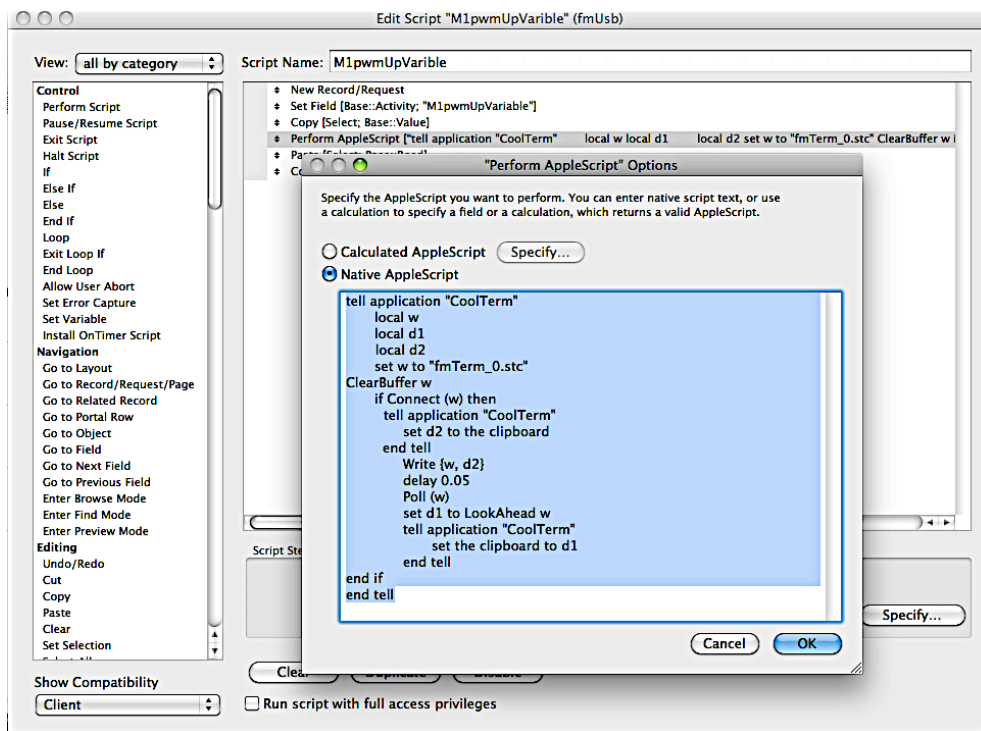
Sekmīgai KRD darbībai retranslatora identifikators un tīkla identifikators sākotnēji ir ieprogrammēti moduļa mikroprocesora EPROM (*Erasable Programmable Read Only Memory*). Tos ir iespējams mainīt ar īpašām komandām.

“FileMaker” KRD lietojumprogramma ar centrālo moduli var komunicēt divos iespējamajos variantos:

- izmantojot Ethernet/WiFi papildmodulis: ar FileMaker iegulto (*embedded*) interneta pārlūku - HTTP protokols,
- izmantojot AppleScript [65], FileMaker Script (2.5.7. att) un USB termināla programmu, piemēram, CoolTerm [76] (2.5.8. attēls).

Abos gadījumos lieto centrālajam modulim līdzīgu vadības moduli (atrodas pie datora)

Ja nepieciešams, iespējama komunikācija ar SMS/GPRS datu apmaiņas starpniecību.

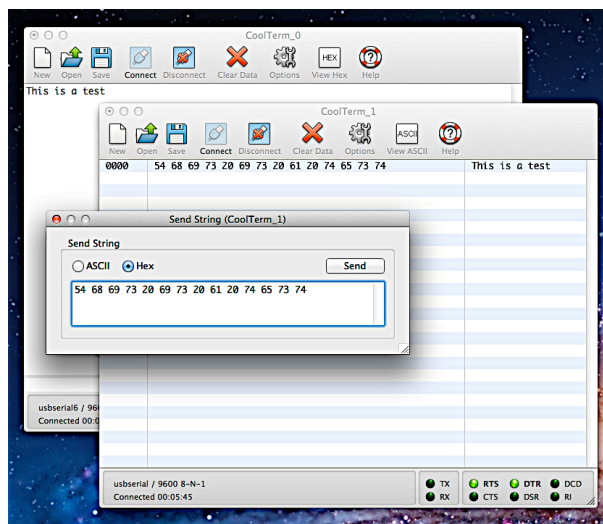


2.5.7. att. FileMaker Script un AppleScript logs

FileMaker datubāze ietver datu laukus (*field*) un no šiem laukiem organizētas tabulas (*table*), kas ir datubāzu uzbūves pamats. Tabulu laukus organizē ierakstos (*record*). Viena nosaukuma laukā, dažādos ierakstos var būt atšķirīga informācija. FileMaker laukus veido kā teksta, skaitļu, datumu, kalkulāciju un konteineru laukus. Grafiski laukus izvieto uz izklājumiem (*layout*).

Tabulas iespējams savienot ar saitēm (*relationship*). Ja divās tabulās informācija ar saiti saistītajos laukos ir identiska, tad aprēķinos un izklājumos, strādājot ar vienas tabulas informāciju, iespējams izmantot otrā tabulā ievietoto informāciju.

Tabulu, lauku, izklājumu un saišu skaits no EIBMVS skatu punkta ir neierobežots.



2.5.8. att. Termināla programmas CoolTerm logs

Efektīva ir “FileMaker Script” izveidošana un lietošana. “FileMaker Script” iespējams iekļaut komandas, aprēķinus, nosacījumus (loģiskās funkcijas). Tā, piemēram, 2.5.3. attēlā attēloto “sauso” ciparu informāciju iespējams papildināt ar paskaidrojošo informāciju vai nu ar speciālu kalkulāciju palīdzību, vai arī šādu kalkulāciju ietvert “FileMaker Script”.

“FileMaker” programmu izmanto dažādiem mērķiem - biznesam, klientu attiecību pārvaldībai, izglītībai, medicīnai, datubāzēm u.c. - visur kur nepieciešma uzticama un ērta datubāze, kuras mainīšanai, uzlabošanai un papildināšanai nav nepieciešamas zināšanas programmēšanā.

“FileMaker” programmas lietošana EIBMVS risinājumos, saskaņā ar autoram pieejamo informāciju*, praktiski nav realizēta.

Fragmentārus risinājumus, piedāvā uzņēmums 24U Software [25], galvenokārt “FileMaker” saistību ar datora USB portu, lai vadītu specifiskus datora periferijas iekārtu modeļus. Šādus specifiskus modeļus nosacīti iespējams izmantot EIBMVS.

Lietojot “FileMaker” EIBMVS iespējams:

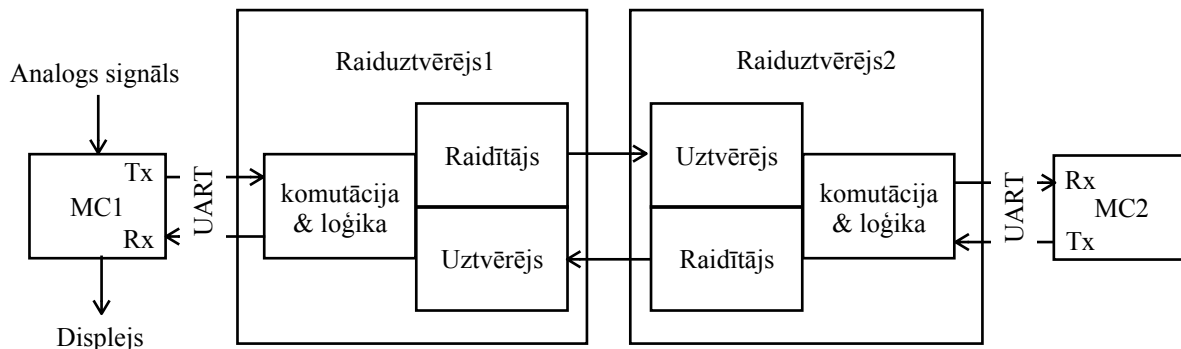
- samazināt kalkulāciju apjomu mikrokontrolera programmās - daļu kalkulāciju veic FileMaker,
- viegli mainīt EIBMVS darbības galvenos procesa iestatījumus,
- veidot dažādus lietotāja interfeisa dizainus, izmantojot visu, ko spēj attēlot datora monitors,
- viegli realizēt attālinātu EIBMVS vadību ar interneta starpniecību.

* *Autors izmanto FileMaker programmu jau 20 gadus. Papildus piedāvāto tipveida lietojumprogrammu lokalizācijai, autors ir izveidojis arī specializētas lietojumprogrammas, no kurām dažas ir aprakstītas interneta vietnē www.hierarchy.lv*

2.6. Informācijas sūtīšanas - saņemšanas laika noteikšana.

Informācijas sūtīšanas - saņemšanas laiks ir nozīmīgs parametrs vērtējot EIBMVS iespēju aizstāt komunikācijas vadus EI. Šo laiku ir grūti (vai pat neiespējami) aprēķināt dažādu apstākļu un procesu dēļ, tādēļ ir nepieciešama tā eksperimentālā noteikšana.

Informācijas sūtīšanas - saņemšanas laika noteikšanas blokshēma ir attēlota 2.6.1. attēlā.

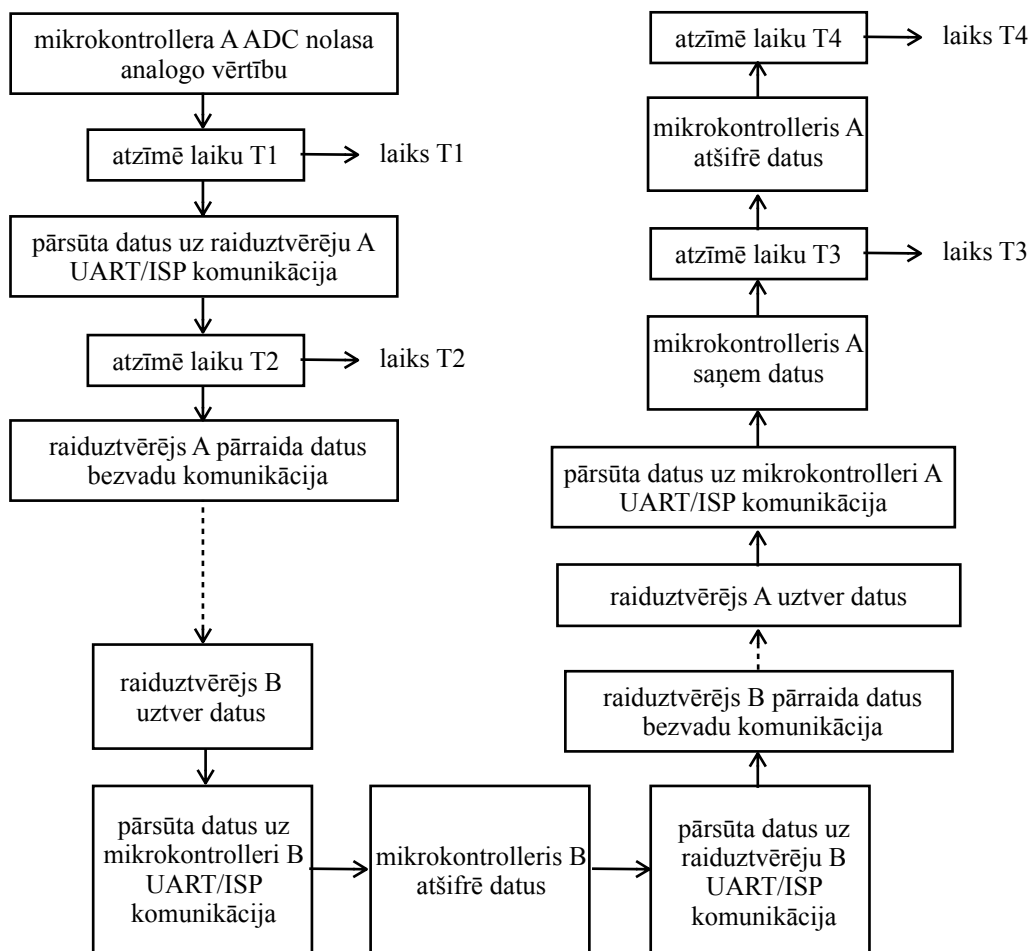


2.6.1. att. Informācijas sūtīšanas-saņemšanas laika testēšanas blokshēma

Attēlotā blokshēma realizē 2.6.2. attēla parādīto algoritmu.

Eksperimentālie sūtīšanas - saņemšanas laika noteikšanas testu rezultāti, izmantojot dažādus raidītājus un datu apmaiņas protokolus, ir parādīti 2.3. tabulā. Nepilna duplexa datu apmaiņas testus veica sekojošām elektrotehnoloģisko iekārtu konfigurācijām:

- a) divu RC servodzinēju (paredzēta tieša EIBMVS),
- b) LED gaismekļa vadība un parametru (LED strāva, temperatūra) iegūšanai (paredzēta reālā laika EIBMVS),
- c) čūskveida kustības robota līdzstrāvas elektrodzinēju vadība (paredzēta reālā laika EIBMVS).
- d) elektroenerģijas patēriņa monitoringa sistēma (paredzēta vispārējā EIBMVS).



2.6.2. att. Informācijas sūtīšanas-saņemšanas laika testēšanas procedūra

RAIDĪTĀJU /UZTVĒRĒJU UN DATU APMAIŅAS PROTOKOLU EKSPERIMENTĀLO TESTU REZULTĀTI

2.3. tabula

Komunikācija	sūtīšanas-saņemšanas laiks, ms	Komunikācijas distance
divu RC servodzinēju tieša vadība FM raidītājs HM-T, uztvērējs HM-R, 868 MHz	<0,1	<25 m
UART protokols ar vienkāršiem AM raidītājiem-uztvērējiem, 433 MHz, 7 datu baiti, max 2400 bit/s	31- 34	<15 m
UART protokols ar vienkāršiem FM raidītājiem-uztvērējiem, 868 MHz, 7 datu baiti, max 2400 bit/s	30- 31	<15 m
ar UART ieeju aprīkotiem FM raiduztvērējiem 433 MHz, 7 datu baiti, 9600 bit/s	80- 82	~100 m
ZigBee protokola datu apmaiņa 868 MHz, 7 datu baiti, 9600 bit/s	155- 160	~100 m
ZigBee protokola datu apmaiņa 868 MHz, 64 datu baiti, 9600 bit/s	252- 258	~100 m
ZR7AZ/ZF-1 AM raidītāji-uztvērēji 433 MHz, 31,25 Kbit/s	300- 340	<100 m

2.7. Secinājumi

- * Tiešās EIBMVS praksē realizēt ir komplicēti, turklāt tām ir zema traucējumnoturība. Tiešās EIBMVS iespējams realizēt ar pilna duplexa analogi vai digitāli modulēta radiosignāla palīdzību, bet nav iespējams realizēt izmantojot virknes datu apmaiņu.
- * Vienlaicīgu vairāku parametru monitoringu vai vairāku komandu EIBMVS iespējams realizēt ar nepilna vai pilna duplexa analogi vai digitāli modulēta radiosignāla palīdzību.
- * Tiešo un vienlaicīgu vairāku parametru monitoringu / vairāku komandu EIBMVS galvenie trūkumi ir zemā radiotraucējumu noturība, augstas izšķirtspējas zemo frekvenču joslu filtru nepieciešamība un neliels monitorējamo parametru dinamiskais diapazons <48 dB (<255:1).
- * Reāla laika EIBMVS iespējams realizēt ar nepilna duplexa virknes datu radioviļņu komunikācijas moduļiem, vienlaicīgi izvairoties no datu retranslācijas, ja tas ir iespējams. Komunikācijas distance nepārsniedz 100 m.
- * Reālā laika EIBMVS praktiski nav iespējams realizēt ar ZigBee/XBee protokola moduļiem, jo laika aizture pārsniedz 180 ms.
- * Vispārējās EIBMVS iespējams realizēt ar jebkura veida komunikācijas moduļiem un protokoliem, jo ienestā laika aizture ir maznozīmīga, salīdzinot ar kopējo procesa laiku.
- * Relāciju datu bāzes programma "FileMaker" ir piemērota reālā laika EIBMVS vadībai gan lokāli, gan attālināti un tās izmantošana samazina EIBMVS vadības izstrādāšanai nepieciešamo laiku par 30 - 50 %, atkarībā no konkrētā risinājuma.
- * Sūtīšanas - saņemšanas laika noteikšanas "atbalss" metode ir vienīgā iespēja ticami noteikt šo laiku, jo tā ietver visus informatīvos un datu baitus, kā arī apkārtējās vides traucējumu ietekmi uz komunikācijas procesu.

3. JAUNU EIBMVS MEZGLU IZSTRĀDE

3.1. Čūskveida kustības robota mezglu elektropiedziņa

Čūskveida kustības izpildmehānismu [1] var pielietot kā robotu/manipulatoru roku vai arī tas var darboties atsevišķi.

Aprakstītais izpildmehānisms ietver vienādus moduļus (3.1.1.attēls), kuri ir savstarpēji savienoti un veido moduļu ķēdi.

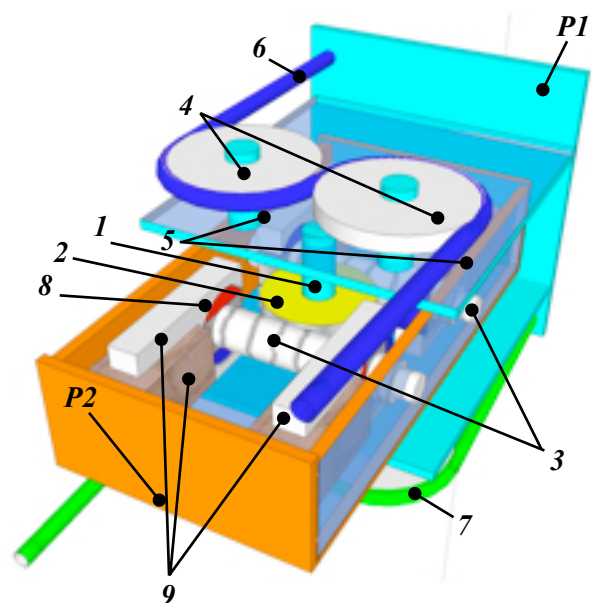
Moduļa daļas *P1* un *P2* ir savienotas ar asi *I*.

Ass *I* ir fiksēta attiecībā pret daļu *P1* un uz tās ir fiksēts gliemežrats *2*. Ar gliemežratu saizobē esošie gliemeži *3* ir brīvi iestiprināti daļā *P2*. Uz daļas *P1* ir fiksētas 4 asis *4* (2 katrā pretējā pusē) uz kurām var rotēt 4 skriemeļi *5*. Skriemļus *5* aptver koordināšu saites *6* un *7* attiecīgi katrā pusē.

Gliemežu galos fiksētie pastāvīgie magnēti *8*, magnētvasdi un tinumi *9* veido divus nelielas jaudas divfāzu soļu dzinējus, kuri nodrošina gliemežu rotācijas kustības vadību. Soļu dzinēju vietā var būt līdzstrāvas dzinēji vai homopolāri elektrodzinēji (Faradeja dzinēji). Dzinēju uzdevums ir pagriezt gliemežus bez slodzes.

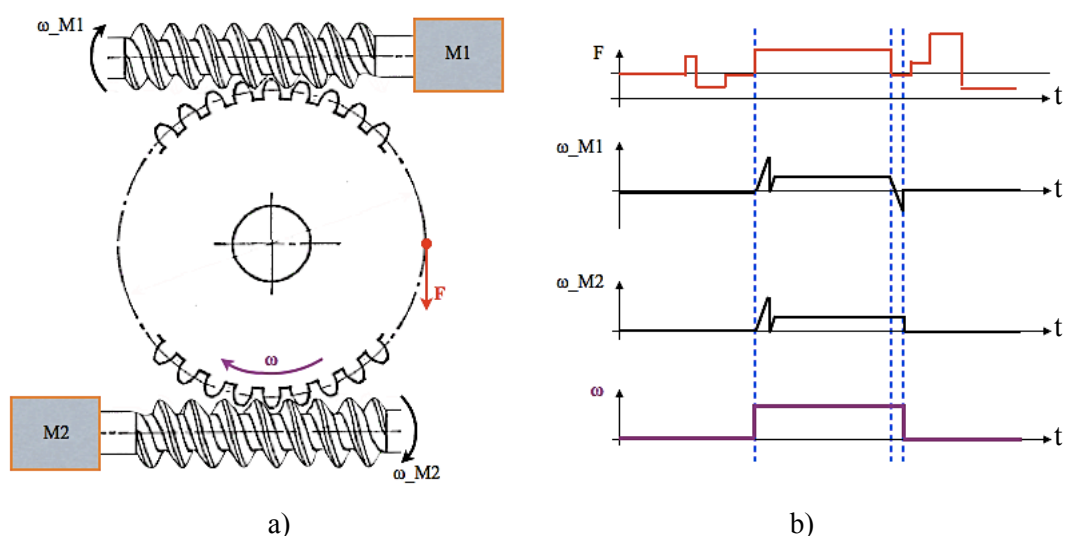
Gliemeži *3*, gliemežrats *2* un elektrodzinēji *8*, *9* veido elektriski vadāmu ass *I* fiksatoru tās rotācijas kustībai.

Atšķirībā no citiem elektriski vadāmiem fiksatoriem, piemēram, frikcijas, kuru vada ar elektromagnētu vai elektromagnētiskajiem sajūgiem, aprakstītais fiksators nodrošina stabili ass *I* pozīciju, neatkarīgi no ārēja spēka iedarbības rezultātā radītā ass *I* griezes momenta. Pozīcijas stabilitāti nosaka tikai konstrukcijas mehāniskie parametri.



3.1.1. att. Izpildmehānisma modulis

Aprakstītais fiksators izmanto divus gliemežus, divas elektropiedziņas un gliemežratu (3.1.2. attēls).



3.1.2. att. Elektropiedziņu, gliemežu un gliemežratu novietojuma shēma (a) un darbības diagramma (b)

Šāds mehāniskais risinājums, kopā ar atbilstošu elektropiedziņas vadību, ļauj minimizēt gliemeža-gliemežrata sazes spraugas. Optimālas sazes spraugas ir nepieciešamas šāda tipa pārvada darbībai.

Sazes spraugas likvidāciju panāk īsi pirms apstāšanās vienu gliemezi (piemēram, ω_{M1} , 3.1.2. attēls) griežot pretējā virzienā. Gliemežrats atrodas fiksētā stāvoklī starp abiem gliemežiem un sazes spraugu nav. Tas nodrošina stabilu ass **I** (3.1.1. attēls) pozicionēšanu.

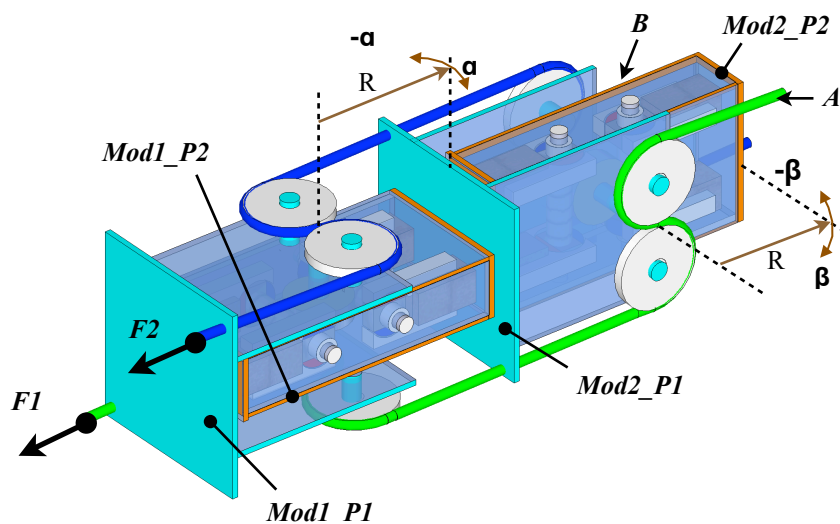
Iespējams izmantot arī dažādus elektropiedziņu apstāšanās laikus, ja tās griežas ar atšķirīgiem ātrumiem.

Koordināšu saišu **6** un **7** gali **A** un **B** ir piestiprināti daļai **Mod2_P2** vai pēdējai moduļu ķēdes daļai (3.1.3. attēls).

Velkot koordināšu saites **6** vai **7** attiecīgi ar spēku F_1 vai F_2 gliemežrats **2** nevar pagriezties, jo to bremzē gliemeži **3** (3.1.1. att.).

Daļas **Mod1_P1** un **Mod1_P2** (3.1.3. attēls) nemaina savu savstarpējo stāvokli.

Vienlaicīgi velkot koordināšu saiti **6** ar spēku F_1 un griežot gliemežus **3** atbilstošā virzienā, gliemežrats pagriežas par noteiktu leņķi α . Daļas **Mod1_P1** un **Mod1_P2** maina savu savstarpējo stāvokli par leņķi α .



3.1.3. att. Moduļu savienojums ķēdē

Analoģiski, vienlaicīgi velkot koordināšu saiti 7 ar spēku F_2 un griežot gliemežus 3 atbilstošā virzienā, gliemežrats pagriežas par noteiktu leņķi $-\alpha$. Daļas *Mod1_P1* un *Mod1_P2* maina savu savstarpējo stāvokli par leņķi $-\alpha$.

Gliemežu 3 pagriešanai nepieciešams neliels griezes moments, jo gliemežrats un gliemeži griežas saskaņotos virzienos. Gliemeži tikai seko gliemežrata zobu stāvokļa izmaiņām. Lai uzsāktu gliemežu griešanās kustību, nepieciešams īslaicīgs, paaugstināts griezes moments, ko panāk ar elektropiedziņas īslaicīgu elektronisku forsāžu.

Aprakstītā gliemežpārveda - dzinēja darbība smazina patērēto jaudu atšķirībā no zināmiem risinājumos, kuros elektrodzinēji nodrošina modulu savstarpējā stāvokļa maiņu, to jaudai visu laiku ir jābūt atbilstošai, lai pārvietotu nepieciešamo slodzi.

Pagriešanos jebkurā moduļu ķēdes modulī panāk izmantojot 2 koordināšu saites 5, 6, mainot to vilkšanas spēkus F_1 , F_2 .

Izmantojot tikai divas koordināšu saites, moduļu skaits ķēdē nav ierobežots. Zināmos risinājumos katram modulim ir sava koordināšu saišu grupa, kas ierobežo iespējamo moduļu skaitu moduļu ķēdē.

Koordināšu saišu skaits nav atkarīgs no moduļu skaita.

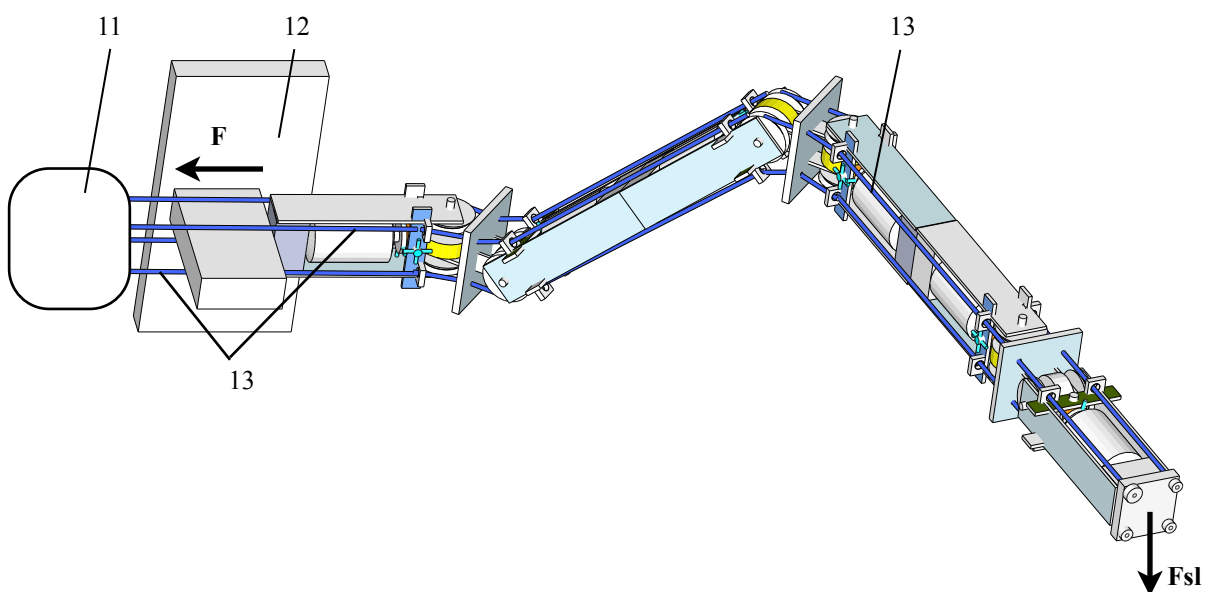
Nepieciešamo slodzi pārvieto spēka soļu dzinēji, kuri nodrošina nepieciešamo koordināšu saišu vilkšanas spēkus F_1 un F_2 .

Koordināšu saites ir fiksētas pie galējā moduļa moduļu ķēdes vienā galā - 3.1.1. attēls **A** un **B**, un pie izpildmehānismu bloka, kurš ir fiksēts pie robota/manipulatora korpusa, ķēdes otrā galā.

Moduļa garenass virzienā moduļi ir novietoti 0 vai 90 grādu leņķī vai jauktā secībā ķēdes garumā (3.1.4. attēls).

Čūskveida kustība notiek attiecībā pret pie korpusa fiksētā moduļu ķēdes gala.

Ir iespējams moduļu ķēdi vadīt ar 2 vai 4 koordināšu saitēm un tai iespējami dažādi konstruktīvie risinājumi, piemēram. 3.1.5. attēls un 3.1.6. attēls

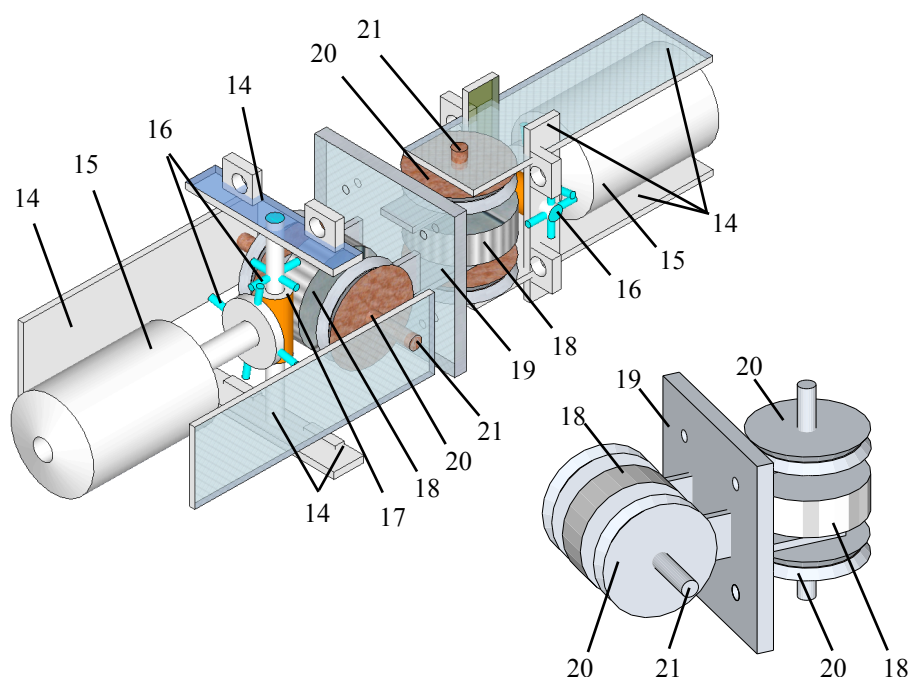


3.1.4. att. Kopējā konstrukcija

11-izpildmehānismu bloks; 12- robota/manipulatora korpus; 13-koordināšu saites

Variāntā ar līdzstrāvas elektromotoru modulis (3.1.5. attēls) ietver:

- 2 korpusus 14,
- 2 elektrodzinējus 15,
- 2 tapu zobratu pārus 16,
- 2 gliemežpārvadus ar gliemežiem 17 un gliemežratiem 18,
- starpelementu 19 ar skriemeļiem 20



3.1.5. att. Moduļu konstrukcija ar līdzstrāvas dzinējiem

Starpelementu **19** veido 2 gliemežrati **18**, 4 koordināšu saišu vadošie skriemeļi **20** un centrālā plāksne. Starpelements ir monolītas konstrukcijas un to ass **21**, kuras ir ievietotas korpusos **14**, ļauj starpelementam pagriezties attiecībā pret korpusiem.

Gliemežratu ass ir perpendikulāras, kas nodrošina 2 brīvības pakāpes.

