

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

Igors UTEŠEVS

**ELEKTRISKĀ SLIEŽU TRANSPORTA IEBUVĒTĀS BEZVADU
BREMZĒŠANAS IEKĀRTAS VADĪBAS ALGORITMU IZSTRĀDE,
IZMANTOJOT POZICIONĒŠANAS INFORMĀCIJAS SISTĒMAS**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2010

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

Igors UTEŠEVŠ

**ELEKTRISKĀ SLIEŽU TRANSPORTA IEBUVĒTĀS BEZVADU
BREMZĒŠANAS IEKĀRTAS VADĪBAS ALGORITMU IZSTRĀDE,
IZMANTOJOT POZICIONĒŠANAS INFORMĀCIJAS SISTĒMAS**

Promocijas darba kopsavilkums

**Zinātniskais vadītājs
Dr.sc.ing., profesors
A. Ļevčenkovs**

Rīga 2010

UDK

Uteševs I. Elektriskā sliežu transporta iebūvēto
bezvadu bremzēšanas iekārtas vadības algoritmu
izstrāde izmantojot pozicionēšanas informācijas
sistēmas

Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU, 2010.- 31
lpp.

Iespiests saskaņā ar IEE institūta 2010.gada 13. jūlijā
lēmumu, protokols Nr.28



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

ISBN

PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS
TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2010. gada 21. decembrī. Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, 117. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Asoc. profesors, Dr.sc.ing. Mareks Mezītis
Rīgas Tehniskā universitāte

Asoc. profesors, Dr.sc.ing. Anastasija Žiravecka
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors, Dr.sc.ing. Žilvinas Bazaras
Kauņas Tehnoloģiskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Igors Uteševs(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 8 pielikumus, 45 zīmējumus un ilustrācijas, kopā 139 lappuses. Literatūras sarakstā ir 193 nosaukumi.

SATURS

Darba mērķis un uzdevumi	7
Pētījuma metodes un līdzekļi	8
Darba zinātniskā novitāte	8
Darba aprobācija	8
Autora publikācijas	9
Promocijas darba saturs	10
Ievads	10
Elektrotransporta bremzēšanas sistēmas vadības uzdevumu nostādne.....	11
Elektrotransporta iebūvētās bezvadu iekārtas algoritmi	15
Bremžu vadības procedūras STL listing	21
Neironu tīkli elektriskās izolācijas diagnostikas uzdevumam	21
Elektriskās shēmas un iebūvētās bezvadu iekārtas	22
Izstrādāto modeļu un algoritmu eksperimentālo pētījumu rezultāti	22
Darba secinājumi	23
Izmantotās literatūras saraksts	24

VISPĀRĪGS DARBA RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Promocijas darbā tiek piedāvāti risinājumi šādiem uzdevumiem:
izstrādāt elektrotransporta automātiskās vadības modeli ekstremālās bremzēšanas režīmā;
izstrādāt izolācijas moderno kontroles metožu modeļus un elektroiekārtu izolācijas stāvokļa kontroles algoritmu elektrotransporta bremzēšanas režīmā, izmantojot mākslīgo neironu tīklu iespējas.

Darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir izstrādāt modernos algoritmus elektrotransporta bremzēšanas sistēmu vadībai un diagnostikai.

Darba procesā tiek atrisināti šādi uzdevumi:

- izstrādāta metode vilciena bremzēšanas automātiskās vadības sistēmas uzlabošanai, kura ļaus noteikt vilciena atrašanās vietu un veikt vilciena apturēšanu pirms luksofora aizliedzošā signāla;
- izstrādāta vilciena bremzēšanas parametru aprēķina uzlabotā metode, kura ļaus kontrolēt vilciena kustības ātrumu, masu, atrašanās vietu un ceļa profilu;
- izstrādāta elektroizolācijas stāvokļa diagnostikas metode, kura atšķirībā no esošajām metodēm ļauj realizēt lokomotīves vilces elektrodzinēju izolācijas stāvokļa kontroli ekstremālas bremzēšanas režīmā reālā laikā bez atslēgšanas no tīkla;
- izstrādāts elektrotehnisko iekārtu darbības modelis lokomotīves bremzēšanas režīmā, kurš atšķirībā no esošajiem modeļiem ļauj salīdzināt dažādus procesus un algoritmus iebūvētām intelektuālajām sistēmām;
- izstrādāta metode vilciena bremzēšanas automātiskās vadības sistēmas uzlabošanai, kura ļaus noteikt vilciena atrašanās vietu un realizēt vilciena apturēšanu pirms luksofora ar kustību aizliedzošu signālu;
- izstrādāta vilciena bremzēšanas parametru aprēķina uzlabota metode, kura ļaus kontrolēt vilciena kustības ātrumu, masu, atrašanās vietu un ceļa profilu;

- izstrādāta elektroizolācijas stāvokļa diagnostikas metode, kura atšķirībā no eksistējošām metodēm ļauj realizēt lokomotīves vilces elektrodzinēju izolācijas stāvokļa kontroli reālā laika režīmā bez atslēgšanas no tīkla;
- izstrādāts elektrotransporta automātiskās vadības modelis ekstremālās bremzēšanas režīmā;
- izstrādāts moderns elektrotransporta izolācijas kontroles metodes modelis un elektrotransporta elektroiekārtu izolācijas stāvokļa kontroles algoritms ekstremālās bremzēšanas režīmā, izmantojot mākslīgo neironu tīklu iespējas.

Pētījuma metodes un līdzekļi

Darbā tiek izmantotas šādas teorētiskas un praktiskas metodes:

- datormodelēšana SIMULINK vidē;
- daudzkritēriju optimizācijas metode;
- klasterizācijas analīze;
- matemātiskās modelēšanas metode;
- matemātiskās statistikas metode;
- moderna lēmumu pieņemšanas teorija;
- neironu tīkli;
- sistēmu analīze.

Darba zinātniskā novitāte

- Darbā tiek izstrādāta uzlabota elektrotransporta bremzēšanas automātiskās vadības sistēma, kura, atšķirībā no eksistējošām ļauj noteikt elektrotransporta atrašanās vietu un realizēt elektrotransporta apturēšanu pirms luksofora ar aizliedzošu signālu, pielietojot Pozicionēšanas informācijas sistēmu.
- Darbā tiek izstrādāta elektrotransporta bremzēšanas parametru aprēķina uzlabotā metode, kura atšķirībā no esošās ļauj kontrolēt elektrotransporta kustības ātrumu, masu, atrašanās vietu un ceļa profilu, pielietojot Pozicionēšanas informācijas sistēmu.
- Darbā tiek izstrādāta jauna elektroizolācijas stāvokļa diagnostikas metode, kura atšķirībā no eksistējošām metodēm ļauj realizēt elektrotransporta vilces elektrodzinēju izolācijas stāvokļa kontroli reālā laikā ekstremālā bremzēšanas režīmā pēc daļējas izlādēšanās intensitātes bez dzinēja atslēgšanas no tīkla.
- Darbā tiek izstrādāts elektrotehnisko iekārtu darbības modelis elektrotransporta bremzēšanas režīmā, kurš atšķirībā no eksistējošiem modeļiem ļauj salīdzināt dažādus procesus un algoritmus iebūvētām intelektuālajām sistēmām.