Elektropiedziņu vadība ir analogiska iepriekš aprakstītajai versijai.

Svarīgs jautājums ir elektropiedziņu elektrobarošana.

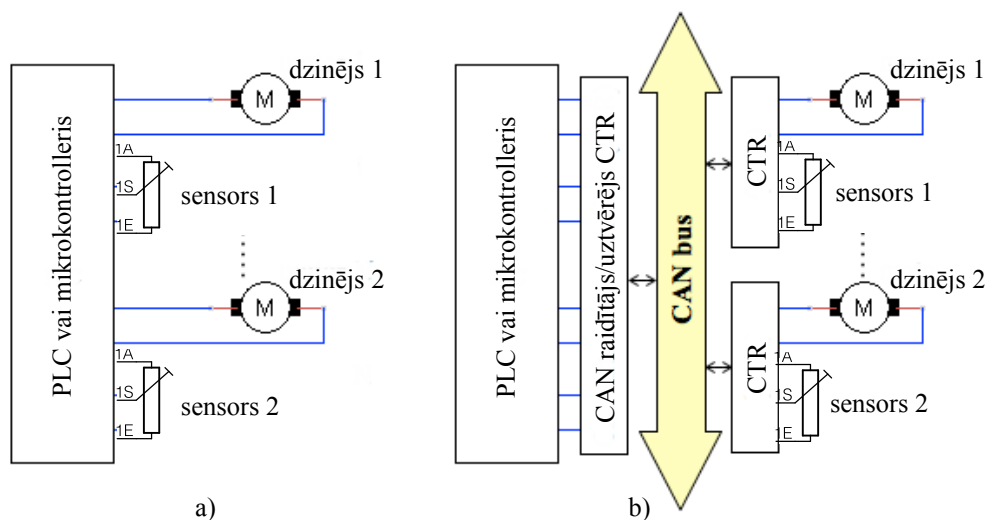
Vairāku elektrodzinēju un sensoru (ja tādi ir uzstādīti uz moduļiem) elektrobarošana ir iespējama dažādos risinājumos.

Lietojot vienkāršo pieslēgumu vadu sistēmu, kurā katram dzinējam un katram sensoram ir savs vadu pāris (3.1.6. attēls), čūskveida kustības robota mezglu dzinēju vadībai un mērījumu iegūšanai nepieciešami vismaz 6 vadu pāri katram moduļim.

Šiem sešiem vadu pāru komplektiem ir jābūt lokaniem, ar speciālu vadotni, lai nodrošinātu ilgstošu darbību pie moduļu savstarpējā stāvokļa maiņas, ko pus-sfēriskās leņķu pozīcijas kontekstā (3.1.7. attēls) ir tehniski sarežģīti realizēt.

Viens no iespējamiem variantiem ir izmantot CANbus (*Controller Area Network bus*) integrālās shēmas [9].

CANbus (ISO 11898-1) sistēmu plaši izmanto mūsdienu autorūpniecība praktiski visos automobiļu modeļos, piemēram [31].



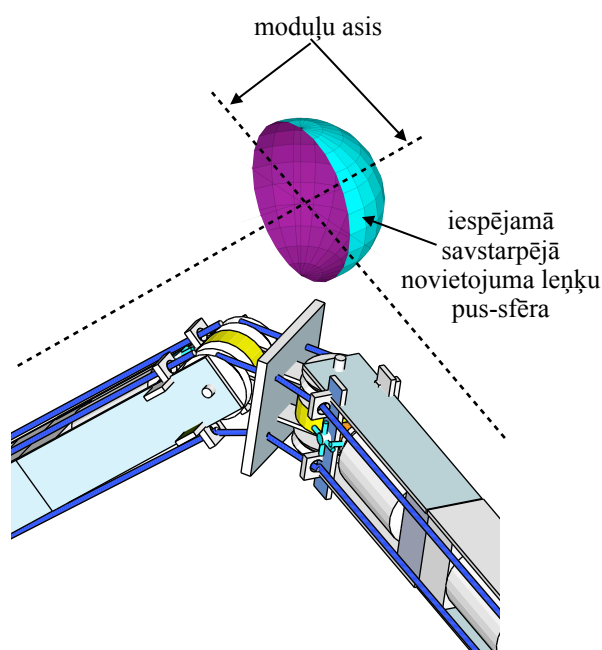
3.1.6. att. Dzinēju un sensoru vienkāršā pieslēgums un pieslēguma ar CANbus shēmas
a) vienkāršais, b) CANbus

CANbus ļauj samazināt nepieciešamo vadu skaitu.

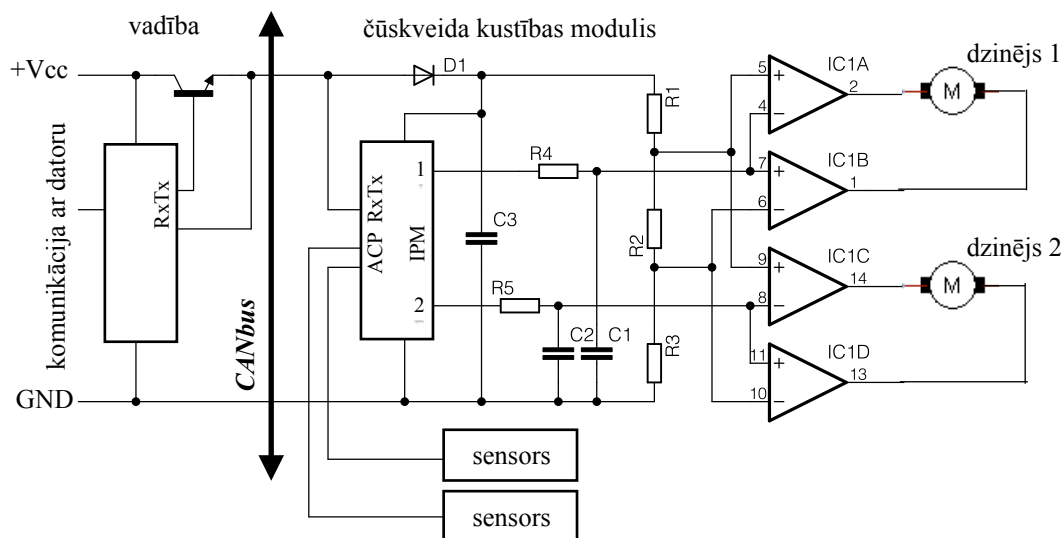
Ja 4 koordināšu saites ir veidotas no strāvu vadoša materiāla, tad CANbus datu pārraidei iespējams izmantot vienu koordināšu saišu pāri un otru pāri izmantot barošanas sprieguma pievadīšanai.

Ja izmanto tikai 2 koordināšu saites, tad iespējams izmantot kopēju līniju datiem un barošanai: barošanas-datu komunikāciju (*data over power lane*).

Ir pazīstami risinājumi gan maiņstrāvas 220V līnijām (*power line networking - PLN, and broadband over power lines - BPL*) [108], gan Ethernet datu pārraidei (*Power over Ethernet -PoE module*) [89], [91] u.c.



3.1.7. att. Moduļu pus-sfēriska savstarpējā stāvokļa leņķu regulēšanas konstrukcija



3.1.8. att.Datu komunikācija izmantojot CANbus elementus

Izmantojot CANbus, iespējams veidot datu komunikāciju līdzstrāvas barošanas līnijās nepilna duplexa režīmā (3.1.8. attēls). Tomēr, kā konstatēts eksperimentālās pārbaudēs, elektriskā savienojuma (starp koordināšu saiti un moduļa kontaktelementu) nepietiekamā kvalitāte, kuru izraisa pārtraukumi un pārejas pretestības maiņa savienojumā, ierobežo šādu praktisko pielietojumu.

Risinājums ir SDR vai ZigBee/XBee EIBMVS datu komunikācija. Šajā gadījumā strāvu vadošās koordināšu saites izmanto tikai līdzstrāvas jaudas pievadīšanai kustīgā savienojuma moduļiem, bet datu komunikāciju un moduļu elektropiedziņas vadību nodrošina SDR vai ZigBee/XBee komunikācija.

BV komunikācija rada laika aizturi (2. nodaļa), kuras ietekme uz pagriežina leņķa kļūdu ir parādīta 3.1 tabulā, uzskatāmībai izvēloties servodzinējiem raksturīgo parametru ω .

MODUĻA PAGRIEZIENA LEŅĶA KĻŪDA EIBMVS LAIKA
AIZTURES IETEKMĒ

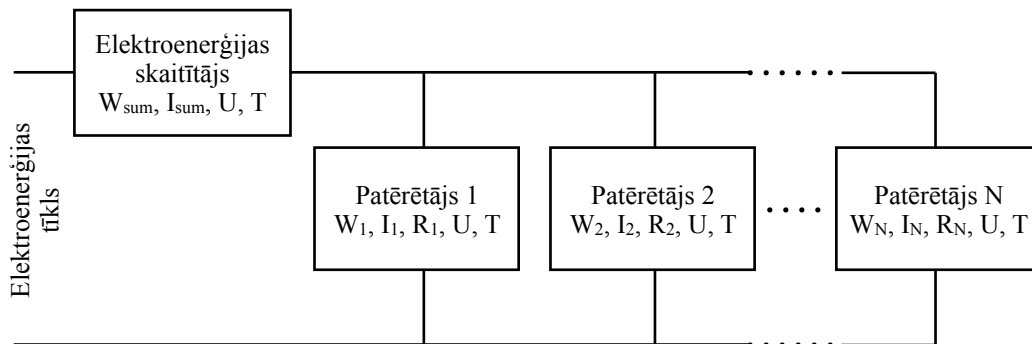
3.1. tabula

ω , deg/s	n, apgr/min	ω , deg/ms	α_{eho} , deg ($T_{\text{eho}}=82$ ms)
15	2,5	0,015	1,23
30	5	0,03	2,46
60	10	0,06	4,92
90	15	0,09	7,38

3.2. Termokompensēts šunts strāvas mērīšanai un integrācijai EIBMVS

Elektroenerģijas patēriņu vairāku patērētāju grupai uzskaita vienā punktā (3.2.1. attēls).

Mājsaimniecībām elektroenerģijas maksu aprēķina par patērēto aktīvo jaudu - aktīvo elektroenerģiju. Rūpnieciskiem patērētājiem, pie lielas reaktīvās jaudas, aprēķina maksu arī par patērēto reaktīvo elektroenerģiju.



3.2.1. att. Patērētāju grupas elektroenerģijas uzskaitē

Šāda kopīga uzskaitē neļauj noteikt individuāla patērētāja elektroenerģijas patēriņu, identificēt patērētājus ar palielinātu enerģijas patēriņu vai nelietderīgi pieslēgtus patērētājus.

Individuāls elektroenerģijas patēriņa mērītājs (elektroenerģijas skaitītājs) katram patērētājam ievērojami palielina instalācijas un uzturēšanas izmaksas.

Zemu izmaksu individuāla elektroenerģijas patēriņa identificēšanu iespējams realizēt izmantojot strāvas sadalījuma monitoringu starp patērētājiem [5] (3.2.1. attēls), (3.1), (3.4) vai patērētāju elektrisko pretestību monitoringu (3.5).

Katra patērētāja patērēto elektroenerģiju nosaka zināmā izteiksme (3.1):

$$W = P \times T = I \times U \times T = \frac{U^2}{R} \times T, \quad (3.1)$$

kur W - patērētā elektroenerģija, Wh,

P - patērētāja jauda, W,

T - laiks, kurā tiek patērēta jauda P , h,

I - patērētāja strāva, A,

U - patērētāja spriegums, V,

R - patērētāja aktīvā pretestība, Ω .

Kopējo elektroenerģiju aprēķina sekojoši:

$$W_{\text{sum}} = W_1 + W_2 + \dots + W_n, \quad (3.2)$$

kur W_{sum} - kopējā patērētā enerģija.

W_1, W_2, \dots, W_n - individuāla patērētāja patērētā enerģija.

Relatīvi izteiksmi (3.2) izsaka šādi:

$$\frac{W_1}{W_{\text{sum}}} + \frac{W_2}{W_{\text{sum}}} + \dots + \frac{W_n}{W_{\text{sum}}} = 1 \quad (3.3)$$

Spriegums un laiks visiem patērētājiem ir vienādi lielumi. Tad katra patērētāja patērētās enerģijas attiecība pret kopējo patēriņu:

$$I_1/I_{\text{sum}} + I_2/I_{\text{sum}} + \dots + I_n/I_{\text{sum}} = 1. \quad (3.4)$$

Savukārt, katra patērētāja strāvu nosaka tā pretestība, aktīvā vai kompleksā pretestība. Tad patērēto jaudu sadalījums ir atkarīgs no patērētāju pretestībām (3.5) (uzskatāmības dēļ izmanto aktīvo pretestību):

$$1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n = 1/R_{\text{sum}}. \quad (3.5)$$

Patēriņa strāvas mērīšanai tipiski izmantotie šunti ir dārgi, jo ir izgatavoti no dārga materiāla ar mazu pretestības temperatūras koeficientu, lai samazinātu temperatūras ietekmi, kuru vispārīgā gadījumā nosaka izteiksme (3.6):

$$R(t) = R(20) \times \{1 + \alpha[t - t(20)]\}, \quad (3.6)$$

kur $R(t)$ - pretestības vērtība pie temperatūras t , Ω ,

$R(20)$ - pretestības vērtība pie 20°C , Ω ,

α - materiāla elektriskās pretestības temperatūras koeficients, $^\circ\text{K}^{-1}$,

t - temperatūra, $^\circ\text{C}$,

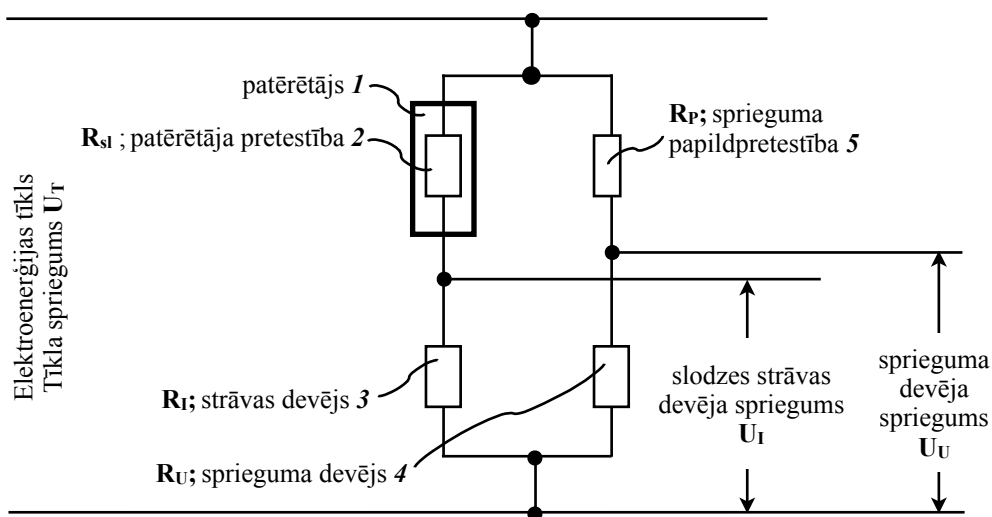
$t(20)$ - 20°C .

Ir zināmi paņēmieni temperatūras koeficienta ietekmes izslēgšanai [87], [88], strāvas mērīšanai [34] un enerģijas mērīšanai [79]. Šie paņēmieni palielina kopējo strāvas mērīšanas ierīces cenu komplicētās elementu izgatavošanas dēļ. Ja patērētāju grupa ietver vairākus patērētājus, piemēram, 8-10 patērētājus, katra patērētāja elektroenerģijas patēriņa devējam ir jābūt ar iespējami zemu cenu, lai samazinātu kopējās izmaksas.

Adekvātas cenas risinājumu nodrošina katra patērētāja **1** pretestības **2** (R_{s1}) mērīšana (3.2.2. attēls), izmantojot speciālas konstrukcijas devēju (3.2.3. attēls), precīzu zemas cenas mazjaudīgu rezistoru **5** (R_p) un elektrisko slēgumu ar mikrokontrollera ACP ieejām (3.2.5. attēls).

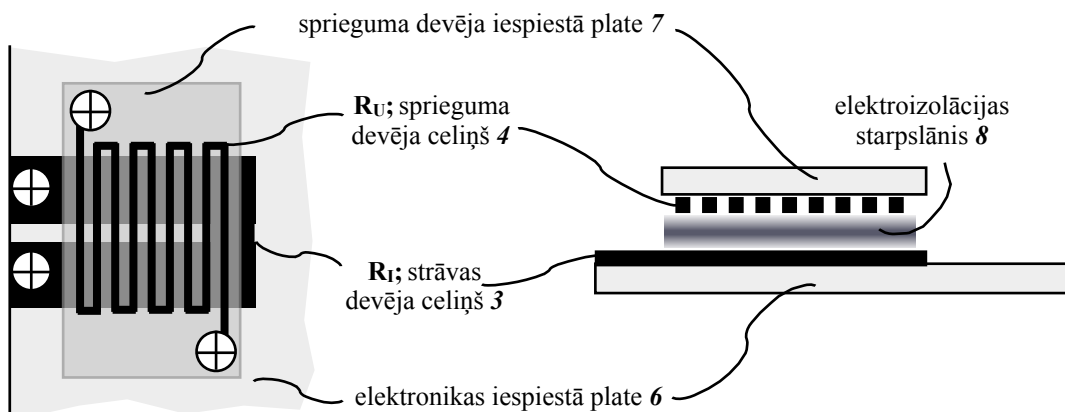
Devējs ietver elektronisko elementu iespiesto plati **6**, uz kuras, celiņa veidā, ir izveidots strāvas devēja rezistors **3**. Pretēji rezistoram **3** atrodas uz sprieguma devēja iespiestās plātes **7** izveidotais sprieguma devēja rezistors **4**.

Rezistori **3** un **4** ir mehāniski cieši fiksēti kopā. Starp tiem atrodas plāns, strāvu nevadošs, starpslānis **6**.



3.2.2. att. Patērētāja strāvas un sprieguma mērīšana

Tehnoloģiski rezistorus **3** un **4** izgatavo vienlaicīgi ar elektronisko elementu iespiesto plati **6**, kas samazina izmaksas. Pēc plātes **6** izgatavošanas, sprieguma devēja iespiesto plati **7** ar rezistoru **4** mehāniski atdala no plātes **6**, attiecīgi apgriež, lai rezistors **3** un rezistors **4** būtu vērts viens pret otru, un mehāniski sastiprina ar plati **6**, ievietojot starpslāni **8** (3.2.3. attēls).



3.2.3. att. Devēju konstrukcija

Šāda konstrukcija nodrošina praktiski vienādu rezistoru **3** (R_I) un **4** (R_U) darba temperatūru t . Papildus iespējams veidot termoizolāciju ar apkārtējo telpu, lai paaugstinātu vienādas temperatūras nodrošinājumu.

Slodzes strāvas devēja **3** spriegumu U_i un sprieguma devēja **4** spriegumu U_u (ja $R_{sl} \gg R_i$ un $R_p \gg R_u$) nosaka sakarības:

$$U_i = \frac{R_i(t) \times U}{R_{sl}} = \frac{R_i(20) \times \{1 + \alpha[t - t(20)]\} \times U}{R_{sl}} \quad (3.7)$$

un

$$U_u = \frac{R_u(t) \times U}{R_p} = \frac{R_u(20) \times \{1 + \alpha[t - t(20)]\} \times U}{R_p}, \quad (3.8)$$

kur U_i, U_u - sprieguma krituma vērtības uz pretestībām R_i un R_u ,

U - tīkla barošanas spriegums,

$R_i(t), R_u(t)$ - pretestību R_i un R_u vērtība temperatūrā t ,

$R_i(20), R_u(20)$ - pretestību R_i un R_u vērtība 20°C temperatūrā,

α - pretestības materiāla temperatūras koeficients.

Rezistori R_i un R_u ir izgatavoti no vienāda materiāla (iespiestās plates vara folija) un tiem ir vienāda darba temperatūra. Spriegumu U_i un U_u attiecība nav atkarīga no temperatūras t un to aprēķina šādi:

$$\frac{U_i}{U_u} = \frac{R_i(20) \times \{1 + \alpha[t - t(20)]\} \times U \times R_p}{R_u(20) \times \{1 + \alpha[t - t(20)]\} \times U \times R_{sl}} = \frac{R_i}{R_u} \times \frac{R_p}{R_{sl}}. \quad (3.9)$$

Attiecību R_u/R_i nosaka rezistoru R_u un R_i mehāniskie izmēri, kuru attiecība ir nemainīga. Rezistori R_u , R_i visiem monitorētajiem patērētājiem ir izvēlēti vienādi (ir vienādi to konstruktīvie izpildījumi) un to pielāide ir $\pm 0,5-1\%$.

Šādi nosacījumi ļauj apkopot izteiksmes (3.9) daļu un aizstāt to ar simbolu K (3.10):

$$K = \frac{R_i}{R_u} \times R_p, \quad (3.10)$$

un izteiksmi (3.9) iespējams vienkāršot (3.11):

$$\frac{U_i}{U_u \times K} = \frac{1}{R_{sl}}. \quad (3.11)$$

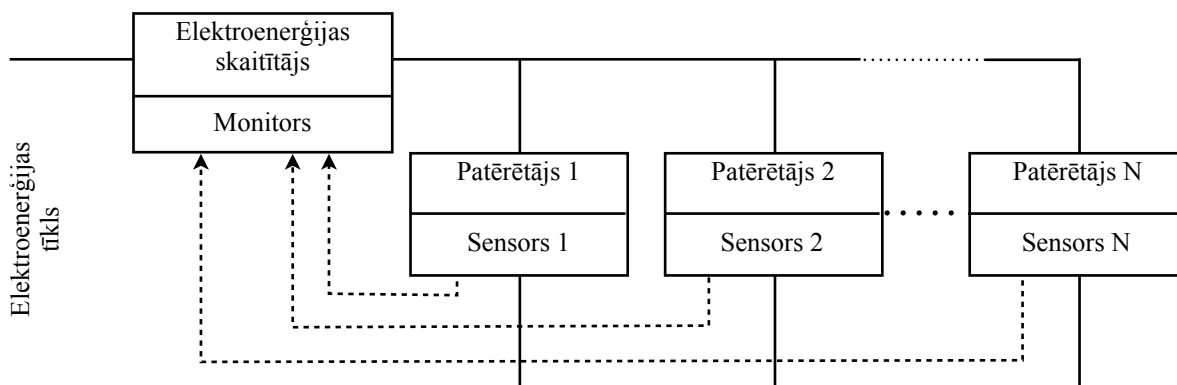
Savukārt, pārrakstot (3.5), iegūst izteiksmi (3.12):

$$\frac{U_{u1}}{U_{i1} \times K} + \frac{U_{u2}}{U_{i2} \times K} + \dots + \frac{U_{uN}}{U_{iN} \times K} = \frac{U_{u_sum}}{U_{i_sum} \times K}. \quad (3.12)$$

Koeficients K visām patērētāju monitoringa iekārtām ir vienāds, ko nodrošina vienāds konstruktīvais izpildījums. Tad izteiksmi (3.12) iespējams pārrakstīt šādi:

$$\frac{U_{u1}}{U_{i1}} + \frac{U_{u2}}{U_{i2}} + \dots + \frac{U_{uN}}{U_{iN}} = \frac{U_{u_sum}}{U_{i_sum}}. \quad (3.13)$$

Katra patērētāja procentuālā patēriņa no kopējā patēriņa monitoringu nodrošina attiecību U_{uN}/U_{iN} monitorings (3.13) reālā laikā un šīs attiecības neietekmē temperatūras izmaiņas.



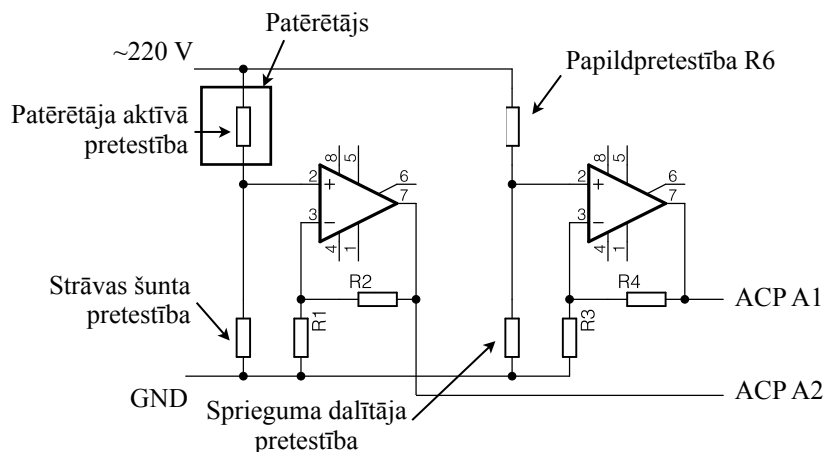
3.2.4. att. Elektroenerģijas patēriņa monitoringa struktūrshēma

Papildinot 3.2.1. attēlā parādīto struktūrshēmu ar aprakstītajiem termokompensētajiem

šantiem un tiem izstrādātu EIBMVS, iegūst elektroenerģijas patēriņa monitoringa sistēmas struktūrshēmu (3.2.4. attēls).

Mērīšanas un pastiprināšanas vispārīgā elektriskā shēma ir attēlota 3.2.5. attēls

Shēma ietver divus neinvertējošus, vispārēja pielietojuma operacionālos pastiprinātājus LM358 [70].



3.2.5.att.. Mērīšanas elektriskā shēma

Pastiprinātāju konstruktīvais - shematiskais izpildījums nodrošina iespējami nemainīgus pastiprinājuma koeficientus: operacionālie pastiprinātāji ir vienā IC korpusā, rezistori R1- R4 un papildpretestība R6, savstarpēji atrodas iespējami tuvu. Pretestībām R1 un R3, kā arī R2 un R4 ir jābūt iespējami precīzām un vienādām.

Aprakstītā termokompensētā šunta un monitoringa metodes integrācija patērētāju monitoringa EIBMVS sistēmā ir aprakstīta tālāk.

3.3. Secinājumi

* Čūskveida kustības izpildmehānisma konstrukcija ļauj mainīt moduļu ķēdes profilu, mainot koordināšu saišu nostiepumu ar vienlaicīgu attiecīgu elektrodzinēju darbību. Profila saglabāšanai nav nepieciešamas jebkura veida bremzes - enerģiju taupošs risinājums.

* Izstrādāta termokompensēta šunta galvenās priekšrocības ir temperatūras stabilitāte, iespēja izmantot patērētāja strāvu mērīšanai līdz 10A un vairāk, saglabājot nelielus izmērus, ka arī zemās izgatavošanas izmaksas.

4. EIBMVS EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI

4.1. Apgaismes sistēmas

Apgaismošanas sistēmas - vairāku gaismekļu telpu apgaismojums, ielu apgaismojums, drošības apgaismojums - ir viens no vienkāršākajiem EIBMVS pielietošanas veidiem.

Apgaismes sistēmu uzdevums ir nodrošināt cilvēka redzei atbilstošu apgaismojuma līmeni. Attīstoties pusvadītāju tehnoloģijām, apgaismojumam ir iespējams izmantot LED (*Light Emitting Diode*) gaismekļus. LED gaismekļiem, līdzīgi kā pazīstamajām kvēlspuldzēm, ir iespējams izmantot gaismmaini (*dimmer*) apgaismojuma līmeņa regulācijai.

Regulējot LED strāvu, mainās apgaismojums - no LED strāvas vērtības ir atkarīga LED izstarotās gaismas intensitāte.

Rakstulīkne - LED strāva-apgaismojuma līmenis - ir orientējoša, jo pilnībā neraksturo cilvēka redzei nepieciešamo apgaismojuma līmeni konkrētā situācijā. Patērētās jaudas un iegūtā apgaismojuma vai elektriskās jaudas attiecība pret optisko jaudu galvenokārt ir atkarīga no gaismas avota (4.1. tabula). Šodien eksistē dažādi standarti, noteikumi un aprēķini, kuru daļējs apkopojums ir dots [85].

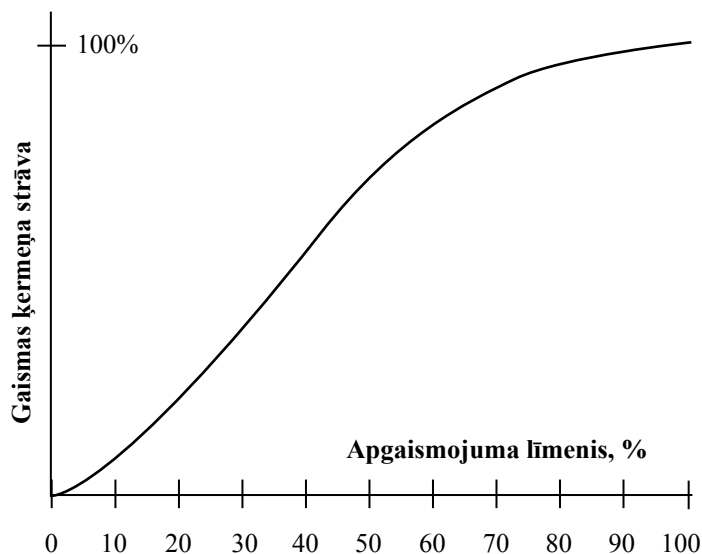
Dažādu gaismas avotu efektivitāte, OSRAM Opto Semiconductors dati

4.1.tabula

Lamp Type	Power consumption [W]	Luminous Flux [x 1000 lm]	Efficacy [lm/W]	CRI (color reproduction index)	Lifetime [x 1000 hr]
High Pressure Sodium	35 - 400	1.3 - 55	39 - 140	20 - 40	24
Metal Halide	35 - 400	3.4 - 32	70 - 90	60 - 90	6
High Pressure Mercury	50 - 400	1.8 - 22	35 - 90	40 - 60	8 - 12
Low Pressure Sodium	18 - 90	1.8 - 15	100 - 160	<20	16 - 30
Compact Fluorescent	5 - 55	0.25 - 4.8	50 - 88	40 to >90	9
LED (Golden DRAGON with Oval lens, 100pcs. during operation at 350mA)	112	7	55	80	10 - 50 (50% light decrease)

Cilvēka redzēšana un apgaismojuma uztvere ir kompleksi atkarīga no dažādiem faktoriem [94]. Tādēļ gaismas ķermeņa regulējošā parametra izmaiņām - strāvas (sprieguma) izmaiņām - vēlams nelineārs "S" veida raksturs (4.1.1. attēls) [18], jo sevišķi plūstoši mainot apgaismojumu.

Apgaismojuma līmeņa maiņai izmanto digitālos slēdža tipa strāvas (sprieguma) regulatorus, kuros strāvu iespējams mainīt no 0 līdz nominālai strāvai ar soli, piemēram, ar 1/3000 [123]. Šāds minimāls solis praktiski ļauj veidot jebkuru līkni, mainot skaitļa vērtību digitālā kodā.



4.1.1. att. Apgaismojuma regulēšanas “S” veida līkne.

No praktiskā viedokļa solis “1/3000” vairāk ir “reklāmas parametrs”.

EIBMVS šāda soļa izvēle nosaka nepieciešamību operēt ar 12 bitu kodu (1/4095), kas ir starp vienu baitu (8 biti; 1/255) (*byte*) un vienu vārdu (16 biti; 1/65535) (*word*). Informācijas apmaiņai ir jāoperē ar 16 bitu kodu, kas vienkāršiem un lētiem 8-bitu mikrokontrolleriem palielina apstrādes operāciju skaitu. Turklāt, ievērojot ka apmaiņai izmanto virknes kodu, 16-bitu kods ievērojami palielina datu apmaiņas laiku, jo sevišķi vienkāršajās EIBMVS, kurās definētais datu apmaiņas ātrums ir neliels, piemēram, SDR, ZigBee.

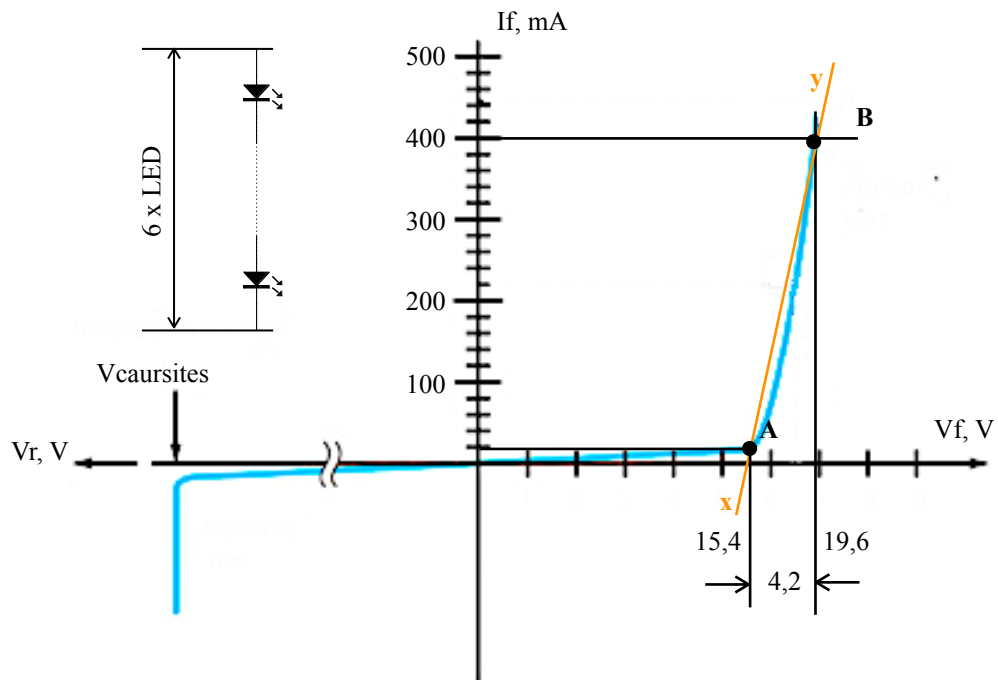
LED virknes (6 gb. LED virknes slēgumā) volt-ampēru raksturlīkne ir līdzīga p-n pārejas volt-ampēru raksturlīknei (4.1.2. attēls).

Eksperimentāli nosakot strāvas un sprieguma vērtības punktus A un B, redzams, ka sprieguma izmaiņas $\Delta U_f = 4,2V$ rada strāvas izmaiņas $\Delta I_f = 395mA$. Apgaismojuma regulēšanai izmanto diapazonu 15,4-19,6 V.

Dalījums 1/3000 pilnā diapazonā 0-19,6 V, nodrošina regulēšanas soli 6,53 mV.

Dalījums 1/255 tikai diapazonā 15,4-19,6 V, nodrošina regulēšanas soli 16,47 mV - 2,52 reizes lielāku, nekā iepriekš.

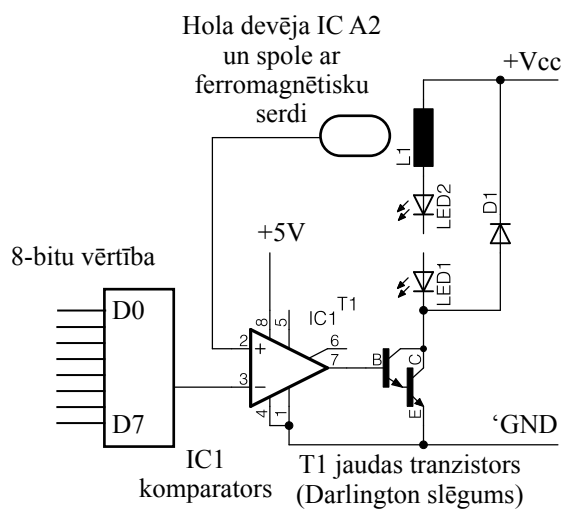
Šeit ir pieņemts ka LED virknes volt-ampēru raksturlīknei nav logaritmisks, bet ir taisnes raksturs, t.i. raksturlīkne posmā 19,2-20,4 V ir tuvu taisnei x-y.



4.1.2. att. 6 gb. LED virknes volt-ampēru raksturlīkne

Praktiskie eksperimenti atklāj, ka apmierinošus rezultātus iespējams iegūt izmantojot tikai 28 gradācijas (4.1.6. attēls) [6].

LED virknes strāvas vadības /stabilizēšanas shematiskais risinājums ir attēlots 4.1.3. attēlā.



4.1.3. att. Strāvas regulatora vienkāršots shematiskais risinājums

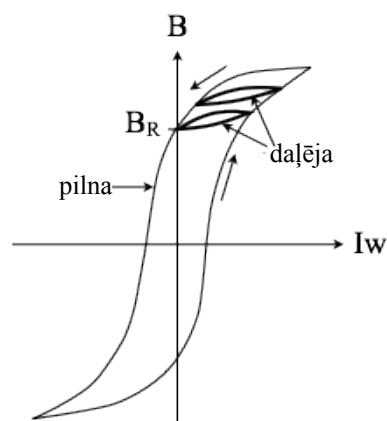
Strāvas stabilizatorā izmantots LED virknes strāvas bezkontakta HOLA magnētiskāšs plūsmas vērtības devējs, kas ievietots spolē ar ferromagnētisku serdi (4.1.4. att).

Hola devēja IC A2 izejas spriegums lineāri mainās robežās 2,5...5 V, mainoties plūsmi no 0 līdz +1 T, vai 2,5-0V, ja devējs, attiecībā pret plūsmu, ir apgriezts par 180°.

Stabilizatora darbības princips ir vienkāršs un labi zinams: komparators IC1 salīdzina Hola devēja IC A2 izejas spriegumu ar DAC (*Digital-to-Analog Converter*) izejas spriegumu un attiecīgi ieslēdz / izslēdz spēka tranzitoru T1 (bipolārais Darlington slēguma tranzistors), kurš komutē LED ķēdi D1, D2. LED ķēdi veido 4 paralēli zari, katrā 14 individuāli 1W jaudas LED.



4.1.4. att. Spoles ar ferromagnētisku serdi un Hola devēja konstrukcija



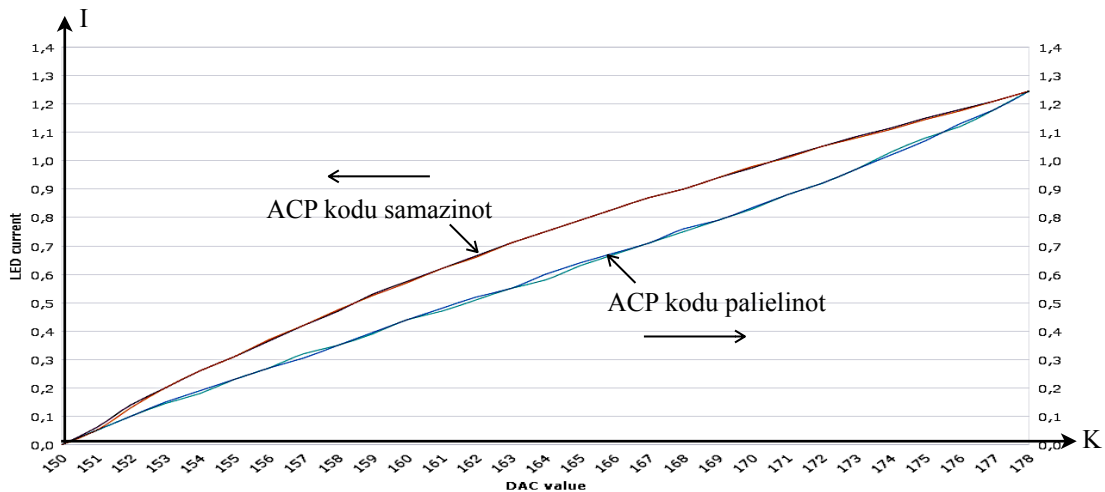
4.1.5. att. Spoles ar ferromagnētisku serdi magnētiskās histerēzes cilpa

DAC digitālās kodu saņem no mikrokontrollera, kurš savukārt informāciju ar ZigBee tīkla palīdzību saņem no centrālā punkta.

Strāvas stabilizatora barošanas spriegums $+V_{cc} = 50 \text{ V}$, kuru nodrošina kvalitatīvs laboratorijas klases barošanas avots.

Ferromagnētiķa magnetizēšanas līknes histerēzes cilpas (4.1.5. attēls) attēlo 3 pilnus izmaiņu ciklus no minimuma līdz maksimumam un otrādi. Cilpas ietekme ir attēlota 4.1.6. attēlā - bināro kodu palielinot un samazinot, LED strāvas vērtības līknes atšķiras.

Ekperimentāli iegūtās cetru gaismekļu strāvas stabilizatoru raksturlīknes “binārais kods - strāva” norāda šāda strāvas devēja magnētiskās ķēdes parametru nepietiekamu atkārtamību: 4.1.7. attēls, X-ass: binārais kods, Y-strāva, A



4.1.6. att. LED strāvas I - binārā koda K grafiks, K - binārā koda decimālā vērtība ACP ieejā

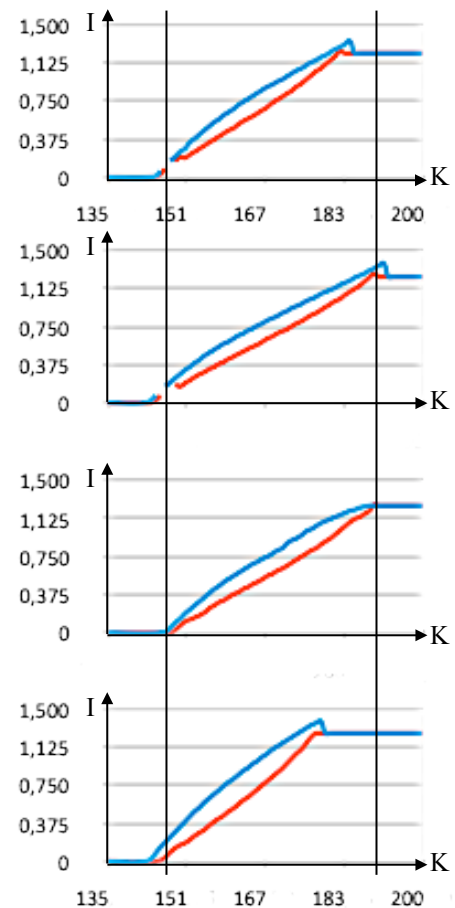
Noteicošā nozīme raksturlīkņu stabilitātei un atkārtojamībai starp stabilizatoriem ir:

- ferromagnētiska palielošajai magnetizācijai,
- gaisa spraugai starp Hola devēju un ferromagnētisko materiālu,
- devēja plaknes prependicularitātei pret magnētisko ķēdi.

Ferromagnētiska magnetizēšanas cilpas ietekme nav būtiska manuāli regulējamam gaismeklim.

EIBMVS sistēmās raksturlīkņu stabilitātei, minimālām atšķirībām un atkārtojamībai starp LED strāvas stabilizatoriem ir noteicoša nozīme un minētais ir jāievēro veidojot EIBMVS.

LED gaismekļu strāvas stabilizatori ar bezkontakta strāvas devējiem, kuri ir veidoti kā spoles ar ferromagnētisku serdi un tās radītās magnētiskās plūsma mērītāji, EIBMVS sistēmām nav piemēroti komplicētāka vadības algoritma dēļ, kurš nepieciešams ferromagnētiska histerēzes cilpas dēļ.



4.1.7. att. 4gb., vienāda dizaina, strāvas regulatoru raksturlīknes,

K - binārā koda decimālā vērtība ACP ieejā

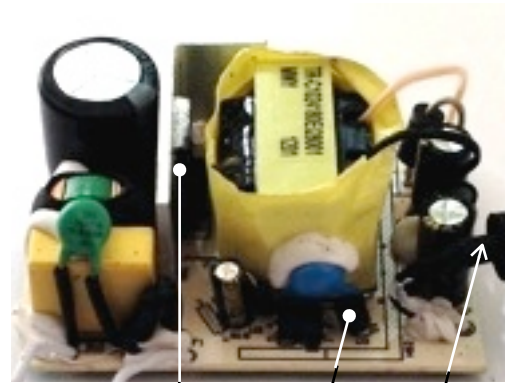
EIBMVS piemērota LED gaismekļa gaismmaiņa shēma ir attēlota 4.1.8.attēlā.

Realizētajā EIBMVS izmanto dalījumu 1/255 diapazonā 15,4-19,6 V.

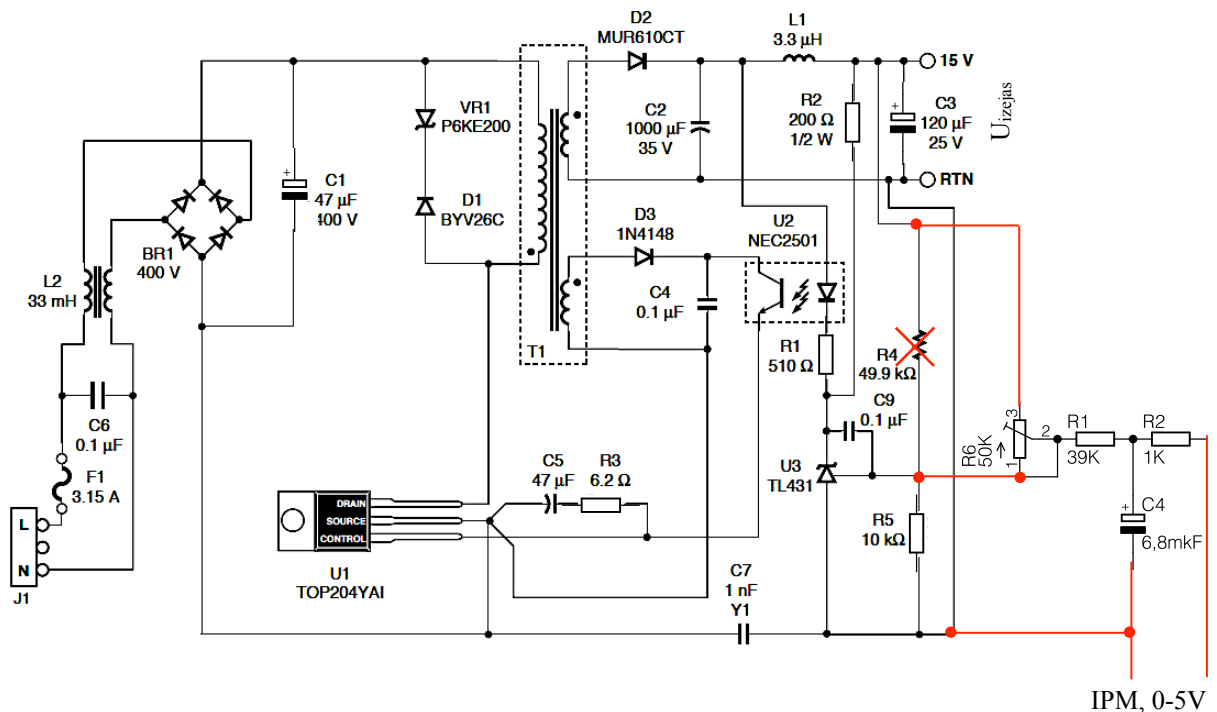
Papildinot esošo barošanas avota shēmu ar dažiem elementiem, iespējams izveidot jaunas vadības iespējas un pielietojumu EIBMVS: konstanta, stabilizēta izejas sprieguma barošanas avotu pārveidot par ar IPM (*Pulse Width Modulation*) vadāmu sprieguma avotu.

Šajā piemērā ar dažiem elementiem papildina IC TOP 204 [90] un TL431 [103] bāzētā SMPS (*Switching Mode Power Supply*) AC/DC sprieguma avota (4.1.8. attēls, [105]) shēmu (4.1.9. attēls).

Sākotnēji barošanas avota izejas spriegumu nosaka R4 (49,9K) un R5 (10K) pretestību sprieguma dalītājs (4.1.8. attēls).



TOP 204 TL431 =16 ... 20 V
4.1.8. att. TOP204 bāzēta SMPS 18W DC barošanas avota fotogrāfija



4.1.9. att. TOP204 bāzēta SMPS modifikācijas shēma izejas sprieguma regulēšanai ar IPM

IC TL431 ir šunta tipa sprieguma regulators (4.1.10. attēls), kura stabilizācijas spriegumu nosaka pretestību R3 un R2 attiecība

(4.1.11. attēls):

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \times V_{ref}. \quad (4.1)$$

Vref ir nemainīgs un saskaņā ar ražotāja datiem ir 2,495V. Rezistoru vērtības R3 = 49,9 KΩ un R2 =

10 KΩ (4.1.11. attēls) nosaka barošanas avota izejas sprieguma vērtību 14,95V.

Papildinot 4.1.9. attēlā parādīto shēmu:

- pieskaņošanas potenciometrs R6 aizstāj sprieguma dalītāja 49,9K pretestību R4,
- mikrokontrolera IPM signālu (0-5V) filtrē ar RC zemo frekvenču filtru R2=1K, C4=6,8μF. Filtrēto signālu ar rezistoru R1(39K) pievada stabilizatora regulēšanas ķēdei.

Vadāma aizpildījuma IPM signālu vērtību nosaka viens baits un to ģenerē praktiski visi plaši pielietotie mikrokontrolleri. Vienu baitu ir viegli pārsūtīt izmantojot EIBMVS bezvadu saiti.

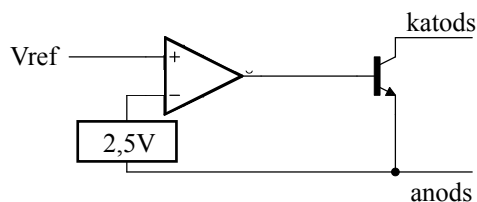
IPM signālu (šajā gadījumā tā frekvence ir 31,25 KHz) filtrē ar pirmās pakāpes RC filtru R2C4, kura nogriešanas frekvences, šajā piemērā, ir:

$$f = \frac{1}{2\pi R_2 C_4} = 23,41(\text{Hz}). \quad (4.2)$$

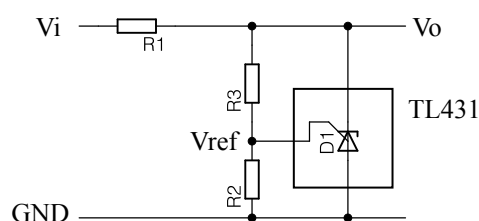
IPM FILTRA IZEJAS RAKSTURLIELUMI

4.2.tabula

IPM aizpildījums, %	U _{izejas} vid. V	Pārejas procesa laiks, ms	U _{pulsācijas} mV
25	1,25	15,66	
50	2,50	15,66	5,93
75	3,75	15,66	



4.1.10. att. Šunta sprieguma regulatora blokskhēma



4.1.11. att. Šunta sprieguma regulatora slēguma shēma

IPM filtrācijas rezultāts atkarībā no aizpildījuma koeficienta, ir dots 4.2. tabulā.

Regulēšanas ķēdes ekvivalentā shēma ir parādīta 4.1.12. attēlā. Signāls RC filtra izejā ir apzīmēts ar +Vreg.

Shēmā ir trīs darba režīmi:

1) $V_{reg} < V_{ref} = 2,5V$, kad

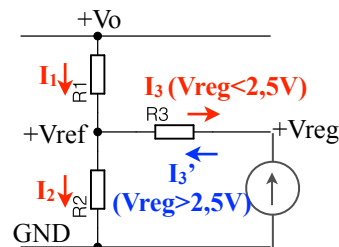
$$I_1 = I_2 + I_3, \quad (4.3)$$

2) $V_{reg} = V_{ref} = 2,5V$, kad

$$I_1 = I_2, I_3 = 0, \quad (4.4)$$

3) $V_{reg} > V_{ref} = 2,5V$, kad

$$I_2 = I_1 + I_3. \quad (4.5)$$



4.1.12. att. Regulēšanas ķēdes ekvivalentā shēma

Pieņem, ka maksimālais izejas spriegums $V_{omax} = 15 V$ ($IPM = 0\%$) un minimālais izejas spriegums $V_{0min} = 5V$ ($IPM = 100\%$). Regulēšana ir lineāra un tad vidējais izejas spriegums ir $10 V$, ja $IPM = 50\%$. Šajā gadījumā ir ekvivalentās shēmas 2. režīms un pretestība $R1$, saskaņā ar (4.1) ir:

$$R1 = R2 \times \frac{V_0 - V_{ref}}{V_{ref}} = 10(K) \times \frac{10 - 2,5}{2,5} = 30(K). \quad (4.6)$$

Rezistora $R3$ vērtību aprēķina ekvivalentās shēmas 3.gadījumā, kad izejas spriegums $V_{omax} = 15 V$. Šajā gadījumā $R2$ un $R3$ veido pretestību paralēlo slēgumu, kura vērtība ir:

$$(R2 \parallel R3) = \frac{R1 \times V_{ref}}{V_0 - V_{ref}} = \frac{30(K) \times 2,5}{15 - 2,5} = 6(K) \quad (4.7)$$

Tad $R2$ vērtība ir;

$$R3 = \frac{R2 \times (R2 \parallel R3)}{R2 - (R2 \parallel R3)} = \frac{10(K) \times 6(K)}{10(K) - 6(K)} = 15(K). \quad (4.8)$$

Aprēķina pārbaudei iespējams izmantot ekvivalentās shēmas 1.režīmu. Barošanas avota $V_{0min} = 5 V$, šajā gadījumā, ir vienāds ar PVM signāla amplitūdas vērtību $5 V$. un var uzskatīt, ka pretestības $R1$ un $R3$ veido paralēlslēgumu, kura vērtība ir $10 K$.

Izejas spriegums $V_{o\min}$:

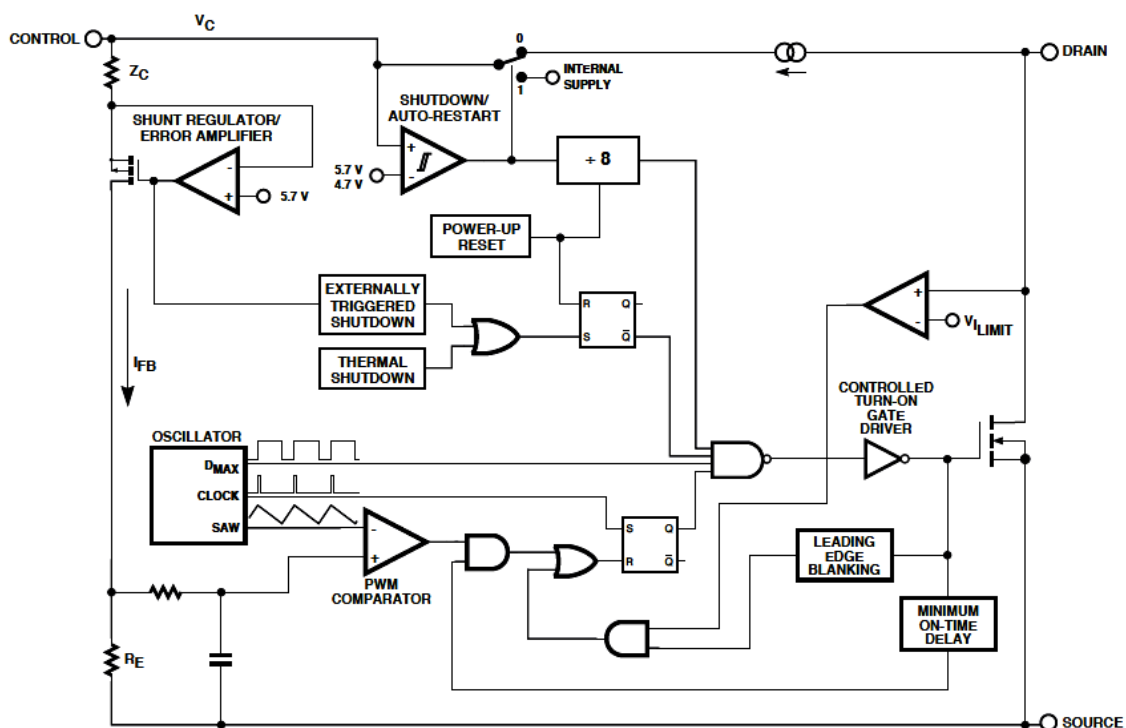
$$V_o = \left(1 + \frac{10K}{10K}\right) \times 2,5 = 5(V) , \quad (4.9)$$

kas atbilst nepieciešamajai vērtībai.

Pretestību R1 iespējams aizstāt ar potenciometru ar kura palīdzību noregulē maksimālo pārveidotāja izejas spriegumu, kad IPM aizpildījuma koeficients ir 0.

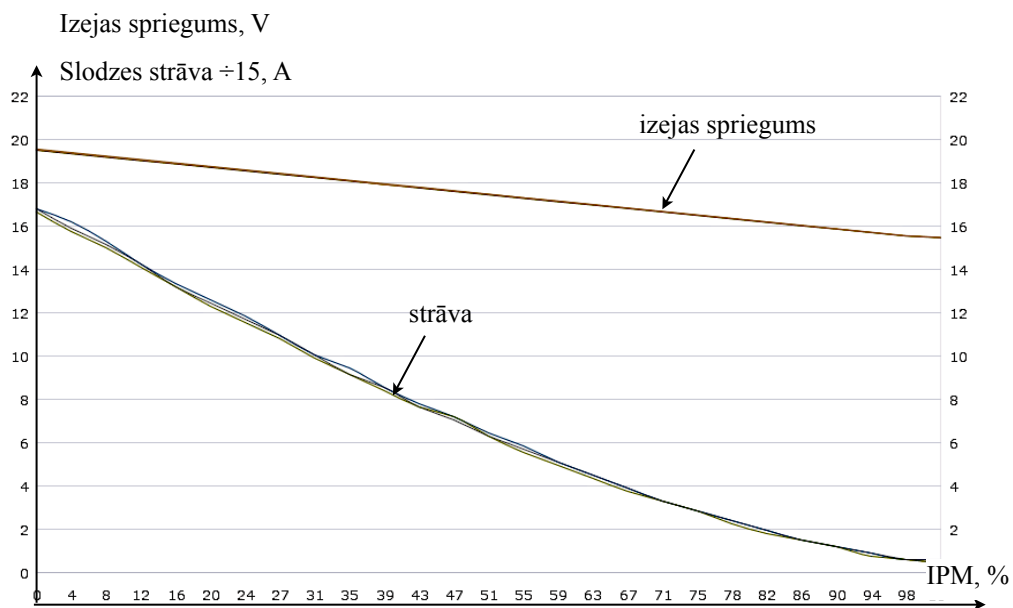
Jāatceras, ka izejas spriegums samazinās, palielinot IPM aizpildījuma koeficientu.

Barošanas avota shēmas pamats ir Power Integrations IC TOP204, kurā ir integrētas nepieciešamās funkcijas: N-kanāla jaudas MOSFET tranzistors, 100 kHz ģenerators, iekšējais IPM bloks, kompensēts kļūdas pastiprinātājs, komandu ģenerators, aizsardzības shēmas u.c. - 4.1.13. attēls.



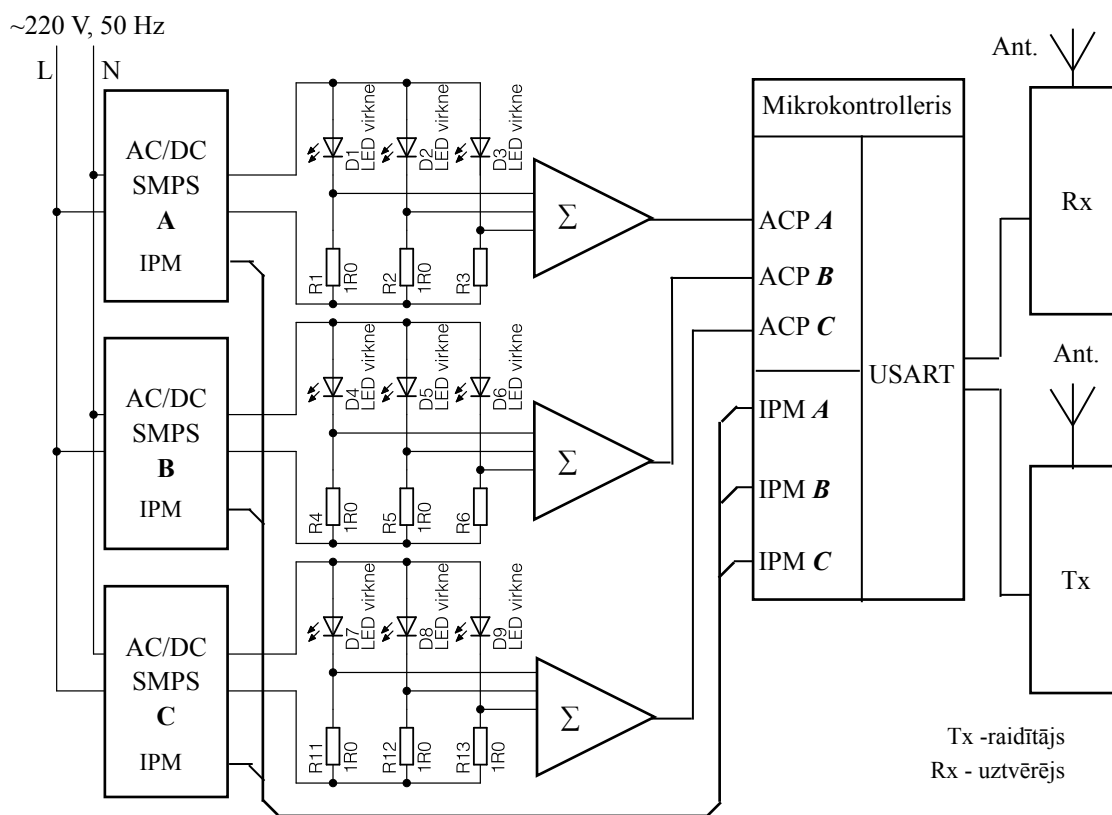
4.1.13. att. Power Integrations ICTOP200-204/214 blokshēma

Modificētā barošanas avota raksturlīknes - U_{izejas} atkarība no IPM aizpildījuma koeficienta procentuālās vērtības - ir redzamas 4.1.14. attēlā.



4.1.14. att. Modificētā barošanas avota raksturlielnes atkaņbā no vadības IPM aizpildījuma - LED slodze: 6 LED virknē +2 Ω papildpretestība, 3 virknes paralēli

Ar mērķi palielināt kopējo gaismekļa jaudu, izmanto trīs vienādus aprakstītos barošanas avotus ar kopēju vadību - 4.1.15. attēls.



4.1.15. att. Trīs LED barošanas avotu integrēšana vienā gaismeklī - funkcionālā shēma

4.1.15. attēlā parādītās elektriskās shēmas realizētais risinājums nodrošina slodzes strāvas stabilizāciju, mainot IPM aizpildījuma koeficientu.

Risinājums ar LED slodzi nodrošina kopējo strāvu līdz 1,2 A un spriegumu robežās no 15,4 V līdz 19,6 V, mainoties IPM aizpildījumam no 100% līdz 0% (4.1.14. attēls).

Sprieguma kritums uz LED p-n pārejas ir atkarīgs no pārejas darba temperatūras - temperatūrai pieaugot, sprieguma kritums samazinās. Ja LED barošanas spriegums ir konstants, tad pieaug strāva LED virknēs. Izmaiņas kompensē ar regulatora IPM aizpildījuma koeficienta pieskaņošanu.

Izveidotajā shēmā katrā LED zarā ir virknē ieslēgta pretestība kuras nodrošina strāvas balasta elementa funkcijas LED virknēs un strāvas vērtības devēja funkcijas.

Ja sprieguma kritums uz šīm pretestībām atšķiras no noteiktā līmeņa, mikrokontroleris veic IPM aizpildījuma jaunās vērtības kalkulāciju.

Strāvas vērtībai pārsniedzot maksimāli pieļaujamo vērtību kādā no zariem, mikrokontroleris maina IPM aizpildījuma koeficientu un atbilstošu informāciju nosūta uz EIBMVS centrālo moduli.