Piedāvātos modeļus un algoritmus var izmantot Latvijas Dzelzceļa tīkls.

Darba aprobācija

Darba rezultāti tika prezentēti un apspriesti starptautiskās zinātniskajās konferencēs:

1. The 18th International Conference on Multiple Criteria Decision Making. Chania, Greese, 19.-24. jūnijā 2006.

2. ECAD/ECAE 2006 2nd International Conference on Electrical/Electromechanical Computer Aided Design & Engineering 12.-13. oktobrī 2006. gadā Štutgartē.
3. EURNEX-Zel 2007 The 2th International Scientific Conference, Zilina, Slovakia, 30-31. maijā 2007. g.
4. The IEEE EUROCON 2007, Varšavā, Polijā, 2007.g. 9.-13. Septembrī.
5. The 48th International Scientific Conference of Riga Technical University Rīgā 2006. gada 11.-13. oktobrī.
6. EURNEX-ZEL 2008 “Towards sustainable and competitive European rail system “International Scientific Conference, Žilina, Slovak Republic, 2008.
7. 6th International Symposium „Topical Problems in the field of Electrical and power Engineering”, Kuressaare, Estonia, January 12-17 , 2009
8. „Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS’2009)”, June 4-5, Panevezys, Lietuva, 2009
9. The 50th International Scientific Conference “Power and Electrical Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia, 2009.
10. The 8th International Symposium “Topical Problems in the field of Electrical and power Engineering”, Pjarnu, Estonia, January 11-16, 2010
11. The practical workshop “Intelligent systems for electric vehicies” in the Virumaa College of Tallinn University of Technology, 15-18 March 2010
12. The practical workshop “Intelligent systems for electric vehicies” in the Virumaa College of Tallinn University of Technology, 07-08 April 2010

Autora publikācijas

1. Uteševs I., Levčenkovs A., Kunicina N., Gorobecs M. „Modelling of group decision making for electrical process control in mechatronic systems”, MCDM 2006, book of abstract Chania, Greese, 2006, 209 p.
2. Uteševs I., Levčenkovs A., Kunicina N., Gorobecs M . “Intelligent Agents Networks for Power Processes Control in Mechatronics Systems”, ECAD/ECAE 2006 Electrical/Electromechaical Computer Aided Design & Engineering, Stuttgart, Germany, 2006
3. Uteševs I., Levčenkovs A., Vinogradova B., Ziravetska A., „Intelligent Network of Substation for Safety Power Supply for Electrical Railway”, EURNEX-Zel 2007 The 2th International Scientific Conference, Žilina, Slovak Republic, 2007
4. Uteševs I., Levčenkovs A., Kunicina N., Gorobecs M “Modelling of Intelligent Devises for Energy Distribution Control ”, The IEEE EUROCON 2007, Warsaw, Poland, 2007.
5. Uteševs I., Levčenkovs A., “Intelligent electrical network for safety of electrical railway ”, The 48th International Scientific Conference of Riga Technical University, 2007
6. Uteševs I., Levčenkovs A., Balckars P., Gorobecs M “Classification of the basic types of the electrical substations ”, The 48th International Scientific Conference of Riga Technical University, 2007

7. Uteševs I., Levčenkovs A., Balckars P "Modelling of neural controller for railway extremal electrical braking", EURNEX-ZEL 2008 "Towards sustainable and competitive European rail system "International Scientific Conference, Žilina, Slovak Republic, 2008
8. Uteševs I., Levčenkovs A., Balckars P "Modelling of neural controller for railway traction substations", Шестая Международная научно-практическая конференция „Исследование, разработка и применение высоких технологий а промышленности”, Санкт-Петербург, 2008.
9. Uteševs I., Levčenkovs A., Gorobecs M. "The clustering analysis for evaluating state of the insulation for intelligent electrical networks". Intelligent Technologies in logistics and mechatronics systems ITELMS 2008. Kauno Technologijos Universitetas , Lithuania, 2008 .
10. Uteševs I., Levčenkovs A., „ The analisis of the artificial neuron networks method for the modelling of the voltage network”, 6th International Symposium „Topical Problems in the field of Electrical and power Engineering”, Kuressaare, Estonia, January 12-17 , 2009
11. Uteševs I., Levčenkovs A., „Modeling of overheat process control of electric motor”,. The 50th International Scientific Conference "Power and Electrical Engineering", Riga Technical University, Riga, Latvia, 2009.
12. Uteševs I., Levčenkovs A., Gorobecs M. „Target train braking system modeling”, The 8th International Symposium "Topical Problems in the field of Electrical and power Engineering", Pjarnu, Estonia, January 11-16 , 2010, 99 -104p.
13. Patents Nr. LV 14187 B. Vilciena bremzēšanas ceļa noteikšanas iekārta. Anatolijs Ļevčenkovs, Mihails Gorobecs, Jānis Greivulis, Igors Uteševs, Pēteris Balckars, Leonīds Ribickis, Ilja Korago, Vitalijs Stupins, Sergejs Holodovs. Rīgas Tehniskā universitāte, Latvijas Dzelzceļš. 26.05.2010.

Promocijas darba saturs

Ievads

Literatūras apraksts

Elektrotransporta bremzēšanas sistēmas vadības uzdevumu nostādne

Elektrotransporta iebūvētās bezvadu iekārtas bremzēšanas metožu izstrāde

Elektriskās shēmas un iebūvētās bezvadu iekārtas

Izstrādāto modeļu un algoritmu eksperimentālo pētījumu rezultāti

Darba secinājumi

Literatūras saraksts

Pielikumi

Ievads

Vilcienu kustības drošības nodrošināšanas sistēmas uzdevums ir bīstamu situāciju novēršana vadītāja kļūdu vai vilciena vadības sistēmas atteices dēļ. Par bīstamu situāciju pirmkārt var uzskatīt braukšanu uz luksofora aizliedzošo signālu un maksimāli pieļaujamā ātruma pārkāpšanu. Tādai sistēmai ir jāstrādā nevainojami arī tādā gadījumā, ja tai pašai ir atteice. Sistēma arī var lielā mērā vienkāršot vadītāja darbu un atļaut vadīt vilcienu, pamatojoties nevis uz mašīnista esošās situācijas subjektīvu novērtējumu, bet uz precīzu lēmumu izvēli konkrētos apstākļos.

Automātika, ko izmanto dzelzceļa transports, nodrošina vilcienu kustības drošību. Tomēr pēdējos gados uz Latvijas un pasaules dzelzceļiem ir notikušas vairākas lielas katastrofas ar bojāgājušajiem un radījušas lielus materiālos zaudējumus.