Nepietiekamā mikrokontrolera ACP ieeju skaita dēļ, nepieciešams izmantot neinvertējošu summatoru strāvu noteikšanai katrā LED grupā. Risinājums samazina iespēju definēt problemātisko

LED zaru. Redzamās trīs papildpretestības katrā grupā iespējams aizvietot ar vienu kopēju

SMPS AC/DC pārveidotāja efektivitāte

4.3. tabula

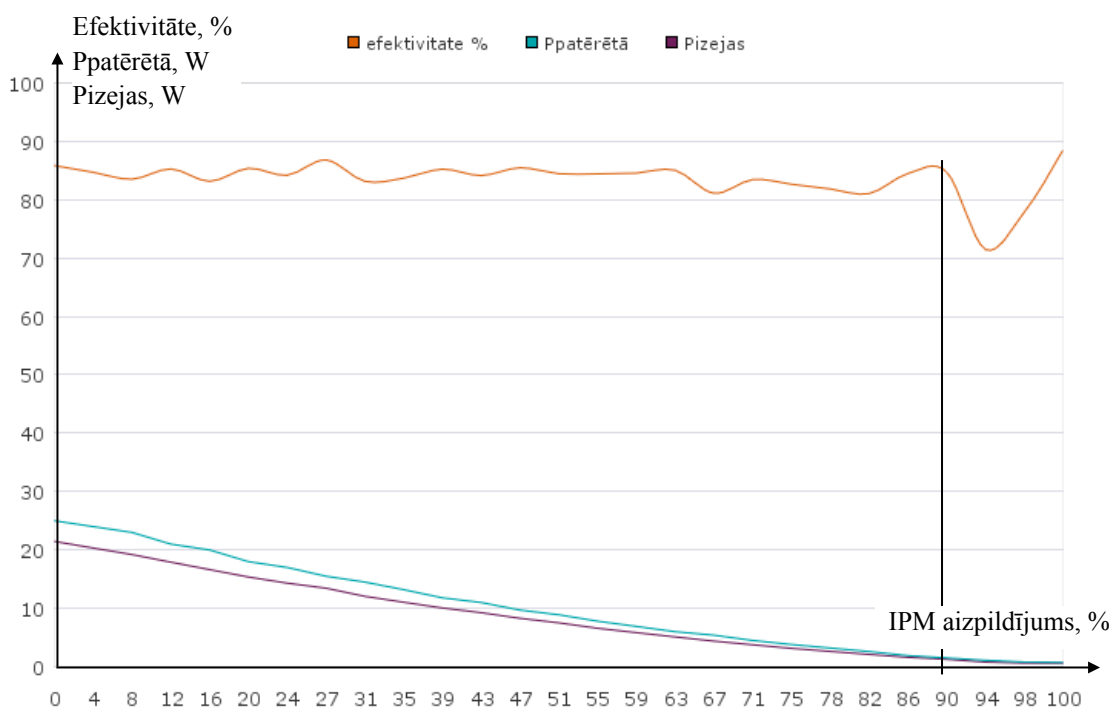
IPM	Pprim, W	Uiz, V	Iiz, A	Piz, W	η
0	25	19,51	1,1	21,46	0,86
10	24	19,36	1,05	20,33	0,85
20	23	19,21	1	19,21	0,84
30	21	19,05	0,94	17,91	0,85
40	20	18,9	0,88	16,63	0,83
50	18	18,74	0,82	15,37	0,85
60	17	18,59	0,77	14,31	0,84
70	15,5	18,43	0,73	13,45	0,87
80	14,5	18,27	0,66	12,06	0,83
90	13,2	18,11	0,61	11,05	0,84
100	11,8	17,96	0,56	10,06	0,85
110	11	17,8	0,52	9,26	0,84
120	9,7	17,64	0,47	8,29	0,85
130	8,9	17,48	0,43	7,52	0,84
140	7,8	17,33	0,38	6,59	0,84
150	6,9	17,16	0,34	5,83	0,85
160	6	17,01	0,3	5,10	0,85
170	5,4	16,85	0,26	4,38	0,81
180	4,5	16,69	0,225	3,76	0,83
190	3,8	16,53	0,19	3,14	0,83
200	3,2	16,37	0,16	2,62	0,82
210	2,6	16,21	0,13	2,11	0,81
220	1,9	16,05	0,1	1,61	0,84
230	1,5	15,89	0,08	1,27	0,85
240	1,1	15,73	0,05	0,79	0,715
250	0,8	15,57	0,04	0,62	0,779
255	0,7	15,49	0,04	0,62	0,885

papildpretestību, bet jāatceras ka šīm papildpretestībām ir arī otra funkcija - izlīdzināt strāvas zaros.

Mērījumu rezultātā aprēķinātā viena barošanas avota efektivitāte η ($\eta = P_{izejas} / P_{patērētā}$) ir robežās 0,81-0,87, ja slodzes strāvas ir 0,08-1,1 A diapazonā (4.3. tabula, 4.1.16. attēls). Rādījumi, ja IPM aizpildījuma koeficients ir lielāks par 90% (230/255), kad 3 LED zaru kopējā strāva ir mazāka par 0,08 A, nav ticami, jo LED darbojas p-n pārejas horizontālajā daļā (4.1.2. attēls).

Vairāki uzstādīti barošanas avoti palielina gaismekļa uzticamību: rodoties problēmai kādā no LED zariem, gaismeklis joprojām ir darboties spējīgs, lai arī tā jauda ir samazināta.

Individuālos barošanas avotus (LED grupu) vada atkarībā no nepieciešamā kopējā apgaismojuma līmeņa.

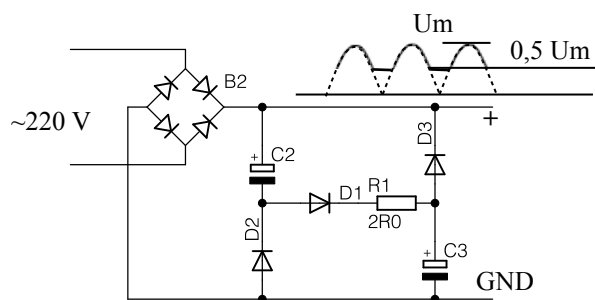


4.1.16. att. Barošanas avota jaudas un efektivitātes grafiki

Vadības algoritms šeit nav precīzi definēts, jo ir atkarīgs no gaismekļa LED grupu izvietojuma un individuālo LED izvietojuma grupās. Viekāršākajā versijā tiem ir kopēja IPM vadība.

Pārveidotāja barošanai ir iespējams izmantot 4.1.17. attēlā parādīto taisngrieztā sprieguma pulsāciju un filtra kondensatora uzlādes strāvas pīķu samazināšanas shēmu.

Šajā shēmā taisngrieža filtra kondensatoru uzlādes laikā tie ir slēgti virknē, bet izlādes laikā - paralēli. Uzlādes strāvas pīķa papildus ierobežošanai izmanto $2\ \Omega$ pretestību, kuru shēmā iespējams arī neiekļaut.



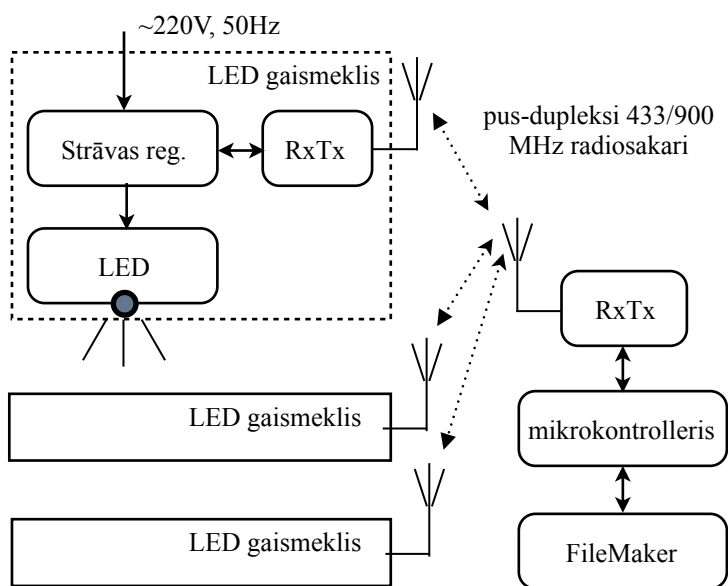
4.1.17. att. Taisngrieztā sprieguma pulsāciju samazināšanas shēma

Lietojot minēto shēmu, pārveidotājs saņem barošanas spriegumu tieši no barošanas tīkla laikā, kad tīkla spriegums ir lielāks par $0,5 U_m$ (U_m - sprieguma amplitūda). Šāda slēgumā pārveidotāja ieejas sprieguma svārstības ir robežās no $\sim 157\text{ V}$ līdz $\sim 314\text{ V}$ (220V tīkla maiņspriegums). Šādas vērtības iekļaujas pieļaujamo pārveidotāja ieejas sprieguma vērtību diapazonā - 128 V - 340 V .

LED gaismekļu vadības EIBMVS (4.1.18. attēls) ir realizēta ar 900 MHz ZigBee un ar 433 MHz SRD radiosakaru moduļiem zvaigznes tīklā un KRD (2.5. nodaļa).

ZigBee versijā datu apmaiņas laiks pārsniedz maksimālo reāla laika EIBMVS vērtību - vidēji 220 ms - zemā datu apmaiņas ātruma (9600bps) dēļ.

SRD versijā datu apmaiņas laiks iekļaujas reālā laika EIBMVS kritērijos - tas nepārsniedz 150 ms - mazāka pārsūtāmo baitu skaita dēļ.



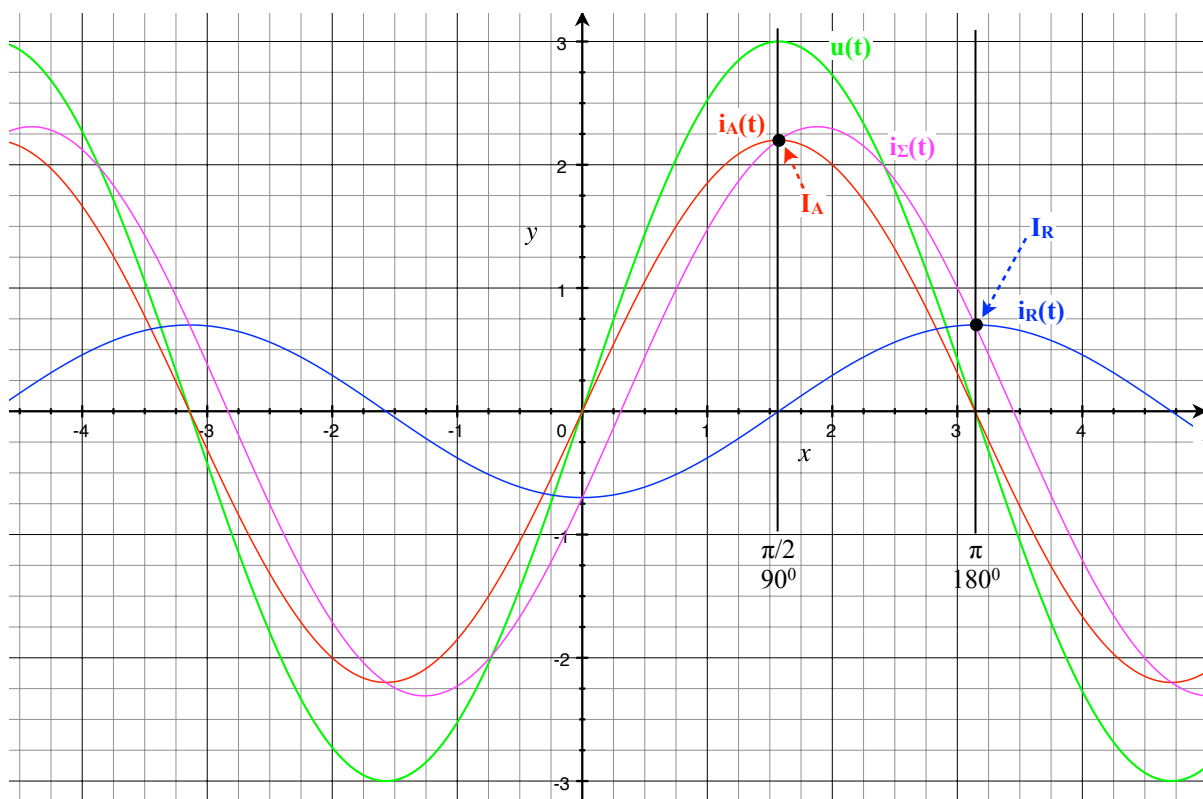
4.1.18. att. LED gaismekļu vadības radiofrekvenču tīkls

4.2. Patērētāju elektroiekārtu enerģijas patēriņa monitoringa sistēma

Patērētāju elektroiekārtās EIBMVS var veidot viedtīklu kontekstā vai arī kā neatkarīgus risinājumus.

EIBMVS, šī darba kontekstā, galvenokārt ir orientēta uz patērētāja elektroiekārtu parametru noteikšanu, savākšanu un rekomendējošo indikatoru aktivizēšanu.

Vienkāršākā shēma, kura ir izmantojama patērētāja sinusoidālas slodzes strāvas gadījumā, izmanto patērētāja strāvas vērtības noteikšanu momentos, kad spriegumam ir amplitūdas vērtība - perioda punktā $\pi/2$ vai 90° . Šajā gadījumā iegūst slodzes strāvas aktīvās komponentes amplitūdas vērtību (4.2.1. attēls). Savukārt, slodzes strāvas reaktīvas komponentes amplitūdas vērtību iegūst perioda 0° vai 180° punktos [3], [126]. Ilustrācijai ir izvēlēta sinusoidāls grafiks, jo tas ir uzskatāmāks par vektoru grafiku.

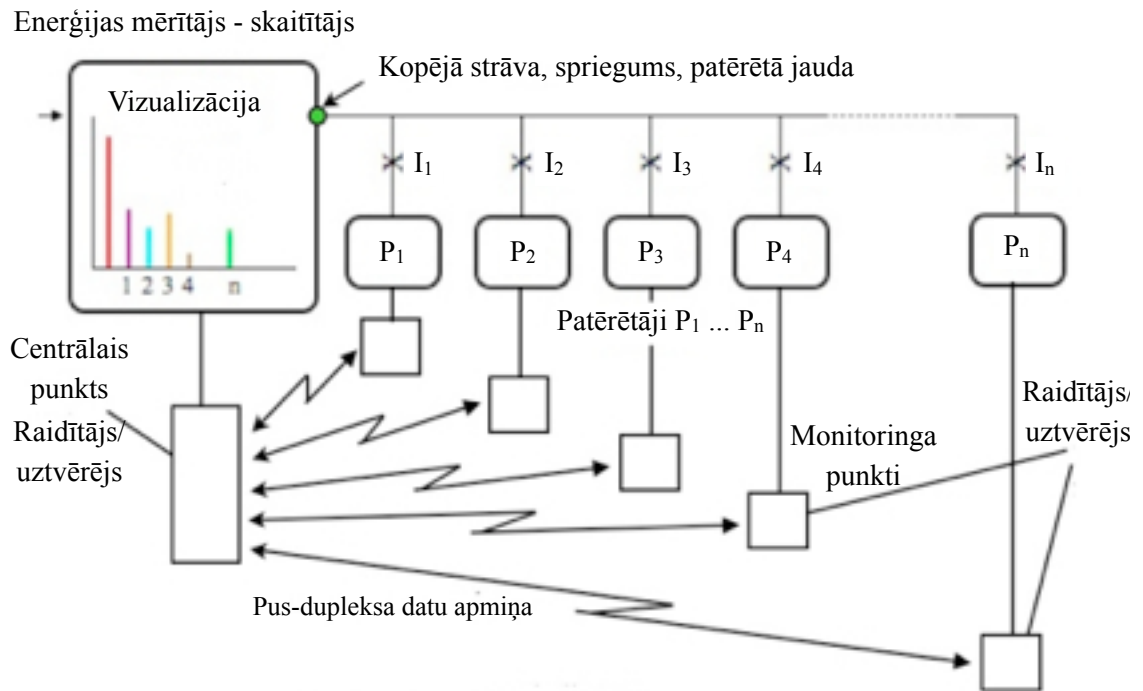


4.2.1. att. Sinusoidāla sprieguma, aktīvās, reaktīvās un kopējās strāvas grafiks

Daudzu tipu elektrotehnoloģiskās iekārtas, ja nav izmantoti speciāli paņēmieni, kropļo slodzes strāvas formu, galvenokārt SMPS ieejas taisngrieža un filtra kondensatora dēļ, tādā šāda vienkārša metode dod nepareizus rezultātus.

Papildinot 3.2. nodaļā aprakstīto termokompensēto šuntu strāvas mērīšanai ar EIBMVS, iespējams izveidot EPMS mājsaimniecību un ražošanas elektroenerģijas patērētājiem.

EPMS struktūrshēma ir parādīta 4.2.2. attēls, savukārt patērētāja pieslēgumvietas mērīšanas struktūrshēma - 4.2.3. attēlā [7].

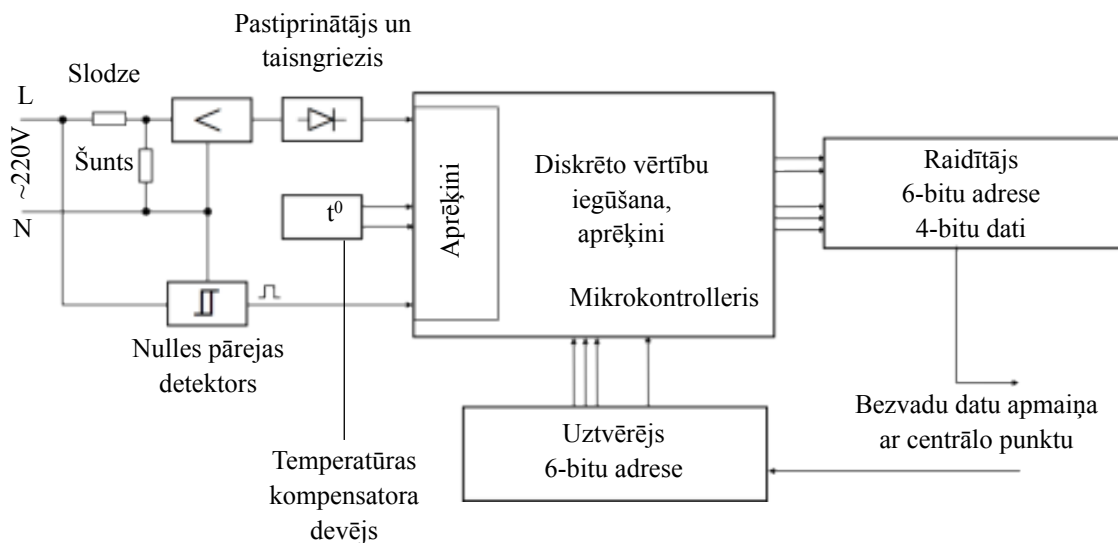


4.2.2. attēls Patēriņa monitoringa struktūrshēma

EPMS ar galvenais veidošanas mērķi - lietotāja informēšana par nelietderīgi vai neekonomiski pieslēgtiem patērētājiem - noteicošais kritērijs ir šādas sistēmas cena.

Kamēr elektroenerģijas cena nav pietiekami augsta, patērētāji nepievērš īpašu uzmanību tās taupīšanai un dārgu EPMS piedāvājums neizraisa patērētāju interesi.

Tā, piemēram, ja mājsaimniecībā ir 10 pieslēgumvietas, kurām ir vēlama uzraudzība (monitorings), tad nav vēlams un ekonomiski ir grūti pamatojama EPMS kopējā cena lielāka par 70-80 LVL vai apm. 3,5 - 4 LVL katrai EPMS pieslēgumvietai un apm. 30 - 40 LVL centrālām punktam.



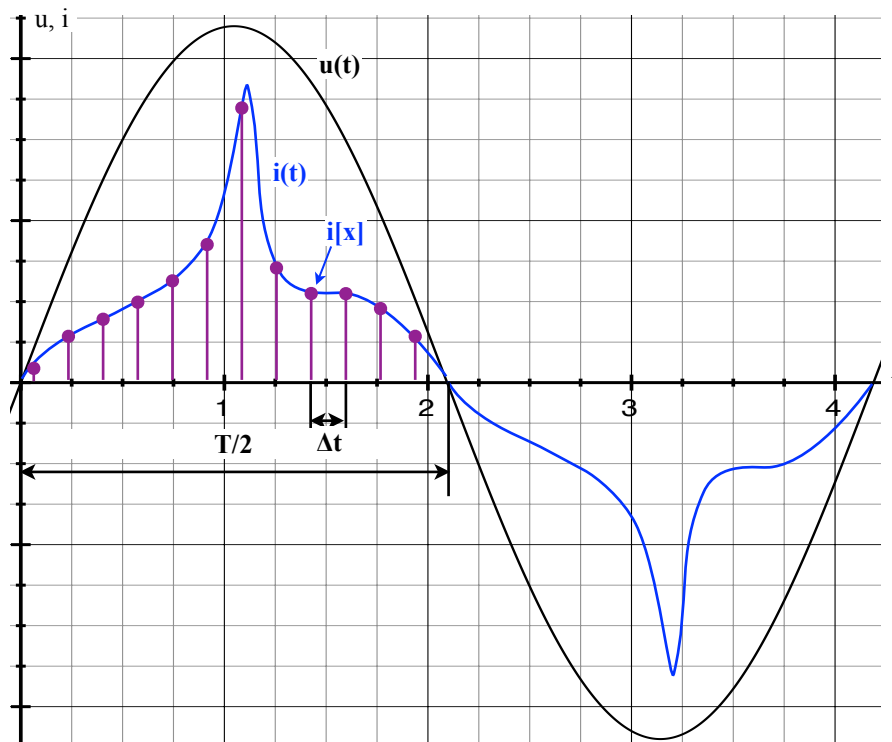
4.2.3. att. Patēriņa monitoringa pieslēgumvietas struktūrhēma

Pie esošā elektroenerģijas tarifa $\sim 0,1$ LVL/kWh (mājsaimniecībām), EPMS realizēšanas rezultātā nepieciešams ietaupīt 700 - 800 kWh, lai atpelnītu ieguldījumu. Tas nozīmē, ka gada laikā katru mēnesi ir jāieekonomē 58 - 67 kWh, vai 3 gadu laikā katru mēnesi jāieekonomē aptuveni 20 kWh.

Cits aspekts, protams, ir “zaļā domāšana”.

EPMS izstrādes gaitā tika realizēti vairākas EPMS pieslēgumvietas un EIBMVS versijas. Visās versijās:

- kā teorētisko pamatojumu izmanto 3.2. nodaļā aprakstīto patērētās jaudas sadalījumu starp patērētājiem, novērtējot atsevišķo patērētāju strāvas sadalījumu kopējā strāvas vērtībā vai patērētāju momentāno vadītspēju (pretestību) sadalījumu,
- izmanto maiņstrāvas diskreto vērtību iegūšanu un mikrokontrolera datu apstrādi (4.2.4. attēls). Ar mikrokontrolera ACP palīdzību vienlaicīgi iegūtās strāvas vai slodzes pretestības vērtības summē maiņstrāvas pusperioda laikā un dala ar nolasījumu skaitu. Nolasīšanas frekvence ir vismaz 40 nolasījumi pusperioda laikā,
- datu apmaiņai starp centrālo moduli un monitorējamām patērētāju pieslēgumvietām izmanto radiosakaru datu pārraidi.



5.2.4. att. Patērētāja strāvas momentāno diskrētās vērtības

Mainstrāvas vidējo vērtību aprēķina saskaņā ar (4.10):

$$I = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i dt, \quad (4.10)$$

un būtība vidējā vērtība raksturo laukumu, kuru veido x-ass un līkne viena pusperioda laika.

EPMS gadījumā, maiņstrāvas periods ir vienāds visiem patērētājiem un strāvu sadalījumu raksturo katra patērētāja izteiksmes (4.10) integrālā daļa. Integrālo daļu var aproksimēt to aizstājot ar taisnstūriem, kuru laukums ir $i[x] \cdot \Delta t$ (4.11):

$$I = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i dt \Rightarrow \int_0^{T/2} i dt \Rightarrow \sum_1^N i[x] \times \Delta t \quad (4.11)$$

Diskrēto vērtību iegūšanas laika periodi Δt visām monitoringa vietām ir vienādi - tos nosaka frekvence ar kvarca stabilizāciju. Tad elektriskās jaudas sadalījumu starp patērētājiem raksturo vidēja iegūtā diskrētā vērtība (4.12):

$$\frac{1}{N} \times \sum_1^N i[x] \quad (4.12)$$

EPMS cenas samazināšanai, nepieciešami lēti un efektīvi tehniskie risinājumi, kuri vienlaicīgi nodrošina arī vajadzīgos parametrus. Zemas izmaksu risinājumu iespējams iegūt izmantojot lielās sērijās ražotas komponentes.

ZigBee un WiFi moduļi ir dārgi (>12-15 LVL).

Tirgus izpētes rezultātā tika konstatēts, ka signalizācijas sistēmu raidītāju - uztvērēju moduļi ar integrētām kodēšanas - dekodēšanas funkcijām (4.2.5. attēls) ietilpst “zemas cenas kategorijā”, piemēram, SDR moduļu ZR7AZ un ZF-1 [116] komplekta cena ir ~1,80 LVL ieskaitot PVN.

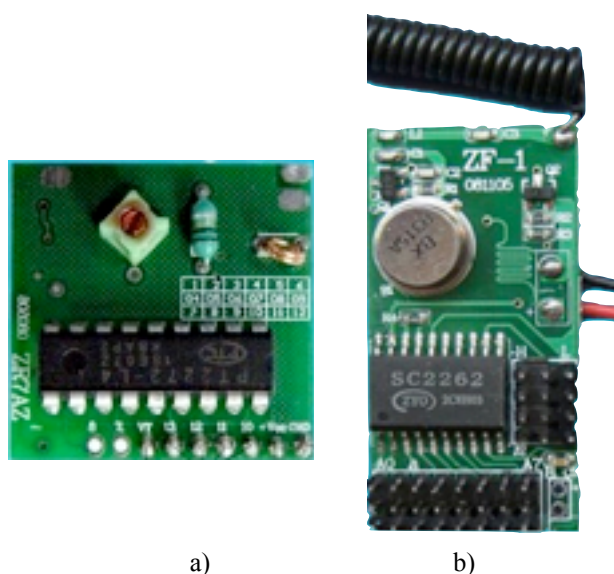
Moduļiem ZR7AZ un ZF-1 ir specifiskas īpašības un parametri, kuras izriet no to pamatuzdevuma - darbība signalizācijas sistēmās, 433 MHz nesēja frekvencē.

Izmantojot šos moduļus, lai veidotu elektroenerģijas patēriņa monitoringa sistēmu, nepieciešams ievērot specifiskos parametrus:

- datu pārraides ātrums nepārsniedz 31,25 kHz,
- datu kodu no raidītāja uz uztvērēju nosūta divreiz (ticamības dēļ), kas rada apmēram 150-200 ms aizturi no raidīšanas uzsākšanas momenta līdz derīgā signāla saņemšanai uztvērējā (2.3. tabula),
- moduļiem ir 8 trīsstāvokļu ieejas to adreses uzstādīšanai un 4 TTL līmeņu datu ieejas/izejas.

4-bitu lineāra datu pārvade nodrošina precizitāti 6,25% (1/16), kas pārsniedz plānoto 2% precizitāti.

6-bitu lineāra datu pārvade atsevišķi pārraidot jaunākos 3 bitus un vecākos 3 bitus, nodrošina precizitāt 1,56% (1/64), kas ir apmierinoši.



4.2.5. att. 433 MHz SDR raidīšanas - uztveršanas moduļi:
a) uztvērējs ZR7AZ, b) raidītājs ZF-1

Šajā gadījumā pieaug informācijas iegūšanas laiks, bet ir jāievēro:

- sistēma ir paredzēta monitoringam,
- datu nolasīšanas ātrums nav kritisks- informācijas apjoms par patērētāja patēriņu ir jāsabalansē ar datu apjomu.

Nav tehniski korekti pārraidīt divas reizes 4 bitus (kas dotu precizitāti 1/256), ko pieļauj raidītājs - uztvērējs. Ir nepieciešama identificējoša informācija: vai uztverti ir jaunākie vai vecākie informācijas biti. Identificējošo informāciju sniedz pārraidītais 4 bits - jaunākajiem 3 bitiem tas ir "0", vecākajiem 3 bitiem - "1".

Sistēmas optimizācijai paredzēts lineāras raksturlīknes vietā izmantot nelineāro, ar mērķi samazināt mērīšanas dinamisko diapazonu.

Neskatoties uz sasniegtajiem rezultātiem, sistēmas kopējā cena ir vēlama zemāka, lai rosinātu šādu elektroenerģijas patēriņa monitoringa sistēmu plašāku lietojumu.

4. pielikumā ir attēlots "Arduino" programmas koda piemērs (PKP) monitoringa sistēmas pieslēgumvietas modulim, savukārt 5. pielikumā - PKP centrālajam modulim.

4.3. EIBMVS bezvadu jaudas pārvades sistēmā

Lai nodrošinātu dažādu sensoru un izpildmehānismu (patērētāju) elektrobarošanu, kuri atrodas uz kustīga vai rotējoša mehāniska savienojuma kustīgās daļās, piemēram uz servodzinēja, soļu vai elektrodzinēja ass, vai dažādu robotikas sistēmu rotējošās daļas, zināmās un plaši pielietotās vadu cilpas nevar izmantot, ja kustība ir 360° un vairāk (4.3.1. attēls).

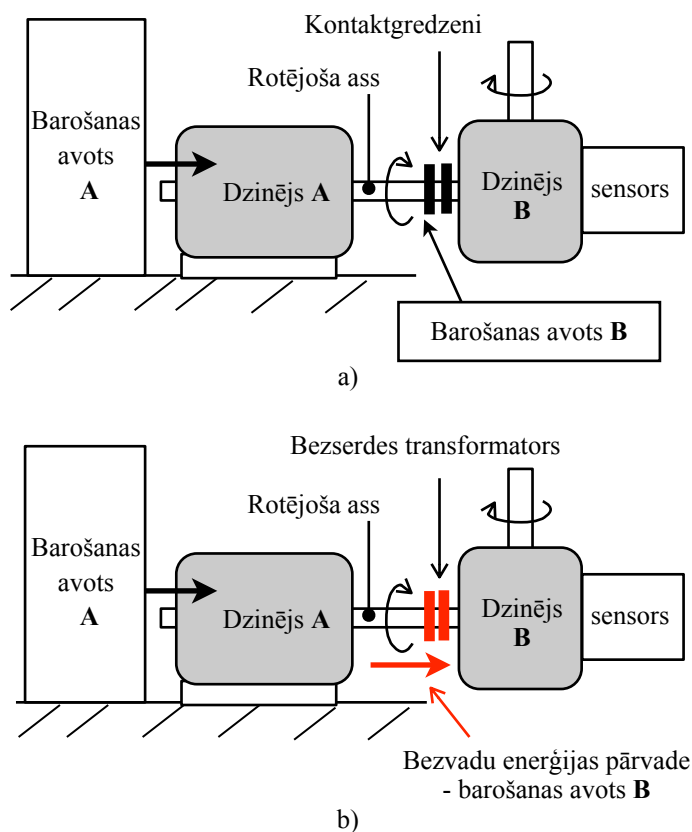
Vadu cilpu vietā ir iespējams izmantot kontaktgredzenus vai induktīvo vai kapacitatīvo saiti.

Kontaktgredzenus lietošana enerģijas pārvadē ir labi zināma. Risinājums ir relatīvi lēts, tomēr tam ir nepieciešama regulāra uzraudzība un apkope, turklāt, šāds risinājums var radīt elektrisko dzirksteļu veidotos radiotraucējumus.

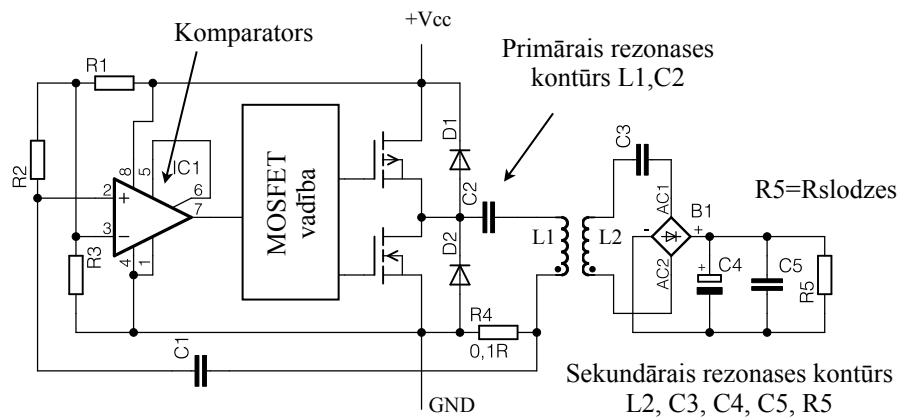
Kapacitatīvā jaudas pārvade ļauj sasniegt labus rezultātus, bet tā nav piemērota zemām rezonanses frekvencēm, jo nepieciešama liela kapacitāte - lieli kondensatora plates izmēri. Kapacitatīva jaudas pārvade ir perspektīva augstu darba frekvenču gadījumā.

Rezonanses parādība LC kontūros ir plaši izmantota dažādu topoloģiju rezonanses konverteros, piemēram [20], vai bezserdes enerģijas pārvades avotos [69].

Divu saistītu rezonanses kontūru pārveidotāja [8] elektriskā shēma ir attēlota 4.3.2. attēlā.



4.3.1. att. Uz rotējošas ass fiksēta patērētāja elektrobarošana:
a) kontaktgredzeni, b) bezserdes transformators



4.3.2. att. Divu saistītu kontūru rezonances jaudas pārvades shēma (bezserdes induktīva saite)

Pārveidotājam ir divas daļas: statiskā un kustīgā.