Cēloņus vilcienu braukšanai garām aizliedzošam signālam un citu vilcienu vadīšanas noteikumu neievērošanu var iedalīt šādi:

- Mašīnistu modrības zudums30%
- Mašīnistu brigādes modrības zudums.....15%
- Kļūdaina signāla novērtēšana.....13%
- Novēlota bremsēšanas sistēmu ieslēgšana vai to nepareiza vadība.....12%
- Izbraukšana no nekodēta ceļa.....10%
- Braukšana ar bojātām vai atslēgtām automātikas ierīcēm s.....9%
- Brigādes nespēja vadīt vilcienu.....6%
- Neefektīvas bremzes.....5%

Analizējot datus, var secināt, ka 70% gadījumu aizlieguma signālu neievērošana rodas, ja tehniskie līdzekļi atrodas tehniskā kārtībā, bet kļūdas savā darbā pieļauj mašīnistu brigāde. Citiem vārdiem sakot, šādos gadījumos izšķirošā loma ir cilvēka faktoram.

Vilcienu bremžu sistēmas ļauj bremzēt, arī braucot maksimālā ātrumā, lai pilnīgi apturētu vai samazinātu ātrumu līdz nepieciešamajam minimumam, bet bremsēšanas ceļš var būt vairāki tūkstoši metru. Turklāt bremsēšanas ceļa garumu var ietekmēt dažādi faktori, kas var tikai pasliktināt situāciju.

Ne mazāka nozīme ir jau minētajam cilvēka faktoram, kad mašīnistu ierobežotās iespējas neļauj vizuāli pārraudzīt situāciju uz ceļa dažu tūkstošu metru attālumā, kā arī nepamatotu laika zaudējumu dēļ, tiek pārkāpts braukšanas grafiks, radot bīstamas situācijas.

Tieši kustības grafika neievērošana tika atzīta par vienu no galvenajiem iemesliem katastrofai, kas notika pie Centrālās dzelzceļa stacijas Rīgā, kad elektrovilciens ieradās stacijā un sadūrās ar pasažieru vilcienu, kas izbrauca uz depo.

Lai paaugstinātu satiksmes drošību, ir nepieciešamas intelektuālās automātiskās ierīces, kuras veiks pastāvīgu vilcienu ātruma un ceļa kontroli, lai noteiktu, kur un kad nepieciešams pāriet bremsēšanas režīmā, tās intensitāti un to vietu ceļā, kur vilcienam jāapstājas, lai garantēti izvairītos no avārijas, sadursmes vai citāda nelaimes gadījuma.

Elektrotransporta bremsēšanas sistēmas vadības uzdevumu nostādne

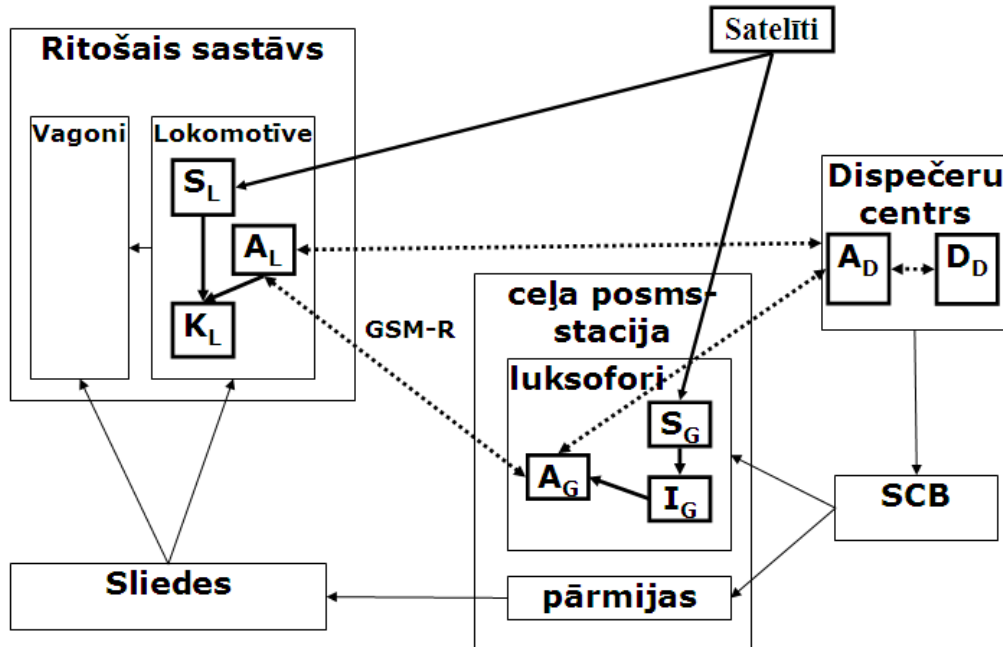
Pirmajā nodaļā tika aplūkotas elektrotransporta kustības galvenās fāzes, esošie elektrotransporta bremsēšanas pamatprincipi, dots pamatojums automātiskās bremsēšanas nepieciešamībai un automātiskās bremsēšanas sistēmas struktūra. Nodaļā tiek iedota uzdevuma nostādne elektrotransporta automātiskās bremsēšanas jaunai bezvadu vadības sistēmai, pielietojot Pozicionēšanas informācijas sistēmu.

Elektrotransporta automātiskās bremsēšanas sistēmas elementi:

- satelīta navigācijas uztvērēji luksoforiem S_G un lokomotīvēm S_L ;
- bezvadu signālu pārraides antenas luksoforiem A_G , dispečeru centram A_D un lokomotīvēm A_L ;
- iekārta signālu ģenerēšanai luksoforam I_G ;
- iekārta bremžu sistēmas vadībai lokomotīvē K_L .

1. attēla shēmā tiek parādīta elementu mijiedarbība jaunai elektrotransporta automātiskās bremsēšanas vadības sistēmai - uzdotajās koordinātās uzdotajā laika momentā

elektrotransporta uzdotajā ātrumā noteikt bremsēšanas sākuma punktu tā drošai apstādināšanai noteiktā attālumā punktā ar noteiktām koordinātām pirms luksofora ar konkrētām koordinātām un aizliedzošo signālu bez mašīnista iejaukšanās.