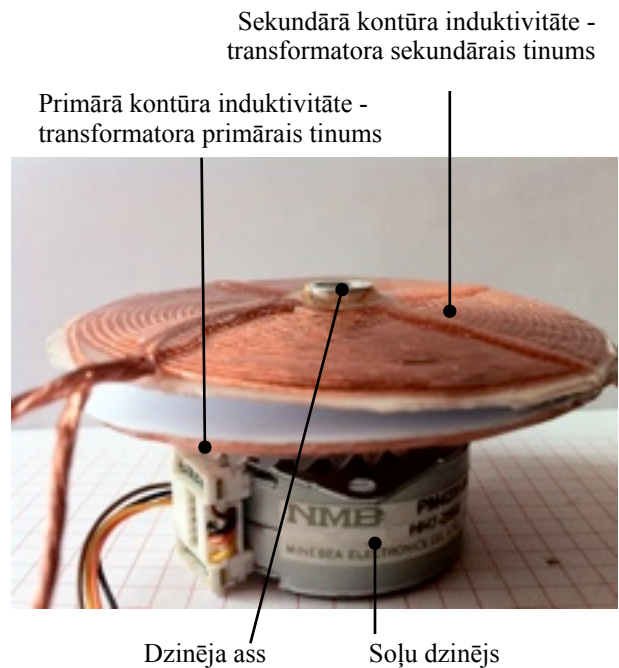
Statisko daļu veido pustilta slēdža MOSFET tranzistori, atpakaļdiodes D1, D2 MOSFET aizsardzībai, strāvas virziena noteikšanas šunta rezistors R4, primārais virknes L1C2 rezonances kontūrs un komparators IC1, kas vada pus-tilta pārslēgšanos, saskaņā ar rezonances kontūra strāvas virzienu.

Kustīgā (rotējošā) daļa ietver sekundāro kontūru L2C3, tilta taisngriezi, filtra kondensatorus C4, C5 un slodzi (informatīvi attēlota kā R5), piemēram, DC dzinēju, LED gaismekli, sensorus u.c.. Primārā un sekundārā rezonances ķēde ir induktīvi saistīta. Saiti veido primārā un sekundārā kontūra induktivitātes spoļu konstruktīvais izpildījums, kas attēlots 4.3.3. attēlā.

Pustilta tranzistori pārslēdzas strāvas vērtībai mainot zīmi - nulles momenta komutācija (ZCS). ZCS pārveidotāji ir plaši aprakstīti, piemēram, [92].

Rezonances pārveidotājs darba frekvence ir vienāda ar saistīto kontūru frekvenci un ir mazāku par 120 kHz.

Šī frekvence atrodas starp primārā un sekundārā kontūru rezonances frekvencēm, ko veido saliktā rezonanse (parciālrezonanse).



4.3.3. attēls Bezserdes transformatora konstrukcija

Sekundārā kontūra rezonanses frekvenci ietekmē slodzes pretestības vērtība.

Eksperimentos tika izmantotas divu veidu spoles ar vienādu ārējo diametru: lakota vara vada un “Litz” vada (licendrāta). Spoles iekšējais diametrs ir 12mm, ārējais - 75mm. Attālums starp spolēm ir aptuveni 0,5-1,5 mm, kas ir atkarīgs no spoļu bāzes plāksnīšu biezuma.

Emaljētas vara stieples spoles induktivitāte ir 82 μH ((mērot pie 100 kHz frekvences) un ir iespējams izmantot zemākas kapacitātes kondensatoru (augstāks kontūra labums). Šāds vads nav piemērots, jo pie augstām frekvencēm (>100 kHz) palielinās vada pretestība virsmas efekta rezultātā.

“Litz” vada spoles induktivitāte ir 23 μH . “Litz” vadam ir ievērojami mazāka virsmas efekta ietekme un šis spoles tips tika izmantots tālākos eksperimentālos testos. “Litz” vada spolei ir mazāka induktivitāte jo ir lielāks “Litz” vada diametrs.

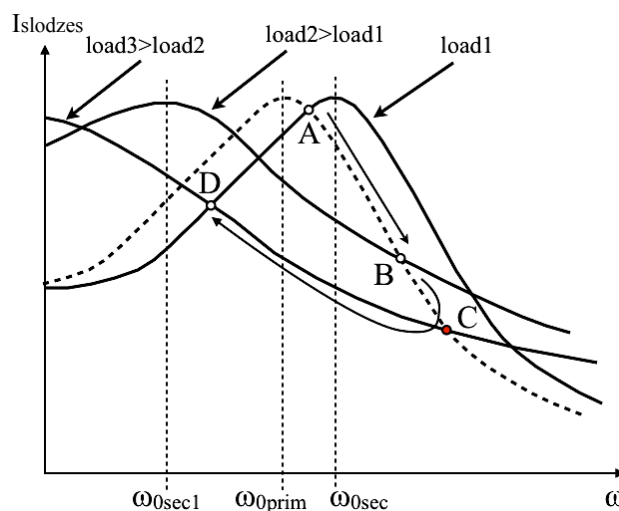
Primārā kontūra kapacitātes vērtība ir 0,1 μF , ko veido 4 gb. kondensatoru virknes-paralēlais slēgums (4x 0,1 μF , 160 V), lai atbilstu kontūra strāvas vērtībai. Aprēķinātā rezonanses frekvence ir 104,94 kHz.

Sekundārā kontūra kapacitāti veido analogisks slēgums, tomēr kontūra kapacitātes vērtība ir mazāka par 0,1 μF , jo virknē ir ieslēgta 2,2 μF filtra kapacitāte - apm. 95,65 nF, aprēķinātā rezonanses frekvence ir 107,3 kHz.

Eksperimentālos testos iegūtie parametri attēloti 4.4. tabulā.

4.3.4. attēlā redzama konvertera darba frekvences maiņa, mainoties slodzei. Mainoties slodzes strāvai, mainās sekundārā kontūra labums un rezonanses frekvence.

Tukšgaitā darba frekvences vērtība grafika ir punktā A. Slodzei palielinoties, darba frekvence pieaug - punkti B, C - un konvertera izejas īsslēguma gadījumā tā pārvietojas uz punktu D - frekvence ir mazāka, nekā tukšgaitas režīmā.



4.3.4. att. Konvertera darba frekvences izmaiņas, mainoties slodzei

Eksperimentālie rezultāti atbilst un ilustrē literatūrā aprakstīto [71]. Parciālrezonanses gadījumā maksimālā kontūru strāva iestājas automātiski.

DIVKONTŪRU REZONANSES KONVERTERA (BEZSERDES INDUKTĪVĀ SAITE)
RAKSTURLIELUMI DATU PĀRVADES REŽĪMĀ

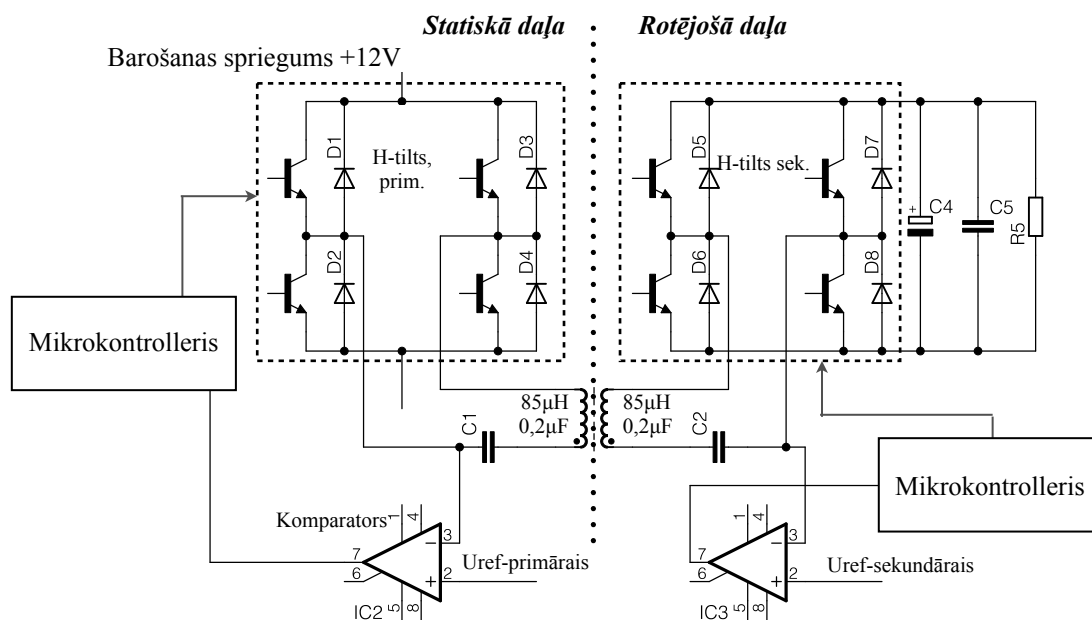
4.4. tabula

	Sekundāra puse			Primārā puse			η, %	Rezonanses frekvence, kHz	
	I, A	U, V	P, W	I, A	U, V	P, W			
Aktīva slodze	0	73,2	0,00	1,73	15,54	5,77	0,00	106,5	tukšgaita
	0,19	33,8	6,42	1,1	15,54	17,09	0,38	108,0	
	0,24	26,2	6,29	0,93	15,54	14,45	0,44	109,0	
	0,28	21,7	6,08	0,8	15,54	12,43	0,49	110,0	
	0,31	18,7	5,80	0,72	15,54	11,19	0,52	111,0	
	0,34	16,5	5,61	0,65	15,54	10,10	0,56	112,0	
	0,36	14,6	5,26	0,59	15,54	9,17	0,57	113,0	
	0,38	12,9	4,90	0,54	15,54	8,39	0,58	114,0	
	0,39	11,3	4,41	0,49	15,54	7,61	0,58	115,0	
	0,40	10,9	4,36	0,37	15,54	5,59	0,78	pārraidot ASCII simbolu "U"	
	0,42	9,3	3,91	0,43	15,54	6,68	0,58	116,0	
	0,43	8,9	3,83	0,43	15,54	6,68	0,57	116,4	
	0,44	7,7	3,39	0,39	15,54	6,06	0,56	112,2	
	0,45	8,1	3,65	0,44	15,54	6,84	0,53	96,4	
	1,35	0	0,00	0,94	15,54	14,61	0,00	80,7	īsslēgums
Pastāvīgā magnēta DC dzinējs	1,22	0	0,00	0,91	15,54	14,14	0,00	80,8	motors pilnīgi nobremzēts
	0,36	14,62	5,26	0,6	15,54	9,32	0,56	113,2	motra tukšgaita

Papildinot un nedaudz mainot 4.3.2 attēlā parādīto shēmu, ir iespējams pārraidīt un saņemt datus, papildus elektriskās jaudas pārvadei. Datu pārraidi realizē modulējot H-tilta slēdžus ar UART signālu. Atšķirībā no iepriekš aprakstītā, šajā gadījumā rezonanses kontūri darbojas uzspiesto svārstību režīmā, tuvu rezonanses frekvencei. Šajā gadījumā izmanto 31,5 KHz frekvenci. Šādu zemu frekvenci izvēlas, jo H-tiltu IC rekomendētā maksimālā darba frekvence ir 40 KHz.

Šādam mērķim paredzētas iekārtas funkcionālā blokshēma ir parādīta 4.3.5. attēls.

Sistēma ietver divus H-tiltus (IC L298), bezserdes saistītos LC kontūrus, slodzi un mikrokontrollerus (Atmel ATmega328). Sekundārā kustīgā daļa satur arī enerģijas uzglabāšanas kondensatoru C4, elektromehāniskās slodzes un nepieciešamos sensorus.



4.3.5. att. Sistēmas blokshēma

Primārais H-tilts ģenerē 31,5 kHz maiņstrāvu primārā rezonanses ķēdē.

Sekundārajā kontūrā inducēto maiņspriegumu taisngriež ar sekundārā H-tilta tranzistorus šuntējošām diodēm un pārvadīto enerģiju uzkrāj elektrolītiskā kondensatorā C4, kura kapacitāte ir 5000µF.

Primāro H-tiltu atslēdz pēc 1500 komutācijas periodiem, ja nepieciešams saņemt datus no rotējošās daļas. 1500 komutācijas periodu laikā sekundārais enerģiju uzkrājošais kondensators C4 ir uzkrājis pietiekamu enerģijas daudzumu, lai nodrošinātu datu pārsūtīšanu no rotējošās uz stacionāro daļu. Šie 1500 periodi tiek reģistrēti arī kustīgās daļas (B daļa) mikrokontrollerī. Pēc nelielas aiztures, kamēr norimst svārstības primārā kontūrā, sekundārais H-tilts uzsāk komutāciju, ko vada sekundārās daļas mikrokontrolleris ar TTL UART izejas palīdzību, t.i. pārsūta datus no sistēmas kustīgās daļas uz stacionāro daļu.

Komutācijas frekvence ir atkarīga no pārsūtāmiem datiem, kuru pārraides ātrums ir 14400 bps. Primārais rezonanses kontūrs saņem pārraidāmajam kodam atbilstošus impulsus,

konvertē uz TTL līmeni un ar primārā mikrokontrollera UART palīdzību, dati ir pieejami tālākai apstrādei vai glabāšanai.

Pārraidot datus no stacionāras uz rotējošo daļu novērojama sistēmas kopējās efektivitātes paaugstināšanās (4.5. tabula) rezonanses kontūra īpašību dēļ: strāvas svārstību amplitūda rezonanses kontūrā pieaug un norimst vairāku periodu laikā, kas ļauj daļu no rezonanses kontūra reaktīvajos elementos uzkrātās enerģijas pārvadīt uz slodzi, nepatērējot enerģiju no stacionārās daļas barošanas avota.

Atbilstošs mikrokontrollera programmas koda piemērs ir attēlots 6. pielikumā - stacionārā (primārā) daļa A, un 7. pielikumā - kustīgā (sekundārā) daļa B.

4.4. EIBMVS ELEKTROTEHNIKAS STUDIJĀS

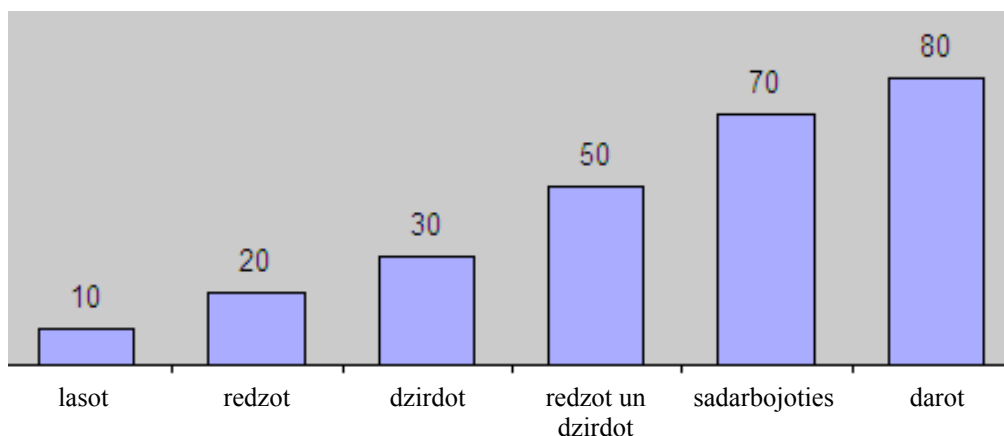
Attālinātas vadības eLaboratorijas mērķis.

Labu zināšanu radīšana balstās uz praktisko darbību kopā ar teorijas apguvi.

Elektrotehnoloģiju apgūvē nepieciešami daudzi un dažādi praktiskie vingrinājumi, kurus, tradicionāli, veic augstskolas laboratoriju telpās. Ierobežoto iespēju dēļ, studenti individuāli var praktizēt tikai dažas stundas nedēļā vai pat mazāk. Šādas ierobežotas iespējas nosaka garākus apmācību kursa termiņus un samazina zināšanu radīšanas kvalitāti [2].

Zināšanas var raksturot kā procesu “iemācīties - atcerēties - pielietot”. Protams, ir arī citi raksturojumi. Pētījumi, piemēram [27], [33], parāda praktiskās darbības nozīmīgumu cilvēka zināšanu radīšanas procesā (4.4.1. attēls):

- lasot - 10%,
- redzot - 20%,
- dzirdot - 30%,
- redzot un dzirdot - 50%,
- sadarbojoties - 70%,
- pašam darbojoties - 80%.



4.4.1. att. Zināšanu radīšana

Iespēja gūt praktiskas iemaņas pirms laboratorijas uzdevumu veikšanas reālā laboratorijā var kļūt par būtisku sastāvdaļu, nodrošinot dziļāku izpratni par konkrēto tēmu.

Šādas iespējas var sniegt e-apmācības attālinātā darbnīca - eLaboratorija.

eLaboratorijas koncepcijas mērķis: ievērojami palielināt praktisko darbu īpatsvaru studiju procesā. Mērķi realizē ar attālinātu laboratorijas darbu stendu, iekārtu un ierīču vadību reālā laikā ar interneta starpniecību.

eLaboratorija ļauj:

- veikt uzdevumus jebkurā, studentam ērtā, laikā - 24/7 - ar interneta starpniecību.
- veikt iepriekš definētus laboratorijas darbu uzdevumus - reģistrēt izejas parametrus, mainot ieejas parametrus (vai otrādi, vai jaukti). Mērinstrumentu rādījumu nolasīšana var būt digitāla (ar mikrokontrollera starpniecību) vai vizuāla no mērinstrumentiem (ar video kameras starpniecību),
- pārbaudīt / veidot vadības principus, izmantojot mikrokontrollera programmēšanu. Rezultātu pārbaude var būt digitāla (ar mikrokontrollera starpniecību) vai vizuāla (ar video kameras starpniecību), kā minēt iepriekš,
- uzglabāt laboratorijas u.c. praktisko darbu rezultātus digitālā formā,
- tuvināt (sapludināt) teorētisko lekciju daļu ar praktiskā pielietojuma daļu,
- radīt vairāk praktizēšanās iespēju studentiem,
- radīt vairāk iespēju studentu pašiniciatīvai eksperimentu jomā,
- radīt iespējas profesionāļiem tālākizglītībai (speciāli kursi, praktiskie semināri u.c.).

Dažādi tālmācības (*e-Learning*) portāli (piemēram, *Claroline* [28]) ir veidoti kā datu bāzes lietojumprogramma. Datubāzi vada izmantojot interneta pārlūkprogrammu un tā ļauj uzglabāt lekcijas un citus studiju materiālu un piekļūt tiem mācību nolūkos.

Universitātēs labi pazīstamā platforma *Moodle* [32] (izmanto RTU portāls Ortus, Latvijas Universitāte u.c. Latvijas augstskolas) tiek pozicionēta kā “mācību kursu vadības sistēma” (*A Course Management System - CMS*), kas pazīstama arī kā “mācību vadības sistēma” (*Learning Management System - LMS*) vai “virtuālas apmācības vide” (*Virtual Learning Environment - VLE*)”.

Šodien daudzi lekciju materiāli (rakstītā vai audio/video podkāstu) formā un zināšanu novērtēšanas testi ir pieejami internetā. Pat labi pazīstamas izklaides portāls *iTunes* [66] piedāvā *iTunesU* - interneta vietni, kur ir pieejami lekciju materiāli audio/video podkāstu formā no dažādām pazīstamām universitātēm, gan tikai angļu valodā.

Attālinātas vadības eLaboratorijas struktūra

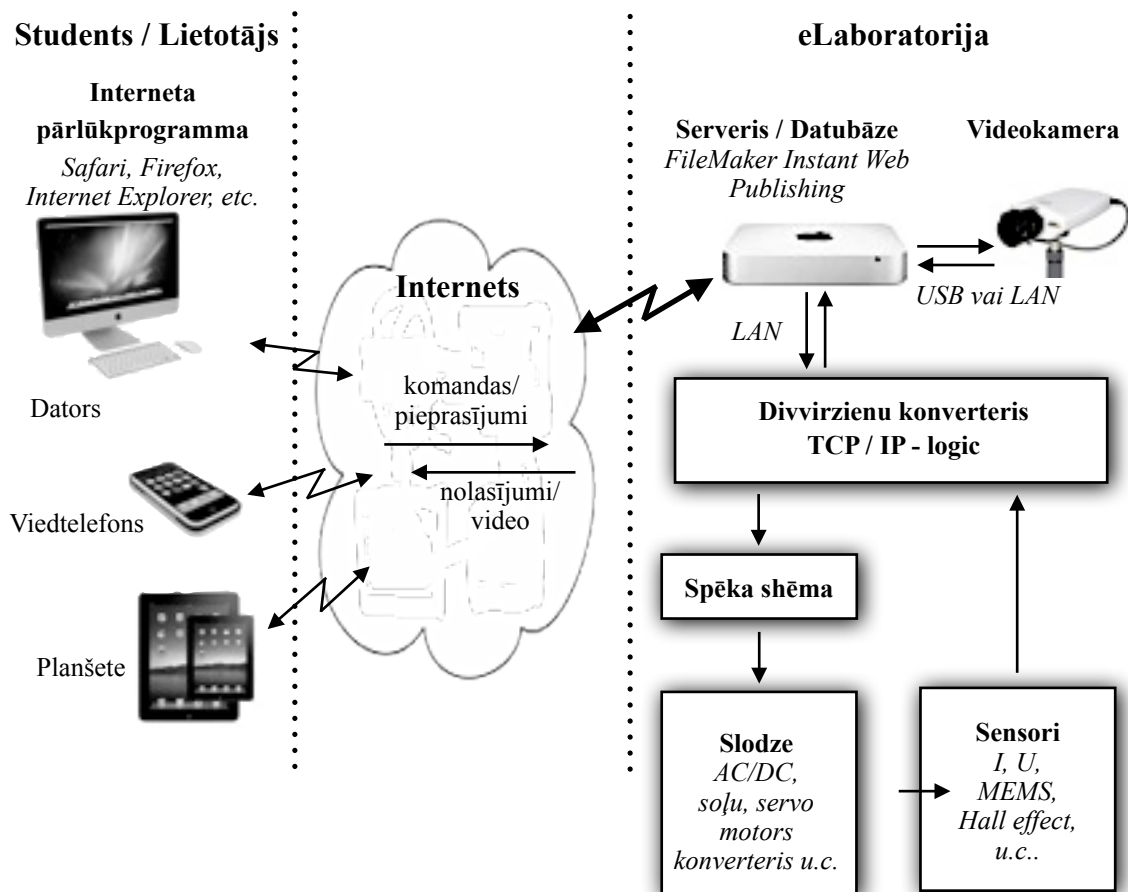
eLaboratorijas struktūrshēma ir attēlota 4.4.2. attēlā.

Students (lietotājs), izmantojot datora, viedtelefona vai planšetdatora interneta pārlūkprogrammu kura atbalsta HTML5 programmēšanas valodu [48] (Safari, Firefox, Internet Explorer, Opera, Chrome), ar interneta starpniecību komunicē ar eLaboratorijas tīmekļa serveri (*webserver*). Tīmekļa serveris (Apache 2, ietilpst Apple OS X bāzēta datorā) nodrošina FileMaker datu bāzes interneta publicēšanas dzinēju (*Web Publishing Engine*) darbību.

FileMaker datu bāzes interneta publicēšanas modulis saņem interneta pārlūka pieprasījumu, dešifrē šo pieprasījumu kā pieprasījumu Arduino modulim loģisko TTL komandu formā. Pieprasījumus Arduino moduļiem veido ar LAN vai EIBMVS starpniecību.

Loģiskās komandas vada eLaboratorijas iekārtu energoelektronikas shēmas un attiecīgi izpildiekārtas - AC/DC elektrodzinējus, soļu vai servodzinējus, AC/DC konverterus.

Savukārt, FileMaker interneta publicēšanas modulis atbild interneta pārlūka pieprasījumam publicējot pierasīto informāciju - sensoru datus u.c.



4.4.2. att. eLaboratorijas struktūrshēma

eLaboratorija ietver:

- dators / serveris ir ieslēgts visu laiku, tādēļ zems enerģijas patēriņš ir ļoti svarīgs. Apple Mac Mini dators ar OS X 10.6 operētājsistēmu, patērē mazāk par 13 W gaidīšanas režīmā [67],
- stabila un droša datora / servera uz UNIX bāzes veidota operētājsistēma - Apple OSX10.6,
- FileMaker Pro11 datu bāzes programmatūra. Papildus datubāzes funkcijām tā nodrošina tūlītējās publicēšanas internetā iespēju (*Instant Web Publishing*),
- Arduino mikrokontrollera platformu [16]. Bāzēta uz Atmel ATmega 328 mikrokontrolleri (Arduino Duemilanove, Arduino Uno), ATmega32u4 (Arduino Leonardo), ATmega2560 (Arduino Mega2560). Arduino ir populāra mikrokontrollera platforma, kura ietver papildu moduļus - Arduino Ethernet, ZigBee, SMS/GPRS, WiFi, Bluetooth u.c. - ar vienkāršu un lietotājam draudzīgu interfeisu. Atvērtā koda integrētā izstrādes vide (*Integrated*

Development Environment - IDE) (4.4.1. attēls, redzamais programmatūras piemērs nav aktuāls) ļauj veikt nepieciešamo programmēšanu C valodai līdzīgā valodā, kura ir Wiring [17] bāzēta,

- Interneta pārlūkprogrammas, kuras izmanto darbam ar eLaboratoriju, piemēram, Safari, Firefox, Opera vai Internet Explorer ir pazīstamas ikvienam datorlietotājam. Ērtāka, pārskatāmāka un efektīvāka darbība ir izmantojot FileMaker programmatūru. FileMaker programmatūra ir pieejama (uzstādāma) Apple OS X un Windows OS (FileMaker Linux-tipa OS šobrīd nav paredzēta) izmantojoša lietotāja datorā. FileMaker ir maksas programma (*shareware*), un tās cena, iespējams, var būt pārāk augsta, lai to iegādātos ikviens students. iPhone un iPad lietotāji var izmantot piecas reizes lētāko FileMaker Go.



```
AnalogReadSerial | Arduino 1.0.1
AnalogReadSerial
/*
  AnalogReadSerial
  Reads an analog input on pin 0, prints the result to the serial monitor.
  Attach the center pin of a potentiometer to pin A0, and the outside pins to +5V and ground.

  This example code is in the public domain.
  */

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(9600);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  // read the input on analog pin 0:
  int sensorValue = analogRead(A0);
  // print out the value you read:
  Serial.println(sensorValue);
  delay(1);        // delay in between reads for stability
}
```

1 Arduino Uno on /dev/tty.usbmodem1a21

4.4.3. att. Arduino 1.0 IDE attēls

Programmu kodu piemēri ir doti darba pielikumos:

- piemērs divu servodzinēju un sensora iekārtai - 8. Pielikums.
- piemērs sistēmai “dzinējs - ģenerators” un soļu dzinēja testēšanai - 9. Pielikums (A. daļa) un 10.pielikums (B. daļa).

Attālinātas vadības iekārtas laboratorijas darbu veikšanai

Visu eLaboratorijas iekārtu darbību un mērinstrumentu rādījumus iespējams vērot attālināti ar horizontāli - vertikāli pozicionējamās (*pan - tilt control*) videokameras videoattēla palīdzību. Videokameras pozicionāšanu veic no studenta datora ar interneta vai FileMaker programmu palīdzību.

eLaboratorija (patreizējā pilotprojekta stadijā) ir paredzēta vienam lietotājam noteiktā laikā. Tādēļ ir nepieciešama darbu - studentu iepriekšēja plānošana.

Studenti var reģistrēties darbam brīvi izvēlētos, neaizņemtos laikos, ar atsevišķas FileMaker lietojumprogrammas palīdzību. Lietojumprogramma ir veidota kā laika tabula un tās ekrāna attēls ir redzams 4.4.4. attēlā

Date		Location (Zone 1)				References
23.Sep.2009.		1	2	3	4	
8:00	P.Apse-Show sample					8:00
30	P.Apse					30
9:00						9:00
30				P.Bush-MEMS sesors		30
10:00	W.Black-DC drive	A.Cassady-Rep.data		P.Bush	T.Brown-Report	10:00
30	W.Black	A.Cassady			T.Brown	30
11:00						11:00
30		C.Newtown-Rectifier circuit				30
12:00		C.Newtown				12:00
30	R.Bole-H-bridge choper				R.Lodziniš-	30
13:00	R.Bole			J.Vilks-	R.Lodziniš	13:00
30				J.Vilks		30
14:00				S.Duksis-		14:00

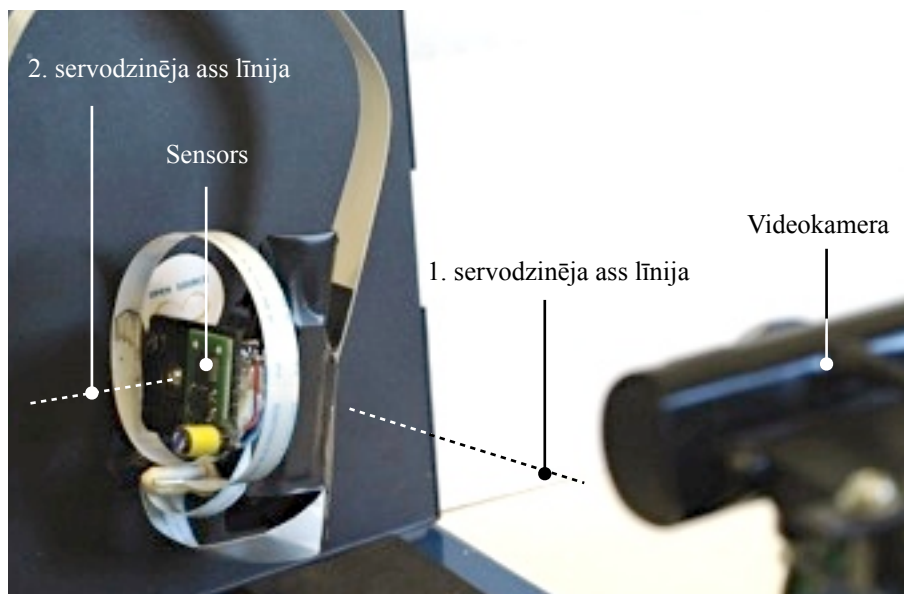
4.4.4. att. Reģistrācijas logs darbam eLaboratorijā

Divu servodzinēju sistēma ar MEMS slīpuma sensoriem.

Divu servodzinēju sistēma ar uzstādīto MEMS (*Micro ElectroMechanical System*)slīpuma / paātrinājuma sensoru ir parādīta 4.4.5. un 4.4.6. attēlos.

Divu RC (*Remote Control*) servodzinēju sistēmu vada no Arduino + Arduino Ethernet moduļiem. Servodzinēju maksimālais pagrieziena leņķis ir $+ / - 90$ grādi pret vidējo stāvokli, kas atbilst 1,5 ms garam servodzinēja vadības ar periodu < 20 ms. Servodzinēju ass main pagrieziena leņķi mainot vadības impulsa garumu no 1 ms līdz 2 ms.

Servodzinēju assis ir izvietotas taisnā leņķī. 1. servodzinējs ir fiksēts pie iekārtas korpusa un 2. servodzinējs ir uzstādīts uz 1. servodzinēju ass. MEMS slīpuma sensora plate ir uzstādīta uz 2. servodzinēja ass. Konstrukcija ļauj mainīt sensora pozīciju attiecībā pret X, Y un Z koordinātu asīm.

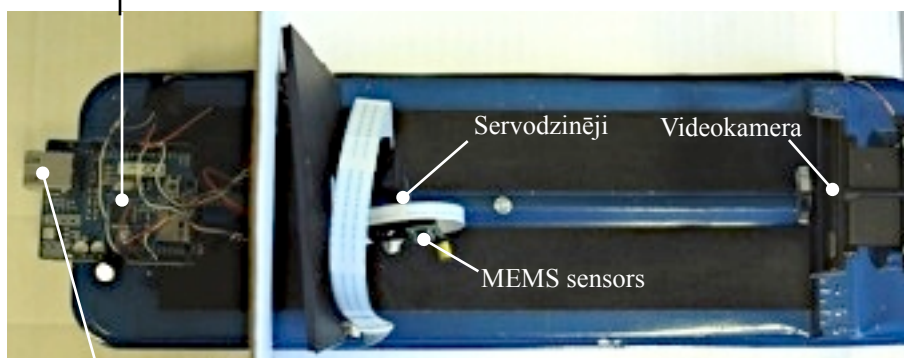


4.4.5. att. Divu servodzinēju sistēma ar MEMS slīpuma sensoru

MEMS slīpuma sensors ir izvēlēts DE-ACCM3D Buffered $\pm 3g$ Tri-axis Accelerometer [36], bāzēts uz Analog Devices IC ADXL330.

X, Y, Z slīpuma devēju izejas sprieguma izmaiņas, mainot tā slīpumu attiecībā pret zemes gravitācijas spēka vektoru (vertikāli), mainās no 1,33 V pie 0 grādiem līdz 1,99 V pie 180 grādiem.

Arduino & Ethernet moduļi



Ethernet spraudnis

4.4.6. att. Divu servodzinēju sistēmas augšskats

Slīpumu reģistrē attiecībā pret X, Y, Z asīm. Students manuāli vai FileMaker lietojumprogramma automātiski var aprēķināt sensora leņķus attiecībā pret asīm.