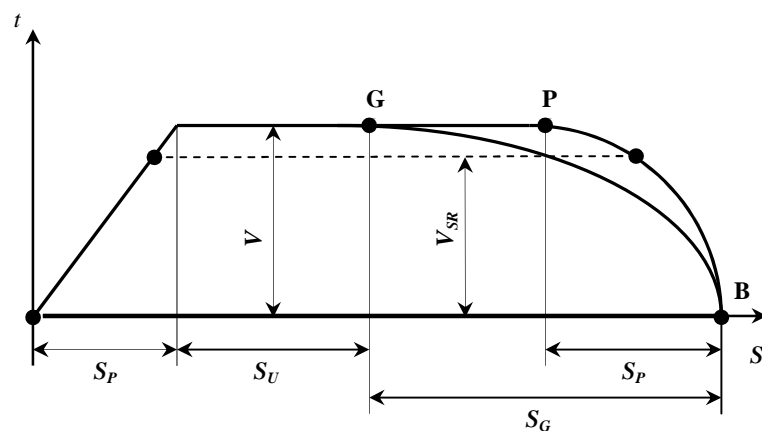


1.att. Elementu mijiedarbības shēma

Elektrotransporta izvietošanas atrašanās vietu ceļā un ātrumu kontroli ar satelītu sistēmu, kā arī luksofora atrašanās vietu un luksofora signālu un nodod informāciju dispečera punktam stacijā. Vilciens tiks apstādīnāts noteiktā punktā trijos gadījumos: ja uz dzelzceļa ir šķērslis, ja luksoforā deģ aizliedzošais signāls, ja transportlīdzekļa mašīnists zaudēs vadību.

Elektrotransporta kustības vadība

Vadot vilciena sastāvu, ir nepieciešams apskatīt galvenās elektrotransporta kustības fāzes pa ceļa posmiem.



2.att. Elektrotransporta ceļa posma kustības fāzes

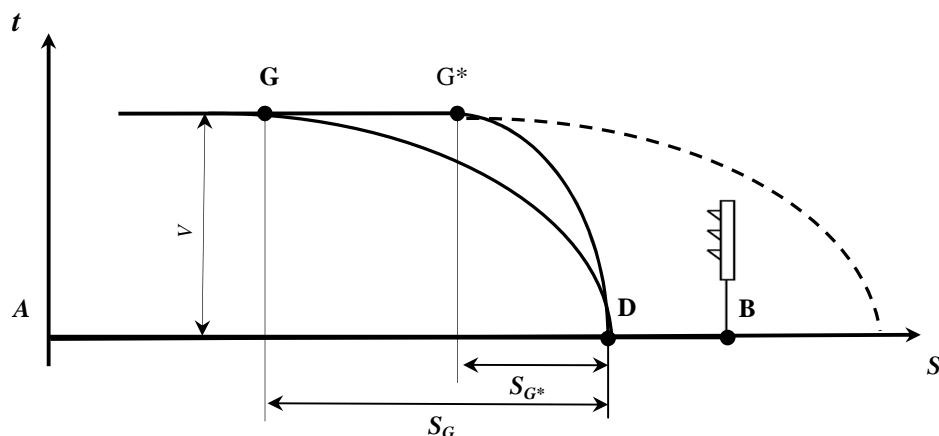
2. attēlā ir parādīts ceļš, kuru elektrotransports veica starp punktu A un B, un to var iedalīt četrās galvenajās fāzēs:

1. Ceļš posmā S_R ir elektrotransporta paātrinājuma ceļš. Paātrinājuma ceļš ir atkarīgs no elektrotransporta jaudas un sastāva masas.
2. Ceļš posmā S_V ir stacionārs, jo elektrotransports kustas ar šajā posmā noteikto stacionāro ātrumu, kurš ir atkarīgs no elektrotransporta jaudas, ceļa profila, un ar elektrotransporta bremsēšanas sistēmām tiek noteikta apstāšanās nodrošināšana punktā B vai pirms luksofora ar aizliedzošu signālu.
3. Ceļš posmā S_G ir bremsēšanas ceļš kravas vilcienu sastāvam.
4. Ceļš posmā S_P ir bremsēšanas ceļš pasažieru vilcienu sastāvam.

Kustības maksimālais ātrums tiek noteikts, izejot no maksimālā bremsēšanas ceļa. Tā, piemēram, ar vienu un to pašu ātrumu kravas elektrotransporta bremsēšanas sistēmu ir jāiedarbina punktā G ātrāk, nekā pasažieru elektrotransportam punktā P . Bremsēšanas ceļa garums ir atkarīgs no sastāva kustības ātruma, tā masas, ceļa profila un bremsēšanas sistēmu darba efektivitātes. Tādējādi ar efektīvākām bremsēšanas sistēmām bremsēšanu var sākt vēlāk un braukt pa ceļu ar augstāku tehnisko ātrumu v_{SR} .

3. attēlā tiek parādīta elektrotransporta bremsēšanas sākumpunkta noteikšana ceļa posmā:

1. Punkts A - atiešanas stacija.
2. Punkts B - luksofora ar aizliedzošu signālu atrašanās vieta.
3. Punkts D - elektrotransporta aprēķinātās apturēšanas vieta pirms luksofora ar aizliedzošu signālu.
4. Punkts G - elektrotransporta bremsēšanas sākuma punkts, kad bremsēšanas sistēmu iedarbina vadītājs. Līkne GD raksturo elektrotransporta bremsēšanas ceļu pēc tam, kad bremsēšanas sistēmu iedarbina vadītājs.



3.att. Elektrotransporta bremsēšanas sākumpunktu noteikšana ceļa posmā

5. Punkts G^* - elektrotransporta bremsēšanas sākuma punkts, kad bremsēšanas sistēmu iedarbina bremsēšanas avārijas sistēma. Līkne G^*D raksturo

elektrotransporta bremsēšanas ceļu pēc tam, kad bremsēšanas sistēmu iedarbina bremsēšanas avārijas sistēma.

6. Ar punktēto līniju tiek parādīts elektrotransporta ceļš gadījumā, kad vadība neiedarbojas uz bremsēšanas sistēmu.

Elektriskās piedziņas funkcionālās atkarības

Sprieguma funkcionālās [19] : $U = f(E_a, I_a, \sum R)$; Strāvas funkcionālās
 $I_a = f(U, E_a, \sum R)$; Jaudas funkcionālās: $E_a I_a = f(p, N, a, \Phi, I_a \omega) = f(M, \omega) = P_{em}$;
 $UI_a = f(E_a, I_a, \sum R) = f(M, \omega, I_a, \sum R)$; EDS : $E = f(c_e, n, \Phi, \omega, I_a, U_a, N, a)$;

Rotācijas frekvence: $n = f(c_e, \Phi, U, I_a, \sum R)$; I_a atkarībā no M ; $I_a = f(M)$; Moments:
 $M = f(J, \omega, t)$; Inerce: $J = f(G, D)$;

Vilcējmašīnu elektriskie bremsēšanas režīmi

Dinamiskais bremsēšanas režīms

Dinamiskās bremsēšanas režīmā dzinēja jaudas ķēdes zudumi notiek, tikai konvertējot elektroenerģiju : $P_M = \Delta P$; Dinamisko bremsēšanu pielieto, enkuru atslēdzot no tīkla un pieslēdzot to speciālam bremsēšanas reostatam ar pretestību R_{br} , bet ierosmes tinumu atstājot pievienotu tīklam. Tā kā ar dzinēja vārpstu saistīto rotējošo daļu kinētiskā enerģija turpina griezt dzinēja enkuru sākotnējā virzienā, tad dzinējs darbojas kā neatkarīgas ierosmes ģenerators. Ražotā elektriskā enerģija tiek patērēta enkura ķēdē. Šīs strāvas vērtība [19]:

$I_a = -\frac{R_a + R_{pr}}{C_E C_M \Phi^2} M$; Paralēlas ierosmes dzinējs dinamiskās bremsēšanas režīmā strādā,

ievērojot pretestību R_{br} : $n = -\frac{R_a + R_{br}}{C_E C_M \Phi^2} M$; Dzinējs ģenerators režīmā. Šā režīma galvenā

īpatnība ir rekuperatīvā bremsēšana. Tad jaudas bilance ir šāda : $P_M = P_E + \Delta P$;

Rekuperatīvās bremsēšanas režīms

Pāreja no dzinēja režīma uz rekuperatīvo bremsēšanu ir iespējama, kad dzinēja ātrums pārsniedz tukšgaitas ideālo ātrumu pie $M=0$. Rekuperatīvās bremsēšanas režīmā kontaktu tīkla slodze ir vienāda ar tīklam atdodamo enerģiju [147] : $U_{Sl} = U_{Tīkl} = const$; tad $\frac{dU}{dI} = 0$; un

$\frac{dE}{di} < 0$; Spriegumu līdzsvaru vienādojums : $e_{ier} = I_{ier}(r_{ier} + r_v) + (I_{en} + I_{ier})r_C$; Ierosinājuma

strāva: $I_{ie} = \frac{e_{ie} - I_{en} r_s}{r_{ie} r_s r_v}$; EDS : $E_M = C\Phi V$; Enkura ķēžu sprieguma līdzsvara vienādojums :

$U_C = E_M - I_{en} r_{en} - (I_{en} + I_{ier})r_C$;

Reostatu bremsēšanas režīms $\left\{ \begin{array}{l} V = \frac{I(r_E + r_R)}{C\Phi} ; \\ B = \frac{C\Phi^2 V}{(r_E + r_R)\eta_F} ; \end{array} \right.$

Pretslēguma bremžu režīms

Šajā režīmā motors izmanto mehānisko enerģiju no vārpstas un elektrisko enerģiju no tīkla.

Vienādojums, kas nosaka kopējo enerģiju : $P_M + P_E = \Delta P$;

Pretslēguma bremzēšanu var realizēt divējādi:

- ar pārslēgu, izmainot dzinēja enkuru pievadītā sprieguma polaritāti un reizē ar to arī strāvas un elektromagnētiskā momenta M darbības virzienu;
- ļaujot piedzenamā mehānisma uzkrātajai kinētiskajai enerģijai griezt tīklam pieslēgtā dzinēja enkuru pretēji tā griešanās virzienam dzinēja darba režīmā.

Enkura strāva [19]: $I_a = \frac{-U - E_a}{R_a + R_p} = -\frac{U + E_a}{R_a + R_p}$; Virziens ir pretējs sākotnējam, tāpēc

dzinējs attīsta negatīvu elektromagnētisko momentu.

Otrajā gadījumā bremzēšanas režīms iestājas, ja piedzenamā mehānisma statiskais moments M_{stat} ir lielāks par dzinēja griezes momentu M . Sprieguma vienādojumi vilces režīmā: $U_c = C\Phi V + Ir$; Rekuperācijas režīmā : $C\Phi V = U_c + Ir_D$;

Daudzkriteriālas bremzēšanas mērķa funkciju definēšana:

$$S_T = \frac{v_0 t_n}{3,6} + \sum \frac{500(v_N^2 - v_K^2)}{\zeta(w_{ox} + b_m + i_c)} \rightarrow \max ; t_m = t_p + \sum_{i=1}^n \frac{v_n - v_k}{3,6 \cdot \varepsilon_i} \rightarrow \max ; v = v_0 + \int_0^t a \hat{d}t \rightarrow 0 ;$$

$0,6 \leq \varepsilon_i = \frac{v_n^2 + v_k^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot \Delta S_p} \leq 0,8$; kur: S_T - kopējais bremzēšanas ceļš; t_m - kopējais vilciena bremzēšanas laiks; v - vilciena ātrums; ε_i - vidējā palēninājuma vērtība;

Normalizācijas funkcijas

Mērķa funkciju maksimālās vērtības ir: $S_{T_{MAX}}$, $t_{m_{MAX}}$, v_{MAX} , $\varepsilon_{i_{MAX}}$;

Atbilstoši vērtību normalizācijai: $S_{T_{MAX}} = \frac{S_{T_{MAX}} - S}{S_{T_{MAX}}}$; $t_{m_{max}} = \frac{t_{m_{MAX}} - t_m}{t_{m_{MAX}}}$; $v_{MAX} = \frac{v_{MAX} - v}{v_{MAX}}$;

$$\varepsilon_{i_{MAX}} = \frac{\varepsilon_{i_{MAX}} - \varepsilon_i}{\varepsilon_{i_{MAX}}} ;$$

Mērķa funkcijas pamato izstrādāt modernos algoritmus vilciena bremzēšanas sistēmu vadībai un diagnostikai, izmantojot neironu tīklu teoriju, klasterizācijas analīzi un matemātiskās modelēšanas metodi.

Elektrotransporta iebūvētās bezvadu iekārtas algoritmi

Otrā nodaļa satur elektrotransporta bremzēšanas parametru aprēķina principus, pielietojot Pozicionēšanas informācijas sistēmu. Šajā nodaļā ir izstrādāts bremzēšanas matemātiskais modelis, ievērojot elektrotransporta masas sadalījumu, tiek analizēta elektrotransporta masas ietekme uz elektrotransporta bremzēšanas procesu ar Pozicionēšanas

informācijas sistēmu. Nodaļā izstrādāts elektrotransporta bremsēšanas režīma vadības jaunais modelis, pielietojot Pozicionēšanas informācijas sistēmu. Izstrādāta elektrotransporta elektroiekārtu izolācijas diagnostikas metode, bremsēšanas režīmā izmantojot iebūvētās iekārtas.

Vilciena bremsēšanas algoritms

1. solis Sagatavošanās bremsēšanas ceļa inicializācija
2. solis Ceļa slīpumu koeficienta noteikšana
3. solis. Kopējā bremsēšanas koeficienta noteikšana
4. solis Galvenās pretestības noteikšanas procedūra kustībai tukšgaitā
5. solis Kopējā bremsēšanas koeficienta noteikšana

Bremsēšanas ceļš sastāv no sagatavošanās un reālā posma: $S_T = S_p + S_D$;

6. solis pāriet uz 1.soli.

Vilciena bremsēšanas jauda jānosaka, ņemot vērā bremžu kļuču faktisko spiediena spēku uz vilcieniem riteņiem. Faktiskais berzes koeficients atkarīgs no bremžu kļuču materiāla.