FileMaker lietojumprogrammas lietotāja interfeisa logs ir attēlots 4.4.7. attēlā

The screenshot shows a web browser window with the following content:

- Navigation:** Safari browser, address bar with 'http://', and a menu bar with 'File', 'Edit', 'View', 'History', 'Bookmarks', 'Window', 'Help'.
- Records:** A toolbar with buttons for 'New Record', 'Edit Record', 'Delete Record', 'Records', 'Find', 'Sort', 'Home', and 'Log Out'.
- Controls:** 'LED-' and 'LED+' buttons, 'SERVO A' and 'SERVO B' buttons, and 'UP'/'DOWN' buttons for each servo.
- Data Display:** A box showing 'LED= 16', 'ServoA= 1600', 'ServoB= 600', 'X= 635', 'Y= 558', and 'Z= 744'.
- Camera:** A live video feed of the robot's internal components.
- Buttons:** 'Get Reading', 'Calculate', and 'Graph' buttons.
- Data Table:** A table with columns for Servo A, Servo B, X, Y, Z, R, cosX, cosY, cosZ, αX, βY, θZ, and graph. The table contains several rows of numerical data.

	Servo A	Servo B	X	Y	Z	R	cosX	cosY	cosZ	αX	βY	θZ	graph
	800	1600	792	592	641	314,51	0,882	0,246	0,402	28,12	75,75	66,30	<input type="checkbox"/> ok
28.12.11/ 16:03:11	900	1800	781	588	614	293,66	0,907	0,250	0,338	24,88	75,53	70,22	<input type="checkbox"/> ok
28.12.11/ 16:05:11	1000	1800	717	538	567	210,38	0,962	0,111	0,249	15,83	83,61	75,58	<input type="checkbox"/> ok
28.12.11/ 16:05:48	1000	1800	763	571	603	269,63	0,921	0,209	0,328	22,89	77,93	70,86	<input type="checkbox"/> ok
28.12.11/ 16:06:14	900	1800	585	440	460	116,20	0,606	-0,642	-0,470	52,71	129,94	118,03	<input type="checkbox"/> ok
28.12.11/ 16:10:44	900	1700	584	434	469	115,72	0,600	-0,696	-0,394	53,15	134,15	113,21	<input type="checkbox"/> ok
28.12.11/ 16:11:02	900	1600	584	431	479	114,34	0,607	-0,731	-0,311	52,63	136,99	108,14	<input type="checkbox"/> ok
28.12.11/ 16:16:00	900	1500	583	428	490	113,06	0,605	-0,766	-0,218	52,77	139,99	102,57	<input type="checkbox"/> ok

4.4.7. att. Lietotāja interfeiss (interneta pārlūka ekrāns)

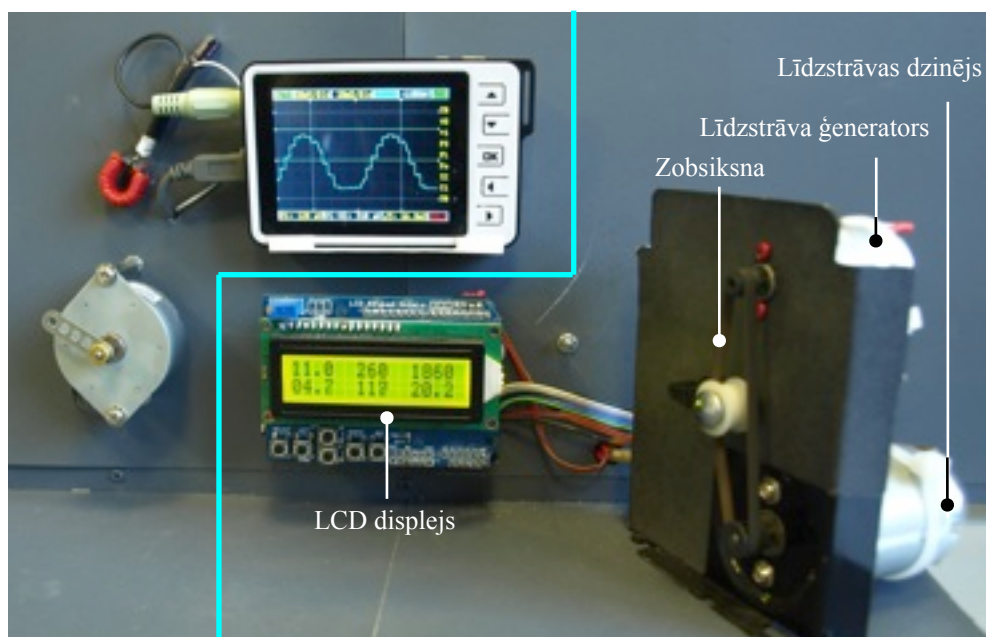
Šī lietojumprogramma nav sarežģīta no tehniskā vai programmatūras viedokļa. Praktiski līdzīgu sistēmu izmanto eLaboratorijas videokameras pozicionēšanai. Turpmākajā eLaboratorijas attīstībā standu paredzēts aizstāt ar videokameras kadra centra pozicionēšanu pret noteiktu punktu koordinātu režģī. Šāds risinājums būtu vairāk piemērots robotu video vadības sistēmu apmācībai.

Programmas koda piemērs ir attēlots 8. pielikumā.

Sistēma “līdzstrāvas dzinējs - ģenerators”

Sistēma “līdzstrāvas dzinējs - ģenerators” ir attēlota 4.4.8. attēlā.

Tā ietver divus Arduino moduļus, Arduino Ethernet moduli, LCD displeju, mērīšanas pastiprinātājus un IPM regulatorus.



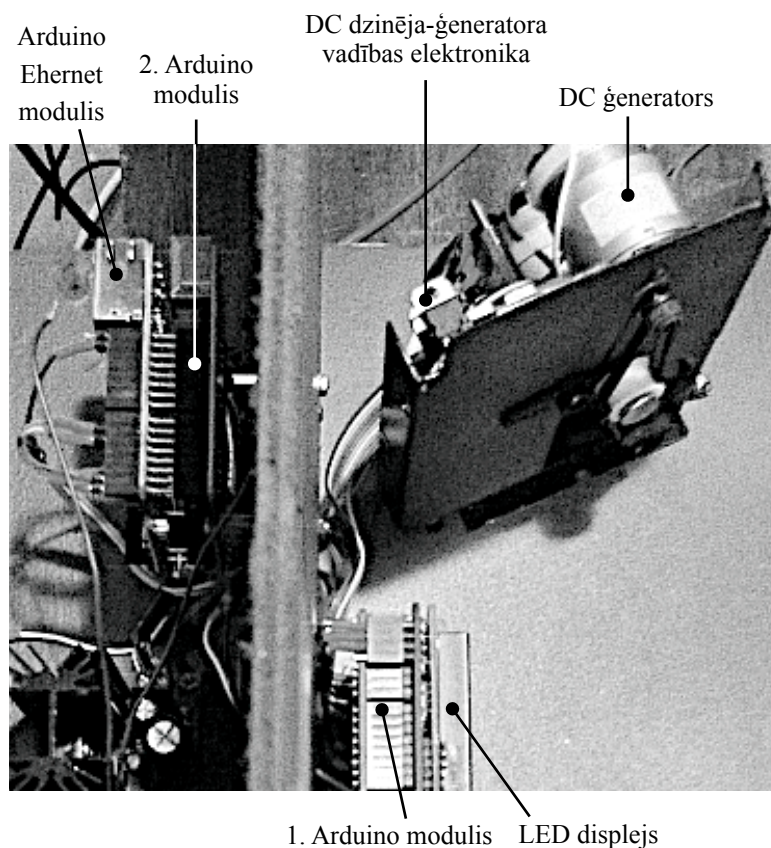
4.4.8. att. Sistēma “līdzstrāvas dzinējs - ģenerators”

Sistēma ļauj veikt eksperimentus, lai iegūtu DC motora griešanās ātruma, strāvas un sprieguma līknes pie dažādām ģenerators slodzēm.

Sistēma ir veidota ar pastāvīgā magnēta līdzstrāvas dzinēju un tā IPM kontroli un pastāvīgā magnēta līdzstrāvas ģeneratoru un ar IPM noteiktu slodzes vērtību vadību. Dzinējs un ģenerators ir savienoti ar zobsiksnu.

Dzinēja spriegumu, strāvu un griešanās ātrumu, kā arī ģenerators slodzes strāvu regulē attālināti, izmantojot studentu datora interneta pārlūkprogrammu vai FileMaker programmu. Nolasījumus attēlo LCD displejs, kā arī studentu datora interneta pārlūkprogrammā vai FileMaker programmā. Dzinēja IPM regulatoru baro no stabilizēta sprieguma avotu, lai samazinātu barošanas sprieguma svārstību ietekmi uz nolasījumiem.

Dzinēja sprieguma un strāvas vērtības nolasa ar Arduino moduļa Atmega328 mikrokontrolera ACP pārveidotājiem.



4.4.9. att. Arduino moduļu, Arduino Ethernet moduļa un LCD displeja novietojums

Dzinēja un ģenerators slodzes strāvu vērtību iegūšanai izmanto šuntus. Šunta signālu pastiprina ar operacionālo pastiprinātāju (plaši zināmo LM358), lai palielinātu ACP nolasīšanas izšķirtspēju.

Lai nepārsniegtu ACP ieejas sprieguma maksimāli vērtību +5 V, izmanto sprieguma dalītājus. Zemo frekvenču RC filtrus izmanto visām visām ACP ieejām, lai minimizētu IPM ietekmi un ļautu nolasīt vidējās vērtības.

LCD displejs ir savienots ar Arduino plati, izmantojot TTL UART interfeisu.

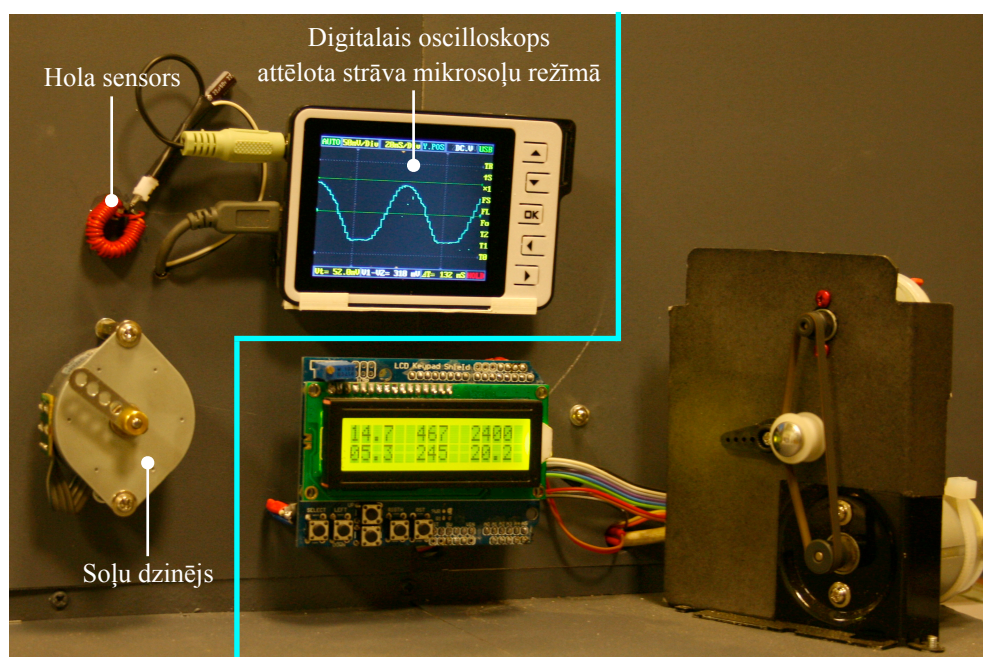
Otrs Arduino modulis, kopā ar Arduino Ethernet moduli, nodrošina savienojumu ar internetu (4.4.9. attēls), izmantojot standarta TCP / IP protokolu.

Abi Arduino moduļi komunikācijai izmanto standarta seriālo TTL UART ar ātrumu 19200 bps. Sprieguma un strāvas ACP rādījumus nosūta uz Arduino Ethernet moduli un tālāk iespējama komunikācija internetā.

Programmas koda piemērs ir dots 8. un 9. pielikumā.

Soļu dzinēja parametru noteikšana

Atmega 328 mikrokontroleris (2. Arduino modulis) kontrolē Allegro A3967 integrālo mikro-soļu interpretatoru 2-fāzu bipolāram soļu dzinējam.



4.4.10. att. Soļu dzinēja vadības un parametru izpēte.

Allegro A3967 interpretators nodrošina soļu dzinēja ass rotāciju vai pozīcijas maiņu ar pilnu soli, 1/2 soli, 1/4 soli un 1/8 soli, pulksteņrādītāja kustības virzienā vai pretēji, attiecīgi regulējot un stabilizējot strāvu katrā dzinēja tinumā (fāzē).

Labākai pilna soļa un mikrosoļu soļu dzinēja vadības izpratnei soļu dzinēja strāvas formu iespējams vērot ar vienkārša digitālā osciloskopa palīdzību (4.4.10. attēls). Digitālā osciloskopa attēlu var vērot attālināt ar eLaboratorijas video pārraides palīdzību.

Strāvas formas attēlošanai nepieciešamās strāvas vērtības šajā gadījumā iegūst ar radiometrisko sensoru Allegro A1302 un strāvas spoli, līdzīgi, kā minēts iepriekš un [4].

Katru stenda pusi (DC sistēmas un soļu dzinēja) vada ar savu mikrokontrolleri. Kopējo vadību nodrošina FileMaker programma ar vadu vai WiFi interneta starpniecību.

Atbilstošais programmas koda piemērs ir attēlots 9. pielikumā.

Video pārraide.

Reālā laika video pārraide ir svarīga reālam darbam eLaboratorijā, proti, redzēt izmaiņas īsi (tūlīt) pēc komandas.

Jebkuru video pārraidi raksturo ievērojams pārraidāmo datu apjoms. Datu apjoms ir atkarīgs no:

- video kadra izmēra,
- krāsu dziļuma,
- kadru ātruma,
- izmantotā video kodeka u.c.

Savukārt, interneta komunikāciju ātrums ir atkarīgs no daudziem faktoriem - joslas platuma, maršrutētāju skaita, datu blīvuma attiecīgajā maršrutā (*traffic*) u.c., veidojot mainīgu aizturi.

Lielais datu apjoms un komunikācijas ātruma ierobežojumi ir iemesls videoinformācijas saņemšanai ar aizturi. Aizture vairāk nekā 2,5-3 sek nav pieņemama vairumā gadījumu. Uzstādot papildu gaismas indikatorus uz eLaboratorijas iekārtām, minēto aiztures negatīvo efektu lietotāja uztverē iespējams mazināt.

Lai samazinātu aizturi starp komandu došanu un attēla reakciju (mazāks datu apjoms), izvēlas minimālus video rakstulielumus: kadra izmērs - 320x240 pikseļi, kadru ātrums - 15 kadri sekundē.

Lokāls darbavietu LED apgaismojums ar maināmu apgaismojuma līmeni, uzlabotu videoattēla iegūšanai dažādos telpas apgaismojuma gadījumos.

eLaboratorijas video sistēma izmanto QuickTime video, kas ietver plaši lietoto H.264 video kodeku. Neskatoties uz to, ka H264 video kodeks [81] ir ietverts ISO MPEG-4

standartā, Windows OS lietotājiem ir nepieciešams uzstādīt Apple QuickTime programmu, lai redzētu video attēlu.

EIBMVS eLaboratorijas attīstībā

Šobrīd ir realizēta eLaboratorijas izmēģinājuma versija.

Pēc dažādu eLaboratorijas testu rezultātiem (risinot reālus uzdevumus) redzamas nepieciešamās tās pilnveidošanas izmaiņas:

- uzstādīt papildus iekārtas laboratorijas darbiem, piemēram, lielākas jaudas elektrodzinēji un to vadības frekvenču pārveidotāji, kā arī iekārtas, kuras ļautu dublēt reālās laboratorijas iekārtas,
- jāpilnveido komunikācija starp iekārtām un centrālo vadības moduli, pārejot no vadu komunikācijas uz EIBMVS, lai vienkāršotu kopējo eLaboratorijas uzraudzību.

Nepieciešams realizēt EIBMVS, kura ļautu studentam pašam programmēt EIBMVS un pārbaudīt programmēšanas rezultātus. Šim nolūkam piemērota ir EIBMVS ar relāciju datubāzi (FileMaker vadība), daļēji piemērota ir Libelium Waspnote ZigBee sistēma vai Digi ZigBee moduļi, kuri pieļauj pārprogrammēšanu darba gaitā.

4.5. Secinājumi

Parametra vērtības devēji ar histerēzes cilpu veido duālu vērtību izejā un ir nepiemēroti integrēšanai EIBMVS.

Izstrādātā un izpētītā SMPS barošanas avota modifikācija vadībai ar IPM nodrošina LED gaismekļa vadības soli 1/255 (0,39 %).

Izstrādātais termokompensētais šunts samazina elektroenerģijas patēriņa monitoringa EIBMVS izmaksas par 50-60%, salīdzinot ar piedāvātajiem risinājumiem. Risinājums ir inovatīvs, ko apliecina starptautisks PCT patentēšanas iespēju atzinums.

Reālā laika un vispārējās EIBMVS vienkāršo elektrotehnikas studiju attālināto praktisko darbu veikšanai nepieciešamo iekārtu savstarpējo komunikāciju, kā arī to pieslēgumu globālajam publiskajam datu apmaiņas tīklam - internetam.

DARBA KOPĒJIE SECINĀJUMI

- * Izstrādāto elektrotehnoloģisko iekārtu bezvadu monitoringa un vadības sistēmu (EIBMVS) izpēte apstiprina iespēju pilnībā izslēgt elektrotehnoloģiskās iekārtas (EI) vadības un energoelektronikas daļu komunikācijas vadus gadījumos, kuros EIBMVS ienestās laika aiztures netraucē vai ir salāgojamas ar EI darbību.
- * Tiešās EIBMVS iespējams realizēt ar pilna duplexa analogi vai digitāli modulēta radiosignāla palīdzību.
- * Vienlaicīgu vairāku parametru monitoringu vai vairāku komandu EIBMVS iespējams realizēt ar nepilna vai pilna duplexa analogi vai digitāli modulēta radiosignāla palīdzību.
- * Tiešo un vienlaicīgu vairāku parametru monitoringu / vairāku komandu EIBMVS galvenie trūkumi ir zemā radiotraucējumu noturība, augstas izšķirtspējas zemo frekvenču joslu filtru nepieciešamība un neliels monitorējamo parametru dinamiskais diapazons <48 dB (<255:1).
- * Tiešās un vienlaicīgu vairāku parametru monitoringa / vairāku komandu EIBMVS nav iespējams realizēt izmantojot virknes datu komunikāciju un protokolus ienesto aiztures laiku dēļ.
- * Reāla laika EIBMVS iespējams realizēt ar nepilna duplexa virknes datu radioviļņu komunikācijas moduļiem. Komunikācijas distance nepārsniedz 100 m.
- * Reālā laika EIBMVS praktiski nav iespējams realizēt ar ZigBee/XBee protokola moduļiem, jo laika aizture pārsniedz 180 ms.
- * Vispārējās EIBMVS iespējams realizēt ar jebkura veida komunikācijas moduļiem un protokoliem, jo ienestā laika aizture ir maznozīmīga, salīdzinot ar kopējo procesa laiku.
- * Parametra vērtības devēji ar histerēzes cilpu veido duālu vērtību izejā un ir nepiemēroti integrēšanai EIBMVS.
- * Relāciju datu bāzes programma "FileMaker" ir piemērota reālā laika EIBMVS vadībai gan lokāli, gan attālināti un tās izmantošana samazina EIBMVS vadības izstrādāšanai nepieciešamo laiku par 30 - 50 %, atkarībā no konkrētā risinājuma.

- * Izstrādātais termokompensētais šunts samazina elektroenerģijas patēriņa monitoringa EIBMVS par 50-60%, salīdzinot ar piedāvātajiem risinājumiem. Risinājums ir inovatīvs, ko apliecina starptautisks PCT patentēšanas iespēju atzinums.
- * Izstrādātais čūskeveida kustības robota mezgls, kura elektropiedziņas vadībai izmanto EIBMVS, ļauj mainīt moduļu ķēdes profilu, kura uzturēšanai nav nepieciešams papildus enerģijas patēriņš, piemēram elektromagnētiskās bremzes. Risinājums ir inovatīvs, ko apliecina starptautisks PCT patents.
- * Reālā laika un vispārējās EIBMVS vienkāršo elektrotehnikas studiju attālināto praktisko darbu veikšanai nepieciešamo iekārtu savstarpējo komunikāciju, kā arī to pieslēgumu globālajam publiskajam datu apmaiņas tīklam - internetam.

IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

1. Apse-Apsītis P., Ribickis L., Robotic snake-like movement device, WO 2012/059791 A1, International Publication Date 10.05.2012, Foral Patent Office, LV, PCT Patents
2. Apse-Apsītis P., Avotins A., Krievs O., Ribickis L., Practically oriented e-learning workshop for knowledge improvement in engineering education computer control of electrical technology, Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2012 IEEE, 17-20 April 2012, Marrakech, Morocco, Conference Publications, ISSN : 2165-9559, p.592-596
3. Apse-Apsitis P., Avotins A., Ribickis L., Low Cost Energy Monitoring Method with Wireless ICT, Annual 17th International Scientific Conference "Research for Rural Development 2011" Proceedings, (Volume 1), LLU, Jelgava, Latvia, 2011, ISSN1691-4031, p.202-208.
4. Apse-Apsitis P., Avotins A., Ribickis L., Concept of Low-Cost Energy Monitoring System for household Application, Proceedings ELMAR-2011, Zadar, Croatia, ISBN: 978-953-7044-12-1., p.149-152
5. Apse-Apsitis P., Avotins A., Ribickis L., Riga Technical university, SYSTEM AND METHOD FOR MONITORING REAL POWER CONSUMPTION, PCT/IB2011/055838, 21 December 2011, Foral Patent Office, LV, Patenta pieteikums.
6. Apse-Apsitis P., Avotins A., Ribickis L., Wirelessly controlled LED lighting system, 2nd IEEE ENERGYCON Conference & Exhibition, 2012 - ICT for Energy, September 9-12 2012, Florence, Italy. Proceedings, p.1015-1019
7. Apse-Apsitis P., Avotins A., Ribickis L., Zakis.J., Development of Energy Monitoring System for Smart Grid Application, 3rd IFIP WG 5.5/SOSOLNET Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems, DoCEIS 2012, Costa de Caparica, Portugal, 2012 Proceedings, Springer Heidelberg Dordrecht London New York, ISSN 1868-4238, ISBN 978-3-642-28254-6, p. 347.-354.
8. Apse-Apsitis P., Avotins A., Ribickis L., Self-tuning CORE-less serial Resonant DC/DC Converter for Powering Loads on Rotating Shafts, 16th International Conference ELECTRONICS'2012, Palanga, Lithuania , 2012, presentation, publication in The journal "Electronics and Electrical Engineering" on February 2013, ISSN: 2029-5731
9. Apse-Apsitis P., CANbus elements in robotic snake-like movement device control, 10th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering, Pärnu, Estonia, January 10-15, 2011, p.42-45.
10. Apse-Apsitis P., FileMaker – Schedules, Gantt chart, graphs etc., internetā: <http://www.hierarchy.lv/?p=9>

11. Апсе-Апситис П.Э., Север Г.Я., Устройство задержки, Авторское свидетельство СССР 706931, заявлено 07.07.79, опубликовано 30.12.79,
12. Add Control, Memory, Security, and Mixed-Signal Functions with a Single Contact, Application Note 3989, 2007,
internetā: <http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/3989>
13. Akam S., Con Ed Tests a ‘Smart Grid’ in Queens, The New York Times, 5.Aug. 2009, internetā: <http://cityroom.blogs.nytimes.com/2009/08/05/con-ed-tests-a-smart-grid-in-queens/>
14. Amplitude Shift Keying & Frequency Shift Keying,
internetā: <http://www.ele.uri.edu/Courses/ele436/labs/ASKnFSK.pdf>
15. Arduino OneWire, internetā: <http://www.arduino.cc/playground/Learning/OneWire>
16. ARDUINO project, internetā: <http://arduino.cc/>
17. Barragán H., Hagman B., Brevig A..Wiring, internetā: <http://wiring.org.co/>
18. Bellman W.F., LIGHTING THE STAGE: Art and Practice, Third Edition, Chapter 4 –The Control Console, Broadway Press, Inc., Louisville Kentucky, 2001, ISBN 0-911747-40-0, pp. 55-71
internetā: <http://www.broadwaypress.com/PDFs/LTSpdfs/LTScontents.pdf>
19. Bluetooth Special Interest Group, internetā: <http://www.bluetooth.com/Pages/Bluetooth-Home.aspx> un <https://www.bluetooth.org/apps/content/>
20. Bo-Tao Lon, Yim Shu Lee, Novel actively-clamped zero current switching Quasi resonant converters, Proceedings of IEEE International Symposium on circuits and systems, Vol.2, Honkong, 1997, pp.869-872.
21. Bourdeau L., Energy Efficient Buildings European Initiative, ECTP & E2BA Secretary General. 29.04.2009, pieejams: http://www.ectp.org/cws/params/ectp/download_files/36D928v2_E2BA_Brochure.pdf, 22. March 2011.
22. Buratti C., Martalò M., Ferrari G., Verdone R., Sensor Networks with IEEE 802.15.4 Systems, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, ISBN 978-3-642-17489-6,
internetā: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
23. C Tutorial, Coding Unit Programming Tutorials, internetā: <http://www.codingunit.com/c-tutorial-for-loop-while-loop-break-and-continue>
24. Carruthers J., Wireless Infrared Communications, Wiley Encyclopedia of Telecommunications, 2002, internets: <http://iss.bu.edu/jbc/Publications/jbc-bc1.pdf>
25. Certified FileMaker Developer, 24U software, internetā: <http://www.24usoftware.com/>
26. Chen, Chiouguey J., Modified Goertzel Algorithm in DTMF Detection Using the TMS320C80 DSP, Application Report, SPRA066, 1996, Texas Instruments,
internetā: <http://www.ti.com/lit/an/spra066/spra066.pdf>

27. Chi M.T.H., Bassok M., Lewis M.W., Reinmann P., Glasser R., Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems, *Cognitive Science*, 13, 1989, p. 145-182
28. Collaborative e-learning and working online platform Claroline, internetā: <http://www.claroline.net/?lang=en>
29. Collins English Dictionary Desktop Edition, HarperCollins Publishers 1991, 1994, 1998, 2000, 2003, ISBN 0-00-716334-7
30. Constantinescu R., DTMF Remote control – A software DTMF decoder for PIC 16F87X, 2003, internetā :<http://dtmf.voipintouch.net/content/dtmf.htm>
31. Controller Area Network (CAN), BOSCH, internetā: <http://www.semiconductors.bosch.de/en/ipmodules/can/can.asp>
32. Course Management System MOODLE, internetā: <http://moodle.org/>
33. Dale E., *Audio-Visual Methods in Teaching*, 3rd ed., Holt, Rinehart & Winston, New York, 1969, pp.107-108 (“Dale's Cone of Experience”)
34. Dames A.N., Colby E.C., Current sensor, US Patent Nr:6414475 B1, 2 Jul 2002.
35. Daniel H.V., Puglia A., Puglia M., *RFID: A Guide to Radio Frequency Identification*, J.Wiley & Sons, 2007, ISBN-978-0-470-10764-5, p.214
36. DE-ACCM3D Buffered $\pm 3g$ Tri-axis Accelerometer, Dimension engineering, internetā: <http://www.robotshop.com/PDF/DE-ACCM3D.pdf>
37. Digi International Inc., internetā: <http://www.digi.com/>
38. Felicia Contactless Card technology, SONY, internetā: <http://www.sony.net/Products/felica/>
39. FileMaker Inc., internetā: <http://www.filemaker.com>
40. Fingertip Reaction Time, *The Physics Factbook*, Edited by Glenn Elert, internetā: <http://hypertextbook.com/facts/2006/reactiontime.shtml>
41. Finkenzeller K., *RFID Handbook*, 3rd Edition, John Willey and Sons, Ltd., 2010, ISBN 978-0-470-69506-7, p.478
internetā: http://www.rfid-handbook.de/rfid/types_of_rfid.html
42. Furlani E.P., *Permanent Magnet and Electromechanical Devices*, London: Academic Press, 2001, ISBN 0-12-269951-3, p.518
43. GENI PROJECT, SMART WIRE GRID - DISTRIBUTED POWER FLOW CONTROL, Advanced Research Projects Agency, US Department of Energy, 2012, internetā: http://arpa-e.energy.gov/Portals/0/Documents/FundedProjects/GENI%20Slicks/Smart_Wire%20Grid_Final.pdf
44. Global Positioning System, DMOZ Open Directory Project, internetā: http://www.dmoz.org/Science/Earth_Sciences/Geomatics/Global_Positioning_System/
45. Goertzel, G., "An Algorithm for the Evaluation of Finite Trigonometric Series", *American Mathematical Monthly* 65 (1): 34–35, January 1958, DOI: 10.2307/2310304

46. Haynes H.D., Akerman M.A., Baylor V.M., Ultrasonic Communication Project, Phase 1, FY 1999, internetā: <http://www1.y12.doe.gov/search/library/documents/pdf/ynsp-252.pdf>
47. HOPE Electronics Co, Ltd., internetā: <http://www.hoperf.com>
48. HTML5 Tutorial,w3schools, internetā: <http://www.w3schools.com/html5/default.asp>
49. Hughes D., Research in Wireless Telegraphy, The Electrician, Volume 43, 1899, pp.35, 40-41, internetā: <http://www.physics.princeton.edu/~trothman/electrician.pdf>
50. Hughes D.E., U.S. Patent 22,531 Duplex Telegraph issued January 4, 1859
51. Hunn N., Essentials of Short-range Wireless, Cambridge University press, 2010, ISBN 978 -0-521-76069-0, p.344
52. IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional Area Networks, internetā: <http://www.ieee802.org/22/>
53. IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN™, internetā: http://ieee802.org/16/docs/02/C80216-02_05.pdf
54. IEEE Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems, 802.15.1-2002, internetā: <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.1-2002.html>
55. International Society of Automation, internetā: <http://www.isa.org/>
56. Internet Archive “WayBack Machine”, David Edward Hughes, internetā: <http://web.archive.org/web/20080422072443/http://people.clarkson.edu/~ekatz/scientists/hughes.html>
57. internetā: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39631E.pdf>, 226.lpp.
58. IR Receiver Modules for Remote Control Systems TSOP382xx, TSOP384xx, TSOP392xx, TSOP394xx, internetā: <http://www.vishay.com/docs/81733/tsop382.pdf>
59. ISA standard ANSI/ISA 100.11a-2011, internetā: http://www.techstreet.com/standards/isa/100_11a_2011?product_id=1820532
60. ISO/IEC 14443-1:2008 Identification cards -- Contactless integrated circuit cards -- Proximity cards, internetā: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=39693
61. Kammer D., McNutt G., Senese B., Bluetooth Application Developer's Guide: The Short Range Interconnect Solution, Syngress Publishing, Inc.,Rockland, USA ISBN: 1-928994-42-3, p.526
62. Kit 433 MHz Link Kit, Seed Open Hardware Facilitator, internetā: http://www.seeedstudio.com/depot/433mhz-rf-link-kit-p-127.html?cPath=139_140

63. Klein-Berndt L., A Quick Guide to AODV Routing, Wireless Communications Technologies Group, National Institute of Standards and Technology, internetā: http://w3.antd.nist.gov/wctg/aodv_kernel/aodv_guide.pdf
64. Korporācija Apple Inc., Apple Reports Second Quarter Results, Apple Press info, internetā: <http://www.apple.com/pr/library/2012/04/24Apple-Reports-Second-Quarter-Results.html>
65. Korporācija Apple Inc., AppleScript, internetā: <https://developer.apple.com/library/mac/#documentation/AppleScript/Conceptual/AppleScriptX/AppleScriptX.html>
66. Korporācija Apple Inc., iTunes, internetā: <http://www.apple.com/itunes/>
67. Korporācija Apple Inc., Mac mini, internetā: http://images.apple.com/environment/reports/docs/MacMini_PER_20110720.pdf
68. Licence-free White Space communications, Weightless SIG, internetā: <http://www.weightless.org/>
69. Liu K. H., Lee F. C., Quasi resonant converters topology and characteristics, IEEE Transactions on PE (1987), pp. 62-74.
70. LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A Dual Operational Amplifier, Fairchild Semiconductor, internetā: <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM358A.pdf>
71. Losevs. A, Lineārās radioķēdes, "Zvaigzne", Rīga, 1975, 229. lpp.
72. LZA Terminoloģijas komisijas Akadēmiskā terminu datubāze AkadTerm, internetā <http://termini.lza.lv/term.php?term=Communications%20protocol&list=&lang=EN>
73. LZA Terminoloģijas komisijas Akadēmiskā terminu datubāze AkadTerm, internetā: <http://termini.lza.lv/term.php?term=nesējs&list=nesējs&lang=LV>
74. LZA Terminoloģijas komisijas Akadēmiskā terminu datubāze AkadTerm, internetā <http://termini.lza.lv/term.php?term=real%20time&list=&lang=EN>
75. LZA Terminoloģijas komisijas Akadēmiskā terminu datubāze AkadTerm, internetā: <http://termini.lza.lv/term.php?term=Dual%20Tone%20MultiFrequency%20signaling&list=Dual-tone&lang=EN>
76. Meier R., CoolTerm serial port terminal application, internetā: <http://freeware.the-meiers.org/>
77. Meshlium by Libelium, internetā: <http://www.libelium.com/products/meshlium>
78. Microchip Technology Inc., internetā: <http://www.microchip.com/>
79. Miller R.C., Electrical energy measuring multimeter, US Patent Application Nr: 4257004, 17 Mar, 1981.
80. Morse Samuel F.B., Improvement in the Mode of Communicating Information by Signals by the Application of Electro-Magnetism, US patent 1647, 1840, internetā: <http://www.google.com/patents/id=Xx5AAAAAEBAJ&printsec=abstract&zoom=4&dq=1647#v=onepage&q=1647&f=false>
81. MPEG-4 kodeks, internetā: <http://en.wikipedia.org/wiki/MPEG-4>

82. NASA Science Laboratory “Curiosity”, 2012, internetā: http://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html
83. NXP Semiconductors, Jennic, Application Note: JN-AN-1035, internetā: http://www.jennic.com/files/support_files/JN-AN-1035%20Calculating%20802-15-4%20Data%20Rates-1v0.pdf
84. O'Hara B., Petrick A., IEEE 802.11 Handbook: A Designer's Companion, IEEE Press Publications, 2005, ISBN 0-7381-4449-5, p.360
internetā: <http://www.ieee802.org/11/index.shtml>
85. OSRAM Opto Semiconductors, Application Note “Street lighting with LED Light Sources”, 2009, internetā: <http://catalog.osram-os.com/catalogue/catalogue.do;jsessionid=586AEDB8AEB5DE3A0644CC78BEC38BC1?act=showBookmark&favOid=0000000300012fdd018a00b7>
86. Oualline S., Practical C Programming, Third Edition, O'Reily Media, 1997, p.215, ISBN 978-1-565-92305-5, internetā: <http://www.asciitable.com/>
87. Pfindler T., Current measurement shunt circuit for accurate measurement of currents in the range of milliamps to kiloamps, whereby the shunt resistance is thermally coupled to the current measurement circuit to provide temperature compensation, DE20021011117 20020314, Publication date: 25 Sept 2003.
88. Podlisk I., Rucareanu G., TEMPERATURE-COMPENSATED SHUNT CURRENT MEASUREMENT, US Patent Application Nr:20110089931, Filing date: 19 Oct 2009.
89. Power over Ethernet (POE) Products, SilverTel Telephony & Power Solution Modules, internetā: http://www.silvertel.com/poe_products.htm
90. Power-Integrations, internetā: <http://datasheet.octopart.com/TOP204YN-Power-Integrations-datasheet-12225.pdf>
91. Power-Over-Ethernet (PoE) Interface Controllers, Linear Technology Corporation, internetā: [http://www.linear.com/products/power-over-ethernet_\(poe\)_interface_controllers?gclid=CKfDv6TZgLECFZAvmAod2iA1Og](http://www.linear.com/products/power-over-ethernet_(poe)_interface_controllers?gclid=CKfDv6TZgLECFZAvmAod2iA1Og)
92. Schmidt W.H., Grundlagen Elektrotechnik, analoge Schaltungstechnik, Schaltnetzteile, Brennstoffzellen, internetā: http://schmidt-walter.eit.h-da.de/snt/snt_eng/snteng4b.pdf
93. Seeber B., Handbook of applied superconductivity. CRC Press, 1998, ISBN 978-0-7503-0377-4, pp. 1861–1862,
94. Shubert F., Light-Emitting Diodes, 2nd Edition, Cambridge University Press, New York, 2006, ISBN-13 978-0-521-86538-8, p.432
Osram Sylvania Corporation “Lumens and mesopic vision” Application Note FAQ0016-0297 (2000)
95. SmartGrid.gov Smart Grid and government-sponsored Smart Grid projects, internetā: <http://www.smartgrid.gov>; <http://www.smartgridnews.com>

96. Stambaugh M., HARQ Process Boosts LTE Communications, Mobile Dev&Design, internetā :http://mobiledevdesign.com/standards_regulations/HARQ_Process_Boosts_LTE_Communications/index1.html
97. Tesla Nikola, "Method Of And Apparatus For Controlling Mechanism Of Moving Vessels Or Vehicles", US patent Nr 613,809, internetā: <http://www.keelynet.com/tesla/00613809.pdf>
98. TP5089 DTMF (TOUCH-TONE) Generator, Texas Instruments, internetā: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tp5089.pdf>
99. The American Heritage® Dictionary of the English Language, Fourth Edition copyright ©2000 by Houghton Mifflin Company. Updated in 2009.
100. The European Telecommunications Standards Institute, internetā: <http://www.etsi.org/Application/Search/?search=SRD>
101. The RFID Network, internetā: <http://rfid.net/basics/186-iso-rfid-standards-a-complete-list>
102. Time Division Duplex (TDD) vs Frequency Division Duplex (FDD) in Wireless Backhauls, Netkrom Technologies, internetā: http://www.netkrom.com/support/whitepapers/TDD_vs_FDD_in_wireless_backhaul_white_paper.pdf
103. TL431, TL431A, TL431B, TL432, TL432A, TL432B PRECISION PROGRAMMABLE REFERENCE, Texas Instruments, internetā: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf>
104. Tomarakos J.,The Relationship of Dynamic Range to Data Word Size in Digital Audio Processing,table1, EETimes, 2002, internetā: <http://www.eetimes.com/design/analog-design/4018065/The-Relationship-of-Dynamic-Range-to-Data-Word-Size-in-Digital-Audio-Processing>
105. TOP204 15V switching power supply circuit, ElectroniqNet, internetā: <http://www.electroniq.net/power-supply/top204-15v-switching-power-supply-circuit.html>
106. Tranchard S., New ISO RFID standard will help trace products in the supply chain, ISO News, internetā: <http://www.iso.org/iso/pressrelease.htm?refid=Ref1293>
107. United Nations agency ITU (International Telecommunication Union), internetā: <http://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>
108. Universal Powerline Bus. Pulse Works, internetā: http://pulseworx.com/UPB_.htm
109. Universal Serial Bus, USB Implementers Forum, Inc., internetā: <http://www.usb.org/>
110. Waspnote by Libelium internetā: <http://www.libelium.com/products/waspnote>
111. Waspnote by Libelium internetā: <http://www.libelium.com/products/waspnote>
112. WHAT IS THE SMART GRID?, SmartGrid.gov,internetā: http://www.smartgrid.gov/the_smart_grid#home
113. Wi-Fi Alliance, internetā: <http://www.wi-fi.org/>

114. WiMedia Alliance, internetā: <http://www.wimedia.org/en/index.asp>
115. Wireless Distributed technologies, Libelium, internetā: <http://www.libelium.com/company/about>
116. Wireless Transmitter, Wireless receiver, Shenzhen Zhianbao Electronics Co., Ltd., internetā: <http://zabdz.en.alibaba.com/productlist.html>
117. Wireless USB Specification Revision 1.1, USB Implementers Forum, Inc., internetā: <http://www.usb.org/developers/wusb/docs>
118. WirelessMAN, The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards internetā: <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/>
119. Worldwide Wireless USB Host Adapter Reference Design Kit (AL5604), internetā: [http://book.architecture6.com/Worldwide-Wireless-USB-Host-Adapter-Reference-Design-Kit-\(AL5604\)-download-w82.pdf](http://book.architecture6.com/Worldwide-Wireless-USB-Host-Adapter-Reference-Design-Kit-(AL5604)-download-w82.pdf)
120. X-CTU Software, Digi International Inc. internetā: <http://www.digi.com/support/productdetail?pid=3352>
121. ZigBee Topologies, internetā: <http://www.jennic.com/elearning/zigbee/files/html/module2/module2-3.htm>
122. ZigBee Specifications, internetā: http://www.specifications.nl/zigbee/zigbee_UK.php
123. μ Module Boost LED Driver and Current Source LTM8042/LTM8042-1, Linear Technology Corporation, internetā: <http://www.linear.com/product/LTM8042>
124. Apse-Apsītis P., Avotins A., Ribickis L., Household Energy Consumption Monitoring, Abstract book and Electronic Proceedings of The 52nd Annual International Scientific Conference of RTU, Section of Power Electrical Engineering, RTU Publishing House, Riga, 2011, ISBN 978-9934-10-210-3, p.61
125. Apse-Apsītis P., Ribickis L., Mobile Field Robotic Platform Positioning, Abstract book and Electronic Proceedings of The 52nd Annual International Scientific Conference of RTU, Section of Power Electrical Engineering, RTU Publishing House, Riga, 2011, ISBN 978-9934-10-210-3, p.72
126. Apse-Apsītis P., Ribickis L., Levcenkovs A., Gorobecs M., Embedded ICT for Railway Safety, Abstract book and Electronic Proceedings of The 52nd Annual International Scientific Conference of RTU, Section of Power Electrical Engineering, RTU Publishing House, Riga, 2011, ISBN 978-9934-10-210-3, p.78.
127. Apse-Apsītis P., Avotins A., Ribickis L., Remote Workshop for Practical Knowledge Improvement in Electrical Engineering Education, International Conference “Interactive Collaborative Learning” ICL 2012, conference CD, Contribution 205, 28-28 September 2012
128. Apse-Apsītis P., Avotins A., Concept of Wireless Based Electrical Energy Monitoring System, 7th International conference-workshop “Compability and Power Electronics CPE 2011”, Student workshop, Tallin 2011, Proceedings, ISBN 978-9985-69-050-5, p.90-94

129. Apse-Apsītis P., Ribickis L., Vairāku patērētāju elektroenerģijas patēriņa monitoringa metode, žurnāls "Enerģija un pasaule", Nr.2(67), 2010, ISSN 1407-5911, 86-87 lpp.
130. Apse P., Drošība bezvadu datu tīklos, žurnāls "e-pasaule", Data Media Group, Rīga, 09/2003, ISSN 1407-7299-09, 81- 83 lpp.
131. Apse P., Mobilie norēķini bankās, žurnāls "e-pasaule", Data Media Group, Rīga, 11/2003, ISSN 1407-7299-11, 36 - 37 lpp
132. Apse P., Bluetooth, WiFi un mikroviļņu krāsns, žurnāls "e-pasaule", Data Media Group, Rīga, 06/2004, ISSN 1407-7299-06, 76 lpp.
133. Apse P., IT maziem uzņēmumiem, žurnāls "e-pasaule", Data Media Group, Rīga, 10/2003, ISSN 1407-7299-10, 40 - 41 lpp.
134. Apse P., Informācija - statiska vai mobila, žurnāls "e-pasaule", Data Media Group, Rīga, 07/2003, ISSN 1407-7299-07, 44 - 46 lpp.

PIELIKUMI

1. PIELIKUMS

1. VIEDTĪKLI UN EIBMVS

Elektroenerģijas patēriņš arvien pieaug, turklāt 40% no kopējā patēriņa veido komunālais un mājsaimniecību patēriņš [21].

Elektroenerģijas ražošana decentralizējas - alternatīvo avotu: vēja ģeneratoru, saules paneļu, biogāzes un koģenerāciju staciju vai elektromobiļu pielietojums palielinās. Šie elektroenerģijas ražošanas objekti ir ar salīdzinoši nelielām jaudām un atrodas visā valsts teritorijā. Turklāt bieži var konstatēt faktu, ka elektroenerģijas ražošanai izdevīgs novietojums neatbilst patērētāju izvietojumam. Piemēram, vēja ģeneratoru parki tipiski atrodas valsts jūras piekrastes rajonos, bet galvenais patēriņš ir valsts centrālajā vai piekrastei pretējā daļā.

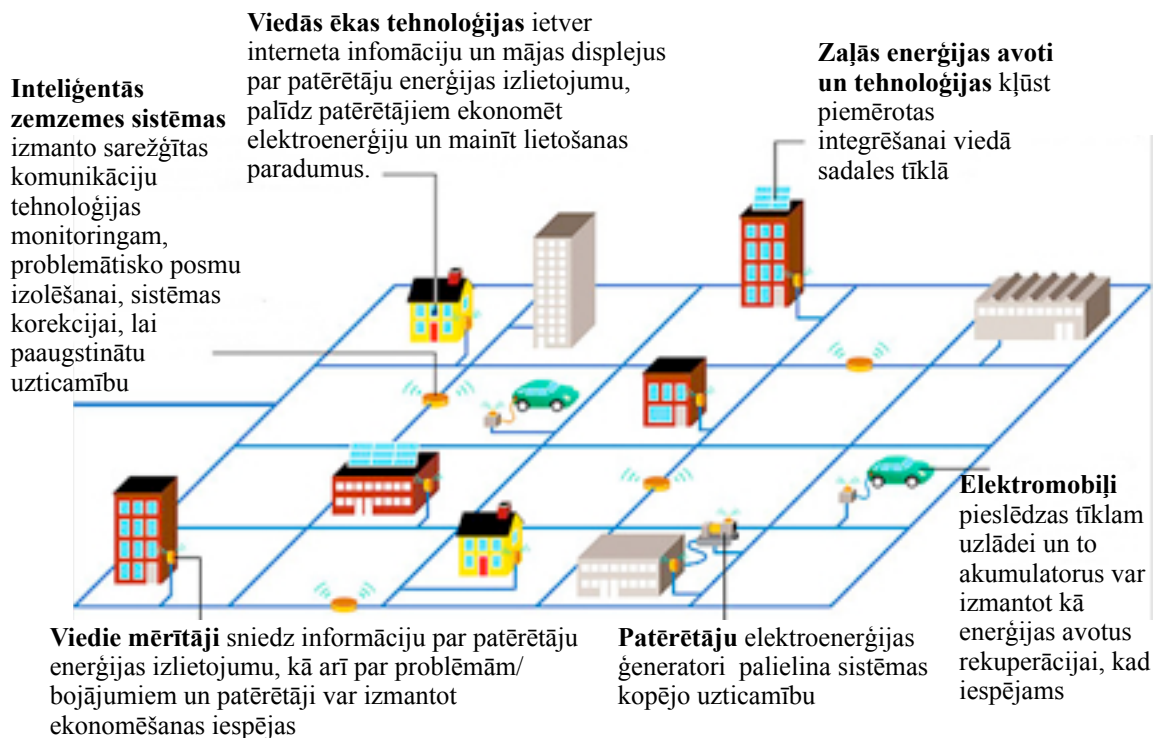
Ir nepieciešamas divvirzienu enerģijas plūsmas elektropārvades līnijās, kas ir realizējamas veidojot viedtīklus. Viedtīkla definīcija, balstīta uz [95]:

“Viedtīkls ir elektriskais tīkls, kas izmanto datorus un citas tehnoloģijas, lai apkopotu, sistematizētu un izmantotu informāciju, piemēram, informāciju par piegādātāju un patērētāju esošo stāvokli un parametriem. Informāciju iegūst un apstrādā kādā automatizētā veidā, lai uzlabotu efektivitāti, drošību un uzticamību, veidojot ekonomiskus un ilgtspējīgus elektroenerģijas ražošanas - sadales tīklu.”

Kopējā koncepcijā viedtīkli, piemēram, ietver [112] (P.1.1. attēls [13]):

- atjaunojamās enerģijas avotus,
- viedtīklu, inteligentu enerģijas sadali un viedo māju,
- elektromobiļu uzlādes sistēmas un vietas,
- vadības, datu un koordinācijas centrus,
- patērētāju iesaisti (izpratni un rīcību),

Elektromobiļu akumulatorus noteiktos apstākļos iespējams izmantot kā elektroenerģijas avotus. Elektromobiļu dislokācijas un pieslēguma vietas ir dinamiski mainīgas. Iepriekš tās nav definējamas lielākajā daļā gadījumu. Problēmu iespējams risināt izveidojot viedtīklu.



P.1.1. att. Elektroenerģijas avoti, patērētāji un viedtīkls

Veiksmīga risinājuma gadījumā, viedtīkls varētu palielināt vispārējo tīkla izmantošanu enerģijas pārvadei par vairāk nekā 30% un kopējo izmaksu ekonomiju virs 50%, salīdzinot ar vienkāršu esošo pārvades līnijas nomaiņu uz lielākas jaudas līniju, lai nodrošinātu nepieciešamos parametrus [43].

Viedtīklos iespējams izmantot EIBMVS ZigBee/XBee, WiFi, SRD (nelieliem tīklu posmiem) u.c. moduļu sensoru tīklus, piemēram Waspnote (P.1.2. attēls) moduļus.

Galvenā uzmanība viedtīklu veidošanā ir jāpievērš laika aizturēm un izmaksām - analogiski kā EIBMVS.

Šodien nav atbildes vai izdevīgāk ir ieviest viedtīklus, vai plašāk izmantot līdzstrāvas elektroenerģijas pārvades posmus.

Būtībā ir atjaunojusies, ja tā var apzīmēt, Edisona un Teslas viedokļu konfrontācija.



P.1.2. att. Waspnote procesora un komunikāciju plate un XBee moduļi

2. PIELIKUMS

2. SRD RADIOVIĻŅU RAIDĪŠANAS-UZTVERŠANAS MODUĻU RAKSTURLIELUMI

Moduļi ir attēloti 2.2.9. attēlā.

433 MHz SeedStudio [62] raidīšanas-uztveršanas moduļu raksturlielumi:

- modulācija: ASK (*Amplitude Shift Keying*) [14],
- raidītāja barošanas spriegums +Vcc: 3-12V (raidītāja jauda ir proporcionāla barošanas spriegumam),
- uztvērējs datu izeja sprieguma līmeņi: HIGH - 1/2 Vcc, LOW - 0,7V (pie Vcc=5V barošanas - TTL līmeņi),
- raidīšanas diapazons (+Vcc = 5V): 40m iekšelpās, 100m brīvā dabā.

868 MHz Hope RF [47] raidīšanas-uztveršanas moduļu raksturlielumi (P.2.1 - P.2.4. tabulas):

- modulācija: FSK (*Frequency Shift Keying*)

Raidītājs

1. DC Characteristic

P.2.1. tabula

	min	typical	Max	unit
voltage	2.5	3	5	V
temperature	-35		80	°C
Data rate	600	4800	9600	bps

note: data rate can be defined by customer from 300bps~100kbps

2. RF Characteristic

VDD=3.0V T=25°C

P.2.2. tabula

Model	HM-T315	HM-T433	HM-T868	HM-T915	Unit
	315	434	869	915	MHz
TX power	0	7	4	4	dBm
TX current	25	30	31	31	mA
RF Distance(reliable condition)	200	240	160	250	m

Uztvērējs

1. DC parameter

P.2.3. tabula

	Min	Typ	Max	Unit
Power supply	2.5	3	5	V
Temperature	-35		80	°C
Data rate	600	4800	9600	bps

Note: Data rate can be customize from 300bps to 100kbps

2. Performance

VCC=3V, T=25°C

P.2.4. tabula

Model	Condition	HM-R433	HM-R868	HM-R915	单位
Frequency		434	869	915	MHz
Sensitivity		-97	-98	-99	dBm
RX current		9	10	11	mA
Reliable range	Work with HM-T	240	160	250	m
	Work with HM-R	260	290	370	m

Hope RF [47] raiduztvērēju HM-TR raksturlielumi (P.2.5. tabula):

- modulācija - FSK

Hope raiduztvērēja parametri

P.2.5. tabula

parameter	condition	min	typical	max	
Power supply		4.5	5.0	5.0	V
Operate temperature		-35	25	80	°C
Operate frequency	HM-TR433	430.24	434	439.75	MHz
	HM-TR868	860.48	869	879.51	
	HM-TR915	900.72	915	929.27	
Max output power	HM-TR433	3	5		dBm
	HM-TR868	-2	0		
	HM-TR915	-2	0		
Transmitting power		Pmax-21	Pmax	Pmax	dBm
Receive sensitivity	HM-TR433		-105	-100	dBm
	HM-TR868		-102	-95	
	HM-TR915		-102	-95	
TX current	HM-TR433			26	mA
	HM-TR868			28.5	
	HM-TR915			30	
RX current	HM-TR433			15	mA
	HM-TR868			16	
	HM-TR915			17	
Reference distance	HM-TR433/TTL			330	m
	HM-TR868/TTL			220	
	HM-TR915/TTL			230	
Modulate deviation		15		240	kHz
Receiver bandwidth		67		400	kHz
UART data rate		300	9600	19200	bps
UART data bits		5	8	9	bit
UART parity check		None	Odd	Even	
UART stop bits		1	1	2	bit
ANT connector					SMA female
Module size					24×43mm

Ražotāja HOPE raiduztvērēji HM-TRP (P.2.1. attēls), nodrošina “tiešās redzamības” komunikācijas attālumu līdz 1 km, kas pārsniedz SRD darbības diapazonu.

Komunikācijas attālumi līdz 1 km ievērojami vienkāršo EIBMVS iekārtu un moduļu komunikāciju ar vadības punktu, jo nepieciešams mazāks retranslāciju skaits un daudzos gadījumos var izmantot zvaigznes slēguma tīklu.



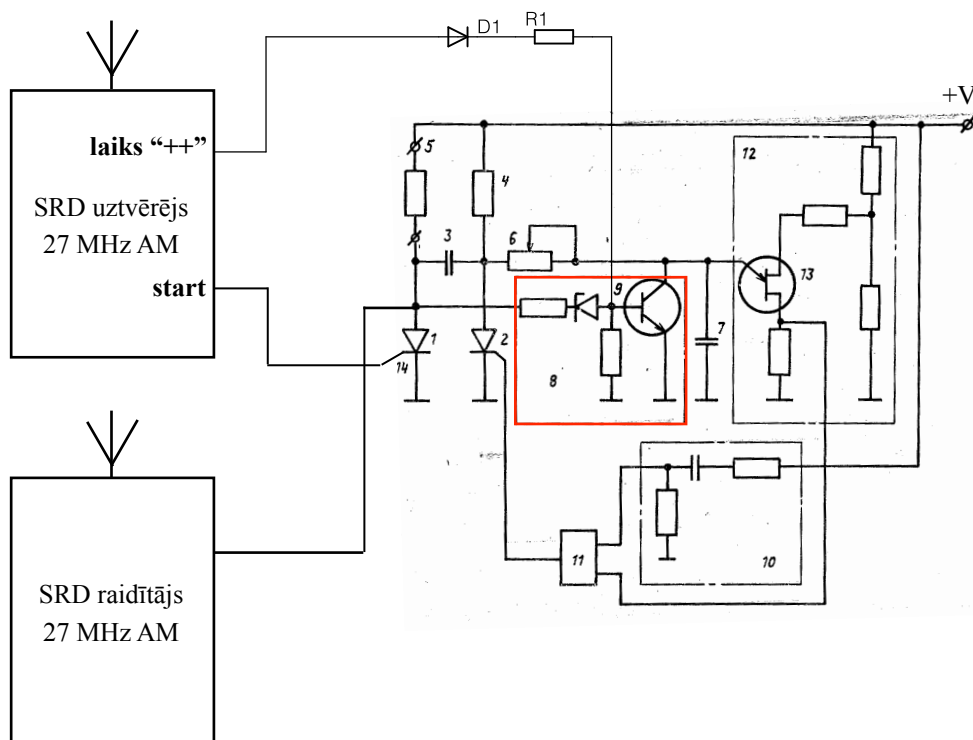
P.2.1. attēls Hope
HM-TRP
raiduztvērējs

HM-TRP funkcijas:

- FSK modulācija, 2-virzienu nepilna duplexa komunikācija,
- laba traucējumu noturība,
- 433/470/868/915MHz ISM josla,
- regulējama izejas jauda līdz 100mW (20dBm),
- patērētā strāva raidīšanas režīmā - 100mA pie jaudas 20dBm, 40mA pie jaudas 14dBm,
- patērētā strāva uztveršanas režīmā - 25mA,
- patērētā strāva miega režīmā 1uA,
- Standarta TTL UART interfeiss, paplašināms uz RS232 vai citu interfeisu,
- automātisks apmaiņas paziņojums,
- Komunikācijas ātrums starp raiduztvērējiem - 1200 bps ... 115200 bps,
- RSSI funkcija (signāla stipruma indikators),
- pārraides attālums > 1km tiešās redzamības zonā,
- nelieli izmēri 16x20x2 mm,
- nav jānoskaņo,
- atbilst FCC un ETSI standartiem

3. TIRISTORU LAIKA RELEJA MODIFIKĀCIJA IEKĻAUSĀNĀI EIBMVS

Šajā piemērā (1982.g.), tiristora laika releju var viegli izmantot iekārtas palaišanai ar BV starta impulsu - padodot sprieguma impulsu "start" uz tiristora 1 vadības elektrodu 14 (P3.1. attēls).



P3.1. att. Tiristoru laika releja integrēšanas shēma EIBMVS

Savukārt, laika releja aiztures laiku var modulēt ar BV impulsiem "laiks ++", kurus padod uz tranzistora 5 bāzi ar ķēdes R1D1 palīdzību.

Releja aiztures laiku var palielināt izlādējot RC ķēdes 6,7 kapacitāti 7 ar tranzistora 5 palīdzību [11] nepalielinot RC ķēdes kapacitāti, jo lielas kapacitātes precīzas vērtības kondensatori ir reti pieejami un dārgi.

Bipolārā tranzistora 5 kolektora-emitera piesātinājuma spriegums $U_{tr} \leq 1V$ ir mazāks par vienpārejas tranzistora 13 atslēgšanās sliekšņa spriegumu $U_{off} = 3...5V$.

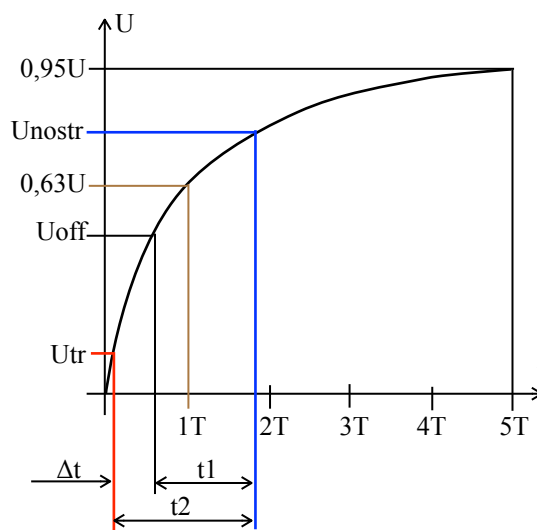
Izlādējot kondensatoru ar tranzistoru, tas izlādējas praktiski līdz 0 vērtībai. Līdz ar to kondensatora uzlāde vienmēr sākas praktiski no sprieguma tuvu 0.

Uzlādes laiks, no 0 līdz vienpārejas tranzistora ieslēgšanās spriegumam U_{nostr} palielinās: $t_2 > t_1$ (P.3.2. attēls).

Cikliski izlādējot kapacitāti 7 ar tranzistora 5 un ķēdes R1D1 starpniecību, izmantojot EIBVMS vadību, iespējams panākt aiztures laika izmaiņas plašā

diapazonā un sinhronizāciju ar kopējo elektrotehnoloģiskās iekārtas un to sistēmu procesu. Attēlotais risinājums samazina darba frekvences aizņemšanas laiku. Laika releja stāvokli konstatē un pārraida izmantojot atbilstošu raidītāju, ja šāda informācija ir nepieciešama.

Vadībai, EIBVMS ietvaros, izmanto zemo frekvenču signāla modulētu 27 MHz radiofrekvenci.