Čuguna bremzes kļučus sakarā ar [145] raksturo šāds berzes koeficients:

$$\varphi_K = 0,6 \frac{16K + 100}{80K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100};$$

čuguna bremzes kļučiem ar fosfora saturu 1,0-1,4% piemīt šāds

berzes koeficients: $\varphi_K = 0,5 \frac{16K + 100}{52K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100}$; bremzes kļučiem no kompozīta materiāliem

piemītošo berzes koeficientu nosaka pēc izteiksmes: $\varphi_K = 0,44 \frac{K + 20}{4K + 100} \cdot \frac{v + 100}{2v + 100}$;

Bremžu kļuču bremsēšanas spēka aprēķini. Standarta čuguna bremzes kļučiem:

$$K_p = 2,22K \frac{16K + 100}{80K + 100};$$

čuguna bremzes kļučiem ar fosfora saturu 1,0-1,4%

$$K_p = 1,85K \frac{16K + 100}{52K + 100};$$

bremzes kļučiem no kompozīta materiāliem: $K_p = 1,22K \frac{K + 20}{4K + 20}$;

Kopējais bremsēšanas koeficients sakarā ar [145]: $\varrho_{PO} = \frac{\sum K_p}{Q + P_u}$. Galvenā pretestība

kustībai tukšgaitā $W_{Ox} = W_{O1} + N \cdot W_{Oc}$; kur N - vagonu skaits. Lokomotīve bez vilces:

$$W_{O1} = 24 + 0,11v + 0,0035v^2; \text{ kravas vagoni: } w_{Oc} = 7 + \frac{a + v + 0,025v^2}{q_0}; \text{ pasažieru vagoni:}$$

$$w_{Oc} = 12 + 0,12v + 0,002v^2; \text{ kopējais vilciena bremsēšanas laiks: } t_m = t_p + \sum_{i=1}^n \frac{v_n - v_k}{3,6 \cdot \varepsilon_i}.$$

Tā kā laika intervālā Δt bremžu spēks un īpatnējā pretestība ω_{Ox} vilciena kustībai ir pieņemti kā konstanti, tad ātruma pieaugumu var noteikt pēc izteiksmes:

$$\Delta v = \frac{\xi(b_T + \omega_{Ox} + i_c)\Delta t}{3600};$$

Bremsēšanas spēka izplatīšanās ātrums ir bremsēšanas vilnis [145]: $V_t = \frac{L}{t_t}$; kur: L-

vilciena garums; t_t - laiks no vadītāja rokas celtna pavērsiena momenta līdz spiediena rašanās

bremzēšanas cilindros; gaisa vilnis : $v_v = 20\sqrt{T}$; kur: $T = 273 + t^\circ C$ - gāzes absolūtā temperatūra:

Bremzēšanas ceļš sastāv no sagatavošanās un reālā posmiem: $S_T = S_p + S_D$;

Kur sagatavošanās posms [145]: $S_p = 0,278v_0t_p = \frac{v_0t_n}{3,6}$; reālais posms:

$$S_D = \sum \frac{500(v_N^2 - v_K^2)}{\zeta(w_{ox} + b_m + i_C)}; \text{ tātad kopējais bremzēšanas ceļš: } S_T = \frac{v_0t_n}{3,6} + \sum \frac{500(v_N^2 - v_K^2)}{\zeta(w_{ox} + b_m + i_C)};$$

Vilciena un objekta distances noteikšanas algoritms

1. solis. Distances starp objektiem inicializācija

2. solis . Distances vērtības pārveidošana no grādiem metros

3. solis . Distances definēšana starp vilcieniem un objektiem, ievieojot objektu augstumu virs

Baltijas jūras līmeņa

Distances starp vilcieniem un objektiem izrēķināsim ar formulu:

$$\text{Dist} = \text{SQRT}(\text{Alt}2 + \text{L}2) :$$

4. solis pāriet uz 1. soli.

Vidējā palēninājuma vērtība sakarā ar [151]: $\varepsilon_i = \frac{v_n^2 + v_k^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot \Delta S_p}$;

Vilciena masa

Ja vilciens vienlaikus atrodas uz dažādiem ceļa profiliem, tā kustības vienādojums attiecībā pret ceļu izpaudīsies šādi [144]:

$$Q_v = \frac{-\zeta(B(t, v) + W(v))}{g \left(\frac{dv}{dt} + \frac{\zeta}{l_v} \left(s_0 i_1 + \sum_{j=2}^{m-1} s_j i_j + (l_v - s_0 - \sum_{j=2}^{m-1} s_j) i_m \right) \right)};$$

Vilciena masas noteikšanas procedūras listing STL valodā programmējamam loģikas kontrollerim.

// 1. Elektrotransporta masas noteikšanas procedūra

```

1.1. LD SM0.0 // ir izsaukts katrā ciklā;
1.2. MOVR #F:LD28, AC0 // bremzēšanas spēka lokālais mainīgais;
1.3. -R #Wo:LD32, AC0 // bremzēšanas spēka lokālais mainīgais, atņemt
    no tā īpatnējo pretestību, ierakstīt akumulatorā;
1.4. MOVR AC0, #mass:LD8
1.5. /R AC3, #mass:LD8
1.6. MOVR AR< #mass:LD8, 0.0
1.7. 1E-013, #mass:LD8

```

GPS bloka darbības procedūras iebūvētai iekārtai STL listing

// 1. GPS sistēmas parametru inicializācija.

// Izmantojot S7-200 datu atmiņas blokus, definēt GPS sistēmas telpu parametru mainīgos:

```

1.1. #loc_LatDeg:LW16 // platuma lokālais mainīgais LD, grādos, Long
    Word;
1.2. #loc_LatMin:LD18 // platuma lokālais mainīgais LM, min, baita
    tipa adrese;
1.3. LatDir_RS:VB2006 // virziena globālais mainīgais RS, baita tipa
    adrese;