P.3.2. att. Aiztures laika palielināšanas garfiks

4. ELEKTROENERĢIJAS PATĒRIŅA MONITORINGA SISTĒMAS PIESLĒGUMVIETAS MODUĻA PKP

5.2. nodaļa

```

/* Programmas koda piemērs. Arduino vide.
Energijas patēriņa monitoringa sistēmas pieslēgumvietas modulis
Pēteris Apse-Apsītis, Rīgas Tehniskā universitāte,
e-pasts: peteris.apse-apsitis@rtu.lv
GPLv3 licence (General Public Licence) */

// definē Arduino datu izvadus D0...D4 un signāla Vt saņemšanas ieeju no
ZR7AZ uztvērēja ("saņemts pareizs kods")
int D0 = 5;
int D1 = 4;
int D2 = 3;
int D3 = 2;
int Vt = 6;

// definē Arduino izvadu raidītāja ZF-1 barošanai
int transPower = 12;

// definē Arduino ACP ieeju (testa versija)
int analogread=0;

// definē Arduino ACP sākotnējo nolasījumu
int reading=0;

// sākotnējās iestatīšanas procedūra
void setup() {
//definē izeju virzienu -INPUT vai OUTPUT
pinMode(D0, OUTPUT);
pinMode(D1, OUTPUT);
pinMode(D2, OUTPUT);
pinMode(D3, OUTPUT);
pinMode(Vt, INPUT);
pinMode(transPower, OUTPUT);
digitalWrite(transPower, LOW);
delay(100); }

// sāk darbības cilpveida ciklu (loop)
void loop() {
//gaida kamēr signāls Vt mainīs stāvokli uz logisko 0

```

```

while(digitalRead(Vt) == LOW) {
    delayMicroseconds(10); }

//Vt mainījis stāvokli uz logisko 0 veic ACP nolasījumu
    reading = analogRead(A0);
//konvertē 10-bitu ACP nolasījumu uz 6 bitu skaitli
    reading = reading/16;
//nolasa bitu pēc bita trīs jaunākos (LSB) bitus
    digitalWrite(D0, bitRead(reading,0));
    digitalWrite(D1, bitRead(reading,1));
    digitalWrite(D2, bitRead(reading,2));
//iestāda LSB identifikatoru - D3 ir "0"
    digitalWrite(D3, LOW);
//gaida kamēr signāls Vt mainīs stāvokli uz logisko 1, lai neveiktu ACP
nolasījumu vairākas reizes
    while(digitalRead(Vt) == HIGH) {
        delayMicroseconds(10); }
//sūta 3 LSB bitus uz centrālo punktu
    digitalWrite(transPower, HIGH);
    delay(250);
    digitalWrite(transPower, LOW);
    delay(100);
//nolasa bitu pēc bita trīs vecākos (MSB) bitus
    digitalWrite(D0, bitRead(reading,3));
    digitalWrite(D1, bitRead(reading,4));
    digitalWrite(D2, bitRead(reading,5));
//iestāda MSB identifiatoru
    digitalWrite(D3, HIGH);
//sūta 3 LSB bitus uz centrālo punktu
    digitalWrite(transPower, HIGH);
    delay(250);
    digitalWrite(transPower, LOW);
    delay(100);
// viens cikls ir beidzies un sāk ciklu no jauna (loop)
}

```

5. ELEKTROENERĢIJAS PATĒRINA MONITORINGA SISTĒMAS CENTRĀLĀ MODUĻA PKP

5.2. nodaļa

```

/* Programmas koda piemērs. Arduino vide.
Energijas patēriņa monitoringa sistēmas centrālais modulis
Pēteris Apse-Apsītis, Rīgas Tehniskā universitāte,
e-pasts: peteris.apse-apsitis@rtu.lv
GPLv3 licence (General Public Licence)*/

// definē izvadus
int D0 = 5;
int D1 = 4;
int D2 = 3;
int D3 = 2;
int Vt = 6;
int transPower = 10; //transmitter power output pin

// definē mainīgos
// mainīgais, kuru nosaka 2x 3-biti: D1-D2 un D3-D5
int readingOUT;
int c=0;
int i;

// sākotnējās iestatīšanas procedūra
void setup() {
  pinMode(D0, INPUT);
  pinMode(D1, INPUT);
  pinMode(D2, INPUT);
  pinMode(D3, INPUT);
  pinMode(Vt, INPUT);
  pinMode(transPower, OUTPUT);
  digitalWrite(transPower, LOW);
  Serial.begin(9600);
  delay(100); }

// sāk darbības cilpveida ciklu (loop)
void loop() {
// sūta pieprasījumu monitoringa punktam
  digitalWrite(transPower, HIGH);
  delay(250);
  digitalWrite(transPower, LOW);
  delay(50);

```

```

// gaida kamēr atsūtīs datus no monitoringa punkta divos "sūtījumos"
for(i=0;i<2;i++) {
// gaida kamēr uztvērēja Vt pārslēdzas uz "1" - dati saņemti,
while(digitalRead(Vt) == LOW) {
delayMicroseconds(10); }
if(digitalRead(Vt) == HIGH){
// ja D3 = 0 ), tad saņemts ir LSB
if(digitalRead(D3) == LOW) {
// bitu pēc bita veido skaitli binārā formā
if(digitalRead(D0) == HIGH) bitWrite(readingOUT,0,1);
else bitWrite(readingOUT,0,0);
if(digitalRead(D1) == HIGH) bitWrite(readingOUT,1,1);
else bitWrite(readingOUT,1,0);
if(digitalRead(D2) == HIGH) bitWrite(readingOUT,2,1);
else bitWrite(readingOUT,2,0);
// iestāda indikatoru "c" - LSB ir saņemti
c++; }
// ja D3 =1, saņemti ir MSB
else if(digitalRead(D3) == HIGH) {
if(digitalRead(D0) == HIGH) bitWrite(readingOUT,3,1);
else bitWrite(readingOUT,3,0);
if(digitalRead(D1) == HIGH) bitWrite(readingOUT,4,1);
else bitWrite(readingOUT,4,0);
if(digitalRead(D2) == HIGH) bitWrite(readingOUT,5,1);
else bitWrite(readingOUT,5,0);
c++; } }
// papildina līdz 8 bitiem: 00-MSB-LSB
bitWrite(readingOUT,6,0);
bitWrite(readingOUT,7,0);
// gaida uztvērēja Vt pārslēgšanos uz "0" , lai datus nenolasītu 2x
while(digitalRead(Vt) == HIGH) {
delayMicroseconds(10); } }
// pārraida datus uz datoru ar virknes komunikāciju, ja c=2, t.i. ir
saņemti LSB, MSB un noformēts skaitlis
if(c=2) {
Serial.println(readingOUT);
c=0; }
// aizture starp cikliem
delay(5000); }

```

6. DATU SAŅEMŠANAS PA BV ELEKTRISKĀS JAUDAS PĀRVADES MEZGLU

PKP - A.DALA

(4.4.2. nod.)

```

/* Programmas koda piemērs. Arduino vide.
Datu saņemšana pa bezvadu elektriskās jaudas pārvades mezglu - A. daļa
Primārā puse.
Pēteris Apse-Apsītis, Rīgas Tehniskā universitāte,
e-pasts: peteris.apse-apsitis@rtu.lv
GPLv3 licence (General Public Licence)*/

// definē Arduino izvadus un mainīgos
int dirA = 4;
int pwmA = 5;
int pwmB = 6;
int dirB = 7;
int Tx = 8;
int i;
char D[6];
int l;

// sākotnējās iestatīšanas procedūra
void setup() {
    delay(100);
//definē izeju virzienu -INPUT vai OUTPUT
    pinMode(dirA, OUTPUT);
    pinMode(pwmA, OUTPUT);
    pinMode(dirB, OUTPUT);
    pinMode(pwmB, OUTPUT);
    pinMode(Tx, OUTPUT);
    digitalWrite(pwmA, HIGH);
    digitalWrite(dirA, LOW);
    digitalWrite(pwmB, LOW);
    digitalWrite(dirB, LOW);
    digitalWrite(Tx, HIGH);
    attachInterrupt(0, transm, LOW);
// startē seriālo datu pārraidi
    Serial.begin(14400);
    delay(100); }
// sāk darbības cilpveida ciklu (loop)

```

```

    void loop() {
// atslēdz pārtraukumus (interrupt)
    detachInterrupt(0);
    digitalWrite(pwmA, HIGH);
//ģenerē 1500 periodus
    for(i=0; i<1500;i++) {
        digitalWrite(dirA,HIGH);
        delayMicroseconds(11);
        digitalWrite(dirA,LOW);
        delayMicroseconds(11); }
    digitalWrite(pwmA, LOW);
//aizture, lai paspētu norimt primārā kontūra svārstības
    for(i=0; i<25; i++) {
        delayMicroseconds(20); }
//pieslēdz 0-to pārtraukumu iespēju
    attachInterrupt(0, transm, LOW);
//aizture lai UART buferis saņemtu datus
    for(i=0; i<70; i++) {
        delayMicroseconds(60); }
    delay(3);
//atslēdz 0-tā pārtraukuma iespēju
    detachInterrupt(0);
//veic saņemto seriālo datu apstrādi, ja tādi ir uzkrāti UART buferī
    if(Serial.available() > 0) {
        while(Serial.available() > 0) {
            for(i=0;i<7;i++) {
                char d = Serial.read();
                D[i] = d;
                delayMicroseconds(5); } } }
    detachInterrupt(0);
//izdrukā saņemtos bitus
    Serial.print(D[0]); Serial.print(D[1]);
    Serial.print(D[2]); Serial.print(D[3]);
    Serial.print(D[4]); Serial.print(D[5]);
    Serial.println(D[6]);
// viens cikls ir beidzies un sāk ciklu no jauna (loop)
    }
//pārtraukuma kods
    void transm() {
        digitalWrite(Tx, LOW);
        delayMicroseconds(48);
        digitalWrite(Tx, HIGH);
    }
}

```

7. DATU SAŅEMŠANAS PA BV ELEKTRISKĀS JAUDAS PĀRVADES MEZGLU PKP - B. DAĻA

```

/* Programmas koda piemērs. Arduino vide.
Datu saņemšana pa bezvadu elektriskās jaudas pārvades mezglu - B.
Sekundārā puse - kustīgā daļa.
Pēteris Apse-Apsītis, Rīgas Tehniskā universitāte,
e-pasts: peteris.apse-apsitis@rtu.lv
GPLv3 licence (General Public Licence)*/

// definē izejas, mainīgos un parmetrus
int dirA = 4;
int pwmA = 5;
int pwmB = 6;
int dirB = 7;
int value;
int data;
int i;
int h;
int aR0;
int aR1;
int aR2;
int Wa0[4];

// sākotnējās iestatīšanas procedūra
void setup()
{
    delay(100);
    //definē izeju virzienu -INPUT vai OUTPUT
    pinMode(dirA, OUTPUT);
    pinMode(pwmA, OUTPUT);
    pinMode(dirB, OUTPUT);
    pinMode(pwmB, OUTPUT);
    digitalWrite(pwmA, LOW);
    digitalWrite(dirA, LOW);
    digitalWrite(pwmB, LOW);
    digitalWrite(dirB, LOW);
    //pieslēdz pārtraukumu iespēju
    attachInterrupt(0, power, FALLING);
    attachInterrupt(1, generate, LOW);

```

```

// startē seriālo datu pārraidi
  Serial.begin(14400);
  delay(100); }
// sāk darbības cilpveida ciklu (loop)
void loop() {
// skaita primārā kontūra svārstību periodu skaitu
  if(data > 1485) {
//atvieno 0-tā pārtraukuma iespēju
  detachInterrupt(0);
  delay(1);
//sadala ACP nolasījumu pa bitiem
  aR0 = analogRead(A0);
  Wa0[1] = aR0/1000;
  Wa0[2] = (aR0 - 1000 * Wa0[1])/100;
  Wa0[3] = (aR0 - 1000 * Wa0[1] - 100 * Wa0[2])/10;
  Wa0[4] = (aR0 - 1000 * Wa0[1] - 100 * Wa0[2] - 10 * Wa0[3]);
//pievieno 1-ā pārtraukuma iespēju
  attachInterrupt(1, generate, LOW);
  digitalWrite(pwmA, LOW);
  Serial.print(Wa0[1]); Serial.print(Wa0[2]);
  Serial.print(Wa0[3]); Serial.print(Wa0[4]);
  Serial.println("A");
  digitalWrite(pwmA, LOW);
  data = 0; }
  delayMicroseconds(1250);
//pievieno 0-tā pārtraukuma, atvieno 1-ā pārtraukuma iespējas
  attachInterrupt(0, power, FALLING);
  detachInterrupt(1); }
//1-ā pārtraukuma kods
void power() {
  data++; }
//0-tā pārtraukuma kods
void generate() {
  digitalWrite(pwmA, HIGH);
  digitalWrite(dirA, HIGH);
  digitalWrite(dirA, LOW);
  digitalWrite(dirA, LOW);
  for(i=0;i<8;i++) {
    digitalWrite(pwmA, LOW);
  } }

```

8. DIVU SERVODZINĒJU UN SENSORA IEKĀRTAS VADĪBAS PKP

(5.3.1. nod.)

```

    /* Programmas koda piemērs. Arduino vide.
    Divu servomotoru and LED apgaismojuma vadība ar Interneta
    starpniecību.
    Pēteris Apse-Apsītis, Rīgas Tehniskā universitāte,
    e-pasts: peteris.apse-apsitis@rtu.lv
    GPLv3 licence (General Public Licence)*/

    // pievieno nepieciešamās bibliotēkas
    #include <SPI.h> // SPI biblioteka
    #include <Ethernet.h> // Ethernet biblioteka
// definē interneta tīkla parametrus
// fiziskā MAC adrese
    byte mac[] = { 0x90, 0xA2, 0xDA, 0x00, 0x6D, 0x17 };
// IP adrese LAN
    byte ip[] = { 192, 168, 11, 11 };
// piekļuve internetam ar rūtera starpniecību
    byte gateway[] = { 192, 168, 1, 1 };
// apakštīkla maska (subnet mask)
    //byte subnet[] = { 255, 255, 255, 0 };
// definē webserveri ar 80 portu
    Server server(80);
// definē stringu, kurš saņems datus no interneta adreses
    String readString = String(30);
// definē Arduino izvadus
    int ledPin = 6; // LED
    int servoPinA = 5; // servodzinējs A
    int servoPinB = 4; // servodzinējs B
// definē skaitļu vērtību vieni-desmiti - simti - tūkstoši (thou)
    int vieni=0;
    int desmiti=0;
    int simti=0;
    int thou=0;
    int value;
    long timeA;
    long timeB

```

```

    int i;
// definē sākotnējās vērtības
    int ledValue=0;
    int servoValueA = 1500;
    int servoValueB = 1500;
    int X=0;
    int Y=0;
    int Z=0;
    int pos=0;
// sākotnējās iestatīšanas procedūra
    void setup(){
// startē interneta serveri
        Ethernet.begin(mac, ip);
        //definē izeju virzienu -INPUT vai OUTPUT
        pinMode(ledPin, OUTPUT);
        pinMode(servoPinA, OUTPUT);
        pinMode(servoPinB, OUTPUT);
// definē, ka mikrokontrollera ACP atbalsta spriegums ir ārējs. Šajā
gadījumā izmanto pieejamo Arduino +3,3 V spriegumu
        analogReference(EXTERNAL);
// dzēš ienākošo datu stringu un iegūst mikrokontrollera taimeru patrizējās
vērtības
        readString="";
        timeA = millis();
        timeB = millis(); }
// sāk darbības cilpveida ciklu (loop)
    void loop() {
// izveido potenciāla webservera klienta (client) savienojumu
        Client client = server.available();
// ja (if) ir webservera klients, tad kamēr (while) kamēr klients ir
pieslēgts (connected) un ja clients ir pieejams (available)
        if (client) {
            while (client.connected()) {
                if (client.available()) {
//zīmi pēc zīmes nolasa (read) klienta pieprasījumu un savirknē (+=c)
stringā
                    char c = client.read();
                    if (readString.length() < 30) {
                        readString +=c; }
// beidzoties klienta pieprasījumam, ko bieži nosaka jaunas līnijas
(newline)zīme '\n', nosaka speciālas zīmes pozīciju stringā.
                    if (c == '\n') {
                        pos = readString.indexOf('=');

```

//nosakot pozīciju, iespējams noteikt zīmes pirms vai pēc šīs pozīcijas (pos+1 u.t.t vai pos-1 u.t.t. Tādejādi atšifrē klienta pieprasījumā kodēto informāciju

```
        if( pos > 0) {
            simti = readString.charAt(pos+1) - 48;
            desmiti = readString.charAt(pos+2) - 48;
            vieni = readString.charAt(pos+3) - 48;
            value = 0;
//zinot vērtības un to svarus iespējams atrast skaitli
            value = 100*simti + 10*desmiti + vieni;
            if(readString.charAt(pos-1) == 'L') {
                ledValue=value;
                analogWrite(ledPin, ledValue); }
            if(readString.charAt(pos-1) == 'S') {
                if(readString.charAt(pos-2) == 'A') {
                    servoValueA = value*10;
//nosaka ierobežojumus
                    if(servoValueA >2200) servoValueA=2200;
                    if(servoValueA <800) servoValueA=800; }
                if(readString.charAt(pos-2) == 'B') {
                    servoValueB = value*10;
                    if(servoValueB >2200) servoValueB=2200;
                    if(servoValueB <800) servoValueB=800; } } }
            delay(5);
// izvada datus internetā kā vienkāršu standarta HTML lapu
            client.println("HTTP/1.1 200 OK");
            client.println("Content-Type: text/html");
            client.println();
            client.print("<body> <head> </head>");
            client.print("LED= "); client.print(ledValue);
            client.println("<br />");
            client.print("ServoA= "); client.print(servoValueA);
            client.println("<br />");
            client.print("ServoB= "); client.print(servoValueB);
            client.println("<br />");
            delay(3);
// datu izvadei pa vidu iegūst vidējās slīpuma sensora vērtības no 3
nolasījumiem (lielākai mērījumu vērtību ticamībai)
            X=0;
            Y=0;
            Z=0;
            for(i=0;i<3;i++) {
                X += analogRead(A0);
                Y += analogRead(A1);
                Z += analogRead(A2);
```

```

        delay(2); }
        X=X/3;
        Y=Y/3;
        Z=Z/3;
// turpina datu izvadi - HTML koda ģenerēšanu
    client.print("X= "); client.print(X);
    client.println("<br />");
    client.print("Y= "); client.print(Y);
    client.println("<br />");
    client.print("Z= "); client.print(Z);
    client.println("<br />");
    client.println("</body></html>");
// dzēš stringā uzkrātos datus
    readString="";
// beidz savienojumu ar klientu
    delay(5);
    client.stop(); } } } }
// pārbauda vai nav nepieciešams sūtīt impulsus servodzinējiem, kuri ir
jāsūta ar intervāliem < 20 ms. Ja nepieciešams - ģenerē un nosūta
    if(millis()-timeA >20) {
//servo signāla izeju pārslēdz logiskā "1"
        digitalWrite(servoPinA, HIGH);
//aizture, kura atbilst nepieciešamā servo impulsa garumam, lai dorošinātu
tā ass pozīciju noteiktā stāvoklī
        delayMicroseconds(servoValueA);
//servo signāla izeju pārslēdz logiskā "0", impulss ir beidzies
        digitalWrite(servoPinA, LOW);
        timeA = millis(); }
    if(millis()-timeB > 20) {
        digitalWrite(servoPinB, HIGH);
        delayMicroseconds(servoValueB);
        digitalWrite(servoPinB, LOW);
        timeB = millis(); }
// viens cikls ir beidzies un sāk ciklu no jauna (loop)
}

```

9. SISTĒMAS “DZINĒJS-GENERATORS” UN SOĻU DZINĒJA TESTĒŠANAS PKP -

A. DAĻA

```

/* Programmas koda piemērs. Arduino vide.
Sistēmas "dzinējs - ģenerators" un LED displejs 2x16 - pirmais Arduino un
LED displejs
Pēteris Apse-Apsītis, Rīgas Tehniskā universitāte,
e-pasts: peteris.apse-apsitis@rtu.lv
GPLv3 licence (General Public Licence)*/

// pievieno nepieciešamās bibliotēkas
#include <LCD4Bit_mod.h>
LCD4Bit_mod lcd = LCD4Bit_mod(2);
// definē izejas, mainīgos un parmetrus
int sensorPin=2;
int sensor=LOW;
int pervSensor=LOW;
int bits;
int i;
int c=0;
int enco=0;
long time;
int val[16];
int driveU=0;
float Udrive = 0;
float driveI=0;
float brakeU=0;
float brakeI=0;
float Vcc=0;
int WdrU = 0;
int WdriveU[3];
int WbrakeU[3];
int WdriveI[3];
int WbrakeI[3];
int Wenco[4];
int WVcc[3];
int n=0;
char reading = 'R';
byte data;
// sākotnējās iestatīšanas procedūra
void setup() {
  pinMode(sensorPin, INPUT);

```

```

lcd.init();
lcd.clear();
lcd.println("Start");
delay(1500);
lcd.clear();
Serial.begin(19200);
time = millis(); }
// sāk darbības cilpveida ciklu (loop)
void loop() {
  while(millis() - time <= 1000) {
    if(digitalRead(sensorPin) != pervSensor && digitalRead(sensorPin) == HIGH){
      c = c+1;
      pervSensor = HIGH; }
    if(digitalRead(sensorPin) != pervSensor && digitalRead(sensorPin) == LOW) {
      pervSensor = LOW; } }
    Vcc = 0;
    Udrive = 0;
    driveU = 0;
    brakeU = 0;
    driveI = 0;
    brakeI = 0;
    Udrive = analogRead(A4);
    brakeU = analogRead(A5);
    driveI = analogRead(A2);
    brakeI = analogRead(A3);
    Vcc = analogRead(A1);
    driveU = (Vcc - Udrive);
    driveU = driveU * 0.2444;
    brakeU = brakeU * 0.2444;
    driveI = driveI * 0.9775; //mA
    brakeI = brakeI * 0.9775; //mA
    Vcc = Vcc * 0.2444;
    enco = (c*60)/2;
    WdriveU[1] = driveU/100;
    WdriveU[2] = (driveU - 100 * WdriveU[1])/10;
    WdriveU[3] = (driveU - 100 * WdriveU[1] - 10 * WdriveU[2]);
    WbrakeU[1] = brakeU/100;
    WbrakeU[2] = (brakeU - 100 * WbrakeU[1])/10;
    WbrakeU[3] = (brakeU - 100 * WbrakeU[1] - 10 * WbrakeU[2]);
    WdriveI[1] = driveI/100;
    WdriveI[2] = (driveI - 100 * WdriveI[1])/10;
    WdriveI[3] = (driveI - 100 * WdriveI[1] - 10 * WdriveI[2]);
    WbrakeI[1] = brakeI/100;
    WbrakeI[2] = (brakeI - 100 * WbrakeI[1])/10;
    WbrakeI[3] = (brakeI - 100 * WbrakeI[1] - 10 * WbrakeI[2]);
    WVcc[1] = Vcc/100;
    WVcc[2] = (Vcc - 100 * WVcc[1])/10;
    WVcc[3] = (Vcc - 100 * WVcc[1] - 10 * WVcc[2]);

```

```

Wenco[1] = enco/1000;
Wenco[2] = (enco - 1000 * Wenco[1])/100;
Wenco[3] = (enco - 1000 * Wenco[1] - 100 * Wenco[2])/10;
Wenco[4] = (enco - 1000 * Wenco[1] - 100 * Wenco[2] - 10 * Wenco[3]);
    lcd.cursorTo(1,0);
    lcd.print(WdriveU[1] + 48);
    lcd.print(WdriveU[2] + 48);
    lcd.printIn(".");
    lcd.print(WdriveU[3] + 48);
    lcd.printIn(" ");
    lcd.print(WdriveI[1] + 48);
    lcd.print(WdriveI[2] + 48);
    lcd.print(WdriveU[3] + 48);
    lcd.printIn(" ");
    lcd.print(Wenco[1] + 48);
    lcd.print(Wenco[2] + 48);
    lcd.print(Wenco[3] + 48);
    lcd.print(Wenco[4] + 48);
    lcd.cursorTo(2,0);
    lcd.print(WbrakeU[1] + 48);
    lcd.print(WbrakeU[2] + 48);
    lcd.printIn(".");
    lcd.print(WbrakeU[3] + 48);
    lcd.printIn(" ");
    lcd.print(WbrakeI[1] + 48);
    lcd.print(WbrakeI[2] + 48);
    lcd.print(WbrakeI[3] + 48);
    lcd.printIn(" ");
    lcd.print(WVcc[1] + 48);
    lcd.print(WVcc[2] + 48);
    lcd.printIn(".");
    lcd.print(WVcc[3] + 48);
        Serial.print(WdriveU[1]); Serial.print(WdriveU[2]);
        Serial.print(WdriveU[3]); Serial.print("=");
        Serial.print(WdriveI[1]); Serial.print(WdriveI[2]);
        Serial.print(WdriveI[3]); Serial.print("_");
        Serial.print(Wenco[1]); Serial.print(Wenco[2]);
        Serial.print(Wenco[3]); Serial.print(Wenco[4]); Serial.print("$");
        Serial.print(WbrakeU[1]); Serial.print(WbrakeU[2]);
        Serial.print(WbrakeU[3]); Serial.print("_");
        Serial.print(WbrakeI[1]); Serial.print(WbrakeI[2]);
        Serial.print(WbrakeI[3]); Serial.print("&");
        Serial.print(WVcc[1]); Serial.print(WVcc[2]);
        Serial.print(WVcc[3]); Serial.print("\n");
    c=0;
    time = millis();
// viens cikls ir beidzies un sāk ciklu no jauna (loop)
}

```

10. SISTĒMAS “DZINĒJS-ĢENERATORS” UN SOĻU DZINĒJA TESTĒŠANAS PKP

- B. DAĻA

```

/* Programmas koda piemērs. Arduino vide.
Sistēmas “dzinējs - ģenerators” un LED displejs 2x16 - otrs Arduino
Pēteris Apse-Apsītis, Rīgas Tehniskā universitāte,
e-pasts: peteris.apse-apsitis@rtu.lv
GPLv3 licence (General Public Licence)*/

// pievieno nepieciešamās bibliotēkas
#include <SPI.h> // SPI biblioteka
#include <Ethernet.h> // Ethernet biblioteka
// definē interneta tīkla parmetrus
// fiziskā MAC adrese
byte mac[] = { 0x90, 0xA2, 0xDA, 0x00, 0x6D, 0x17 };
// IP adrese LAN
byte ip[] = { 213, 175, 89, 96 };
// piekļuve internetam ar rūtera starpniecību
byte gateway[] = { 213, 175, 89, 126 };
// apakštīkla maska (subnet mask)
byte subnet[] = { 255, 255, 255, 128 };
// definē webserveri ar 80 portu
Server server(80);
// definē stringu, kurš saņems datus no interneta adreses
String readString = String(50);
// definē stringu, kurš saņems datus no TTL UART Rx, Tx
String readStringSerial = String(28);
// definē Arduino izvadus
int drive = 6;
int load = 5;
int driveON = 3;
int stepON = 2;
int steperM1 = A2;
int steperM2 = A3;
int stepGo = A4;
int dir = A5;
int stepcount = 0;
int i;
int freq=8;

```

```

// definē skaitļu vērtības, vieni-desmiti-simti-tūkstoši (thou), u.c.
    int vieni=0;
    int desmiti=0;
    int simti=0;
    int thou=0;
    int value;
    int ledValue=0;
    int driveValue = 0;
    int loadValue = 0;
    int pos=0;
    int pos1=0;
    int pos2=0;
    int pos3=0;
    int baits;
    int WdriveU[3];
    int WloadU[3];
    int WdriveI[3];
    int WloadI[3];
    int Wenco[4];
    int WVcc[3];
// sākotnējās iestatīšanas procedūra
    void setup(){
// startē interneta serveri
        Ethernet.begin(mac, ip);
// startē seriālo komunikāciju
        Serial.begin(19200);
//definē izeju virzienu -INPUT vai OUTPUT
        pinMode(drive, OUTPUT);
        pinMode(load, OUTPUT);
        pinMode(driveON, OUTPUT);
        pinMode(stepON, OUTPUT);
        pinMode(stepM1, OUTPUT);
        pinMode(stepM2, OUTPUT);
        pinMode(stepGo, OUTPUT);
        pinMode(dir, OUTPUT);
// dzēš ienākošo datu stringu un iegūst mikrokontrolera taimeru
// patreizējās vērtības
        readString=""; }
// sāk darbības cilpveida ciklu (loop)
    void loop( {
        delay(100);
// izveido potenciāla seriālā klienta savienojumu
        if(Serial.available() > 0) {
            readStringSerial="";
            while(Serial.available() > 0) {
                char d = Serial.read();
                if (readStringSerial.length() < 28) {

```

```

//zīmi pēc zīmes nolasa (read) klienta pieprasījumu un savirknē (+=c)
stringā
        readStringSerial +=d; }
// beidzoties klienta pieprasījumam, ko bieži nosaka jaunas līnijas
(newline)zīme '\n', nosaka speciālo zīmju pozīcijas stringā.
        if (d == '\n') {
            pos1 = readStringSerial.indexOf('=');
            pos2 = readStringSerial.indexOf('$');
            pos3 = readStringSerial.indexOf('&'); }
        delayMicroseconds(750); }
//nosakot pozīcijas, iespējams noteikt zīmes pirms vai pēc šīs pozīcijām.
Tādejādi atšifrē seriālā klienta pieprasījumā kodēto informāciju
        if( pos1 > 0 && pos2 > 0 && pos3 > 0) {
            WdriveU[1] = readStringSerial.charAt(pos1-3)-48;
            WdriveU[2] = readStringSerial.charAt(pos1-2)-48;
            WdriveU[3] = readStringSerial.charAt(pos1-1)-48;
//-----
            WdriveI[1] = readStringSerial.charAt(pos1+1)-48;
            WdriveI[2] = readStringSerial.charAt(pos1+2)-48;
            WdriveI[3] = readStringSerial.charAt(pos1+3)-48;
//-----
            Wenco[1] = readStringSerial.charAt(pos2-4)-48;
            Wenco[2] = readStringSerial.charAt(pos2-3)-48;
            Wenco[3] = readStringSerial.charAt(pos2-2)-48;
            Wenco[4] = readStringSerial.charAt(pos2-1)-48;
//-----
            WloadU[1] = readStringSerial.charAt(pos2+1)-48;
            WloadU[2] = readStringSerial.charAt(pos2+2)-48;
            WloadU[3] = readStringSerial.charAt(pos2+3)-48;
//-----
            WloadI[1] = readStringSerial.charAt(pos3-3)-48;
            WloadI[2] = readStringSerial.charAt(pos3-2)-48;
            WloadI[3] = readStringSerial.charAt(pos3-1)-48;
//-----
            WVcc[1] = readStringSerial.charAt(pos3+1)-48;
            WVcc[2] = readStringSerial.charAt(pos3+2)-48;
            WVcc[3] = readStringSerial.charAt(pos3+3)-48; } }
        delay(10);
// izveido potenciāla webservera klienta (client) savienojumu
        Client client = server.available();
// ja (if) ir webservera klients, tad kamēr (while) kamēr klients ir
pieslēgts (connected) un ja klients ir pieejams (available)
        if (client) {
            while (client.connected()) {
                if(client.available()) {

```

```

//zīmi pēc zīmes nolasa (read) klienta pieprasījumu un savirknē (+c)
stringā

    char c = client.read();
    if(readString.length() < 50) {
        readString +=c; }
// beidzoties klienta pieprasījumam, ko bieži nosaka jaunas līnijas
(newline)zīme '\n', nosaka speciālas zīmes pozīciju stringā.
    if (c == '\n') {
        pos = readString.indexOf('=');
        //nosakot pozīciju, iespējams noteikt zīmes pirms vai pēc šīs pozīcijas
(pos+1 u.t.t vai pos-1 u.t.t. Tādejādi atšifrē klienta pieprasījumā kodēto
informāciju

        if( pos > 0) {
            simti = readString.charAt(pos+1) - 48;
            desmiti = readString.charAt(pos+2) - 48;
            vieni = readString.charAt(pos+3) - 48;
// dzēš iepriekšējo vērtību
            value = 0;
// zinot vērtības un to svarus iespējams atrast skaitli
            value = 100*simti + 10*desmiti + vieni;
// elektordzinēja vadības speciālais simbols "D"
            if(readString.charAt(pos-1) == 'D'){
                if(readString.charAt(pos+1) == 'y') digitalWrite(driveON, HIGH);
                    if(readString.charAt(pos+1) == 'n') {
                        digitalWrite(driveON, LOW);
                        analogWrite(load, 0); }
                    else {
                        driveValue = value;
                        analogWrite(drive, driveValue); } }
// ģenerators (slodzes) vadības speciālais simbols "L"
                if(readString.charAt(pos-1) == 'L') {
                    loadValue = value;
                    analogWrite(load, loadValue); }
// soļu dzinēja vadības speciālais simbols "S"
                    if(readString.charAt(pos-1) == 'S') {
                        if(readString.charAt(pos+1) == 'y') digitalWrite(stepON, HIGH);
                            if(readString.charAt(pos+1) == 'n') digitalWrite(stepON, LOW);
                                if(readString.charAt(pos+1) == 'F') digitalWrite(dir, HIGH);
                                    if(readString.charAt(pos+1) == 'B') digitalWrite(dir, LOW);
                                        if(readString.charAt(pos+2) == '0') {
//komanda soļu dzinēja kustībai, saskaņā ar Allegro interpretatoram
nepieciešamajām komandām
//komanda soļu dzinēja kustībais ar pilnu soli
                            if(readString.charAt(pos+3) == '0') {
                                digitalWrite(stepM1, LOW);
                                digitalWrite(stepM2, LOW); }

```

```

//komanda soļu dzinēja kustībais ar 1/2 soli
    if(readString.charAt(pos+3) == '1') {
//komanda soļu dzinēja kustībais ar 1/2 soli
        digitalWrite(steperM1, HIGH); //1/2
        digitalWrite(steperM2, LOW); } }
    if(readString.charAt(pos+2) == '1') {
        if(readString.charAt(pos+3) == '0') {
//komanda soļu dzinēja kustībais ar 1/4 soli
            digitalWrite(steperM1, LOW); //1/4
            digitalWrite(steperM2, HIGH); }
        if(readString.charAt(pos+3) == '1') {
//komanda soļu dzinēja kustībais ar 1/8 soli
            digitalWrite(steperM1, HIGH); //1/8
            digitalWrite(steperM2, HIGH); } }
//nosaka soļu dzinēja soļu veikšanas ātrumu (freq)
        freq = readString.charAt(pos+5) - 48; }
//komanda "G" soļu dzinēja kustībai noteikti soļu skaitu (stepcount)
    if(readString.charAt(pos-1) == 'G') {
        stepcount = value*2;
        i = 0;
        while(i < stepcount) {
            digitalWrite(stepGo, HIGH);
            delay(freq);
            digitalWrite(stepGo, LOW);
            delay(freq);
            i++; } }
    delay(1);
// izvada datus internetā kā vienkāršu standarta HTML lapu
    client.println("HTTP/1.1 200 OK");
    client.println("Content-Type: text/html");
    client.println();
    client.print("<body> <head> </head>");
    if(digitalRead(driveON) == HIGH) {
        client.print("LED= "); client.print(ledValue);
        client.println("<br />");
        client.print("Vcc: "); client.print(WVcc[1]);
        client.print(WVcc[2]); client.print(".");
        client.print(WVcc[3]); client.print("V");
        client.println("<br />");
        client.print("Drive: ");
        client.print(WdriveU[1]);
        client.print(WdriveU[2]); client.print(".");
        client.print(WdriveU[3]); client.print("V, ");
        client.print(WdriveI[1]); client.print(WdriveI[2]);
        client.print(WdriveI[3]); client.print("mA, ");
        client.print("RPM: ");
        client.print(Wenco[1]); client.print(Wenco[2]);

```

```

    client.print(Wenco[3]); client.print(Wenco[4]);
    client.println("<br />");
    client.print("Load: ");
    client.print(WloadU[1]); client.print(WloadU[2]);
    client.print(".");
    client.print(WloadU[3]); client.print("V, ");
    client.print(WloadI[1]); client.print(WloadI[2]);
    client.print(WloadI[3]); client.print("mA"); }
    if(digitalRead(stepON) == HIGH) client.print("Step motor: ");
    if(digitalRead(steperM1) == LOW && digitalRead(steperM2) == LOW)
client.print("Full step");
    if(digitalRead(steperM1) == HIGH && digitalRead(steperM2) == LOW)
client.print("1/2 step");
    if(digitalRead(steperM1) == LOW && digitalRead(steperM2) == HIGH)
client.print("1/4 step");
    if(digitalRead(steperM1) == HIGH && digitalRead(steperM2) == HIGH)
client.print("1/8 step");
    if(digitalRead(dir) == HIGH) client.print(" Clockwise");
    if(digitalRead(dir) == LOW) client.print(" Anti-Clockwise"); }
    client.println("<br />");
    client.println("</body></html>");
// dzēš stringā uzkrātos datus
    readString="";
    Serial.flush();
    delay(5);
// beidz savienojumu ar klientu
    client.stop(); } } } } }
// viens cikls ir beidzies un sāk ciklu no jauna (loop)
}

```