```

```

1.4. #loc_LongDeg:LW22
1.5. #loc_LongMin:LD24
1.6. LongDir_RS:VB2007
1.7. #loc_AltUnit:LB29
1.8. #loc_Speed:LD30
// 2. Objektu ātruma noteikšana procedūras STL listing
2.1. Jā objekta ātrums  $V \neq 0$ , tad:
    MOVR 0.0, #Speed:LD12 // ātruma lokālais mainīgais SP, double
    tipa adrese;
2.2. Jā objekta ātrums  $V = 0$ , tad pie 3.
// 3. Datus saņemšana no GPS uztvērēja procedūras STL listing
// Definēsim GPS sistēmas laika parametru mainīgos:
3.1. Year:VB2000 // gada globālais mainīgais YR, baita tipa adrese;
3.2. Month:VB2001 // mēneša globālais mainīgais MH, baita tipa adrese;
3.3. Day:VB2002 // dienas globālais mainīgais DY, baita tipa adrese;
3.4. Hour:VB2003
3.4. Minute:VB2004
3.5. Second:VB2005
// 4. Satelītu skaitļu noteikšana, signāla kvalitātes noteikšana procedūras STL listing
// Definēsim GPS sistēmas satelītu skaitļu un signāla kvalitātes parametru mainīgos
4.1. SinView:VB2020 // satelītu globālais mainīgais SAT, baita tipa
    adrese;
4.2. HDOP:VD2030 // Doplera frekvences globālais mainīgais DOP, double
    tipa adrese;
4.3. GPS_FIX:VB2034 // GPS pareizo datu globālais mainīgais FIX, baita
    tipa adrese;
4.4. PSRec_Warnig:V2021.0
// 5. Dispečera stacijas platumu un garumu konvertācija no grādiem uz grādu desmitdaļām un
    simt daļām procedūras STL listing
5.1. #loc_LatDeg:LW16 // platuma lokālais mainīgais LD, grādos, Long
    Word;
5.2. #loc_LatMin:LD18 //platuma lokālais mainīgais LM, min, Long Word;
5.3. LatDir_RS:VB2006 // virziena globālais mainīgais RS, baita tipa
    adrese;
5.4. #loc_LongDeg:LW22
5.5. #loc_LongMin:LD24
5.6. LongDir_RS:VB2007
5.7. AC0
5.8. AC1
5.9. V2035.1
5.10.V2035.2
// 6. Objektu (elektrotransporta) ātrumu konvertācija no jūdzas uz m/s procedūras STL listing
6.1. ātruma lokālais mainīgais SP, m/s, baita tipa adrese;
// 7. Datu bufera izveidošanas STL listing
// Ja no GPS uztvērēja saņemtajiem datiem kļūdas nav – jāpāriet uz apakšprogrammu:
7.1. LDN V2035.1 // Globālo mainīgo reģistrs;
7.2. AN V2035.2 // Globālo mainīgo reģistrs;
7.3. MOVR AC0, VD2280 // Globālo mainīgo reģistrs, double tipa adrese;
7.4. MOVR VD2280, #Lat:LD0
7.5. MOVR AC1, VD2284
7.6. MOVR VD2284, #Long:LD4
7.7. MOVR AC3, VD2288
7.8. MOVR VD2288, #Alt:LD8
// Ja no GPS uztvērēja saņemtajiem datiem kļūdas nav – jāpāriet uz 9.

```

// 8. Datu buferu izveidošanas STL listing

// Ja no GPS uztvērēja saņemtajiem datiem ir kļūdas – datus jāizņem no bufera:

8.1. LD V2035.1 // mainīgais, double Word tipa adrese;

8.2. O V2935.2 // globālo mainīgo reģistrs;

8.3. MOVR VD2280, #Lat:LD0 // platuma globālais mainīgais, double Word tipa adrese;

8.4. MOVR VD2284, #Long:LD4

8.5. MOVR VD2288, #Alt:LD8

// 9. Pāriet uz 1.

Vilciena vadības sistēmas algoritms bremzēšanas režīmā

Dots: L_1 - lokomotīve; $V(t_0)$ - lokomotīves ātrums L_1 ; t_0 - sākuma laika moments pie uzdotajām lokomotīves koordinātām L_1 ; $A(X_2, Y_2, Z_2, t_A)$ - vilciena apturēšanas uzdotais punkts; $B(X_3, Y_3, Z_3, t_B)$ - šķēršļa koordinātas; $C(X_5, Y_5, Z_5, t_C)$ - luksofors; G^* - vilciena bremzēšanas sākuma punkts;

1. solis. Inicializācija - sistēmas objektu noteikšana un sastāvs. L_1 - lokomotīve; A - vilciena apturēšanas uzdotais punkts; B - šķēršļa koordinātas; C - luksofors; G^* - vilciena bremzēšanas sākuma punkts;

2. solis. Sistēmas objektu koordinātu noteikšana telpā: $L_1(X_2, Y_2, Z_2, t_A)$ - lokomotīves koordinātas noteikšana ar IPS sistēmu, ieskaitot reālā laika un datu momentu; $V(t_0)$ - lokomotīve L_1 ātruma noteikšana ar IPS sistēmu; t_0 - sākuma laika moments pie uzdotajām lokomotīves koordinātām L_1 ; $A(X_2, Y_2, Z_2, t_A)$ - vilciena apturēšanas uzdotais punkts; $B(X_3, Y_3, Z_3, t_B)$ - šķēršļa koordinātas; $C(X_5, Y_5, Z_5, t_C)$ - luksofors; G^* - vilciena bremzēšanas sākuma punkts;

3. solis. Sistēmas objektu parametru noteikšana – $V(t_0)$ - lokomotīve L_1 ātruma noteikšana ar IPS sistēmu; Luksofora signālu noteikšana: Az – aizliedzošs; Z – atļaujošs; Esošā lokomotīves automātiskās signalizācijas funkcionējošā sistēma.

4. solis Bremzēšanas nepieciešamības novērtējums:

$$S_T = \frac{v_0 t_n}{3,6} + \sum \frac{500(v_N^2 - v_K^2)}{\zeta(w_{ox} + b_m + i_C)} \rightarrow \max; \quad t_m = t_p + \sum_{i=1}^n \frac{v_n - v_k}{3,6 \cdot \varepsilon_i} \rightarrow \max; \quad v = v_0 + \int_0^t a \delta t \rightarrow 0;$$

$$0,6 \leq \varepsilon_i = \frac{v_n^2 + v_k^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot \Delta S_p} \leq 0,8. \text{ Ja - luksofora } C \text{ signāls ir } Az \text{ - aizliedzošais: pāreja pie 5. soļa}$$

Nē - pāreja pie 2. soļa.

5. solis. Vadītāja darbības uz vilciena bremzēšanas sistēmu novērtējums: Jā - atgriešanās pie 2. soļa; Nē - bremzēšanas automātiskā režīmā realizēšana, pielietojot bezvada komunikācijas sistēmu IPS;

6. solis. Atgriešanās pie 2. soļa.

Vilciena vadības procedūra iebūvētai iekārtai bremzēšanas režīmā listing STL valodā programmējamam loģikas controllerim

// 1. Parametru ielodēšana controllerā STL listing.

1.1. LD SM0.1 // ir izsaukts katrā ciklā;

1.2. CALL Initial:SBR18

```

// 2.Ethernet bloka apakšprogrammu inicializācijas STL listing
2.1.LD SM0.0 // ir izsaukts katrā ciklā;
2.2.CALL ETH1_CTRL:SBR14
2.3.M2.0 // komunikācijas bloka inicializācija;
2.4.VW2200
2.5.VW2202
// 3. GPS uztvērēja izsaukšanas apakšprogrammu inicializācijas STL listing
3.1.LD SM0.0 // ir izsaukts katrā cikla;
3.2.Lat_RS:VD2008 // platuma globālais mainīgais, RS, grādos, Double
Word;
3.3.Long_RS:VD2012 // garuma globālais mainīgais, RS, grādos, Double
Word;
3.4.Alt_RS:VD2016
3.5.Speed_RS:VD2250
// 4. Distances starp objektiem testa režīmā apakšprogrammas inicializācijas STL listing
4.1.LD SM0.0 // ir izsaukts katrā cikla;
4.2.Lat_RS:VD2008 // elektrotransporta platuma globālais mainīgais,
RS, grādos, Double Word;
4.3.Long_RS:VD2012 // elektrotransporta garuma globālais mainīgais,
RS, grādos, Double Word;
4.4.Alt_RS:VD2016
4.5.Lat_ML:VD2210
4.6.Long_ML:VD2214
4.7.Alt_ML:VD2218
4.8.mass:VD2230
4.9.Speed_ML:VD2254
4.10.Speed_RS:VD2250
4.11.Distance_:VD2238
4.12.Brake Distance:VD2258
// 5. Kontroles bitu apakšprogrammas inicializācija STL listing
5.1.LD SM0.0// ir izsaukts katrā cikla;
5.2.CALL Control_bits:SBR23 // kontroles bitu apakšprogrammas
inicializācija.
// 6. Masu koeficienta apakšprogrammas inicializācijas STL listing
6.1.LD Definition_mode:V1990.1 // ir izsaukts katrā cikla;
6.2.Alt_ML:VD2218 // elektrotransporta platuma globālais mainīgais,
ML, grādos, Double Word;
6.3.Speed_ML:VD2254 // objekta ātruma globālais mainīgais, ML, m/sek,
Double Word;
6.4.mass:VD2230
// 7. Bremžu kontroles apakšprogrammas inicializācija STL listing
7.1.SM0.0 // ir izsaukts katrā cikla;
7.2.Distance_:VD2238 // distance starp objektiem, globālais mainīgais,
metros, Double Word;
7.3.Brace D_VD2234 // distance, globālais mainīgais, metros, Double
Word;
7.4.BRAKE:V1991.1
// 8. Datu apmaiņas Sinaut Micro SC ar GPRS modemu apakšprogrammas inicializācijas
STL listing
8.1.LD SM0.0 // ir izsaukts katrā cikla;
8.2.CALL GPRS_blocks:SBR1 // pārraides datu apakšprogrammas
inicializācija;
// 9.Displeju TD 400 vadības apakšprogrammas inicializācija STL listing
9.1.LD SM0.0 // ir izsaukts katrā cikla;

```

```
9.2.CALL TD400Ņ:SBR17 // displeju TD 400 vadības apakšprogrammas
inicializācija;
```

Bremžu vadības procedūras STL listing

// 1. Bremžu vadības procedūra:

```
1.1.LD SM0.0 // ir izsaukts katrā cikla;
1.2.A Test_mode:V1990.2 // testa režīms, globālo mainīgo reģistrs;
1.3.BrakeDistance:VD2258, AC0 // bremzēšanas distance, globālo mainīgo
reģistrs, double bitu reģistrs, ierakstīt akumulatorā;
1.4. +R 50.0, AC0
1.5. AR<= #Dist:LD0, AC0
1.6. S #Brake_ON:L8.0, 1
1.7. LPP
1.8. AR= Speed_ML:VD2254, 0.0
1.9. R #Brake_ON:L8.0,1
1.10. R Test_mode:V1990.2,1
1.11. S Normal_mode:V1990.0, 1
```

Neironu tīkli elektriskās izolācijas diagnostikas uzdevumam

Neironu tīklu elektriskās izolācijas diagnostikas uzdevumam parādās nepieciešamība uzturēt velkošo elektrisko motoru darba stāvoklī, lai nodrošinātu vilces un bremžu režīmu. Šim nolūkam izpētīts un izstrādāts neironu tīklu modelis elektroizolācijas diagnostikai. Neironu tīkliem definēti apmācības algoritmi elektriskā izolācijas diagnostikas uzdevuma risināšanai.

Lai atrisinātu vilces dzinēju izolācijas diagnostikas uzdevumu, pielietosim neironu tīklu, kurš sastāv no viena slāņa perseptrona. Katrs neirons aprēķina ieejas signāla elementu peldošo summu un nosaka to izeju, kura ir līdzīga +1 vai -1, ar sliekšņa funkcijas pielietojumu. Ja izejas signāla vērtības pieņem lēmumu:

- +1 - izejas signāls pieder A klasei, un vilces dzinēja izolācijas stāvoklis ir labs;
- -1 - izejas signāls pieder B klasei, un vilces dzinēja izolācija jāremontē.

Neironu tīklu apzīmējumi

t – laika moments;

i,j,k – neironu tīkla indeksi;

n – iterācija, kas atbilst n-tam apmācības tēlam;

X(t) – ieejas m-dimensiju signāls laika momentā t;

$x_i(n)$ – ieejas vektora X(n) i-tais elements n-tā iterācijā;

C(t) – neironu tīkla izeja laika momentā t;

$w_{ji}(n)$ – svars starp i-tā un j-tā slāņu neironiem;

b_j – nobīde j-tam neironam;

Vispārīgs matemātiskais modelis neironu tīklam

Neironu tīkla matemātiskais modelis:

- Neirona tīkla ieejas signālu vektors: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$;
- Neironu tīkla izejas vektors: $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$;
- Svaru vektoru kopa katrai j-ta slāņa i-ta neirona ieejai: $W_i^j = \{w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}, w_{in}\}$;
- Nobīde katram j-tā slāņa i-tam neironam: b_i^j ;
- Summēšanas funkcija katram j-tā slāņa i-tam neironam: $Y_i^j = \sum (w_i^j \cdot X) + b_i^j$
- Aktivācijas funkcija visiem j-tā slāņa neironiem: $Y^j(Y^j)$.

Tiešas izplatīšanās algoritms

Vienslāņa perseptrona apmācības algoritms:

1. Solis 1. Svaru un pārvirzes inicializācija:

Vērtības $W_i(0)$ ($0 \leq i \leq (N - 1)$) un neirona b pārvirze tiek uzstādīta līdžīgam zināmam mazam gadījumskaitam.

2. Solis 2. Jauna ieejas un vēlamā izejas signāla uzstādīšana tīklam:

Ieejas signāls $X = (x_0, x_1, \dots, x_{N-1})$ tiek uzstādīts neironam kopā ar vēlamo izejas signālu C.

3. Solis 3. Neirona izejas signāla aprēķins:

$$y(t) = \left(\sum_{i=0}^{N-1} W_i(t) X_i(t) - b \right);$$

4. Solis 4. Svaru vērtību noregulēšana:

$$W_i(t+1) = W_i(t) + r[C(t) - y(t)]x_i(t);$$

$$0 \leq i \leq N - 1; \quad ;$$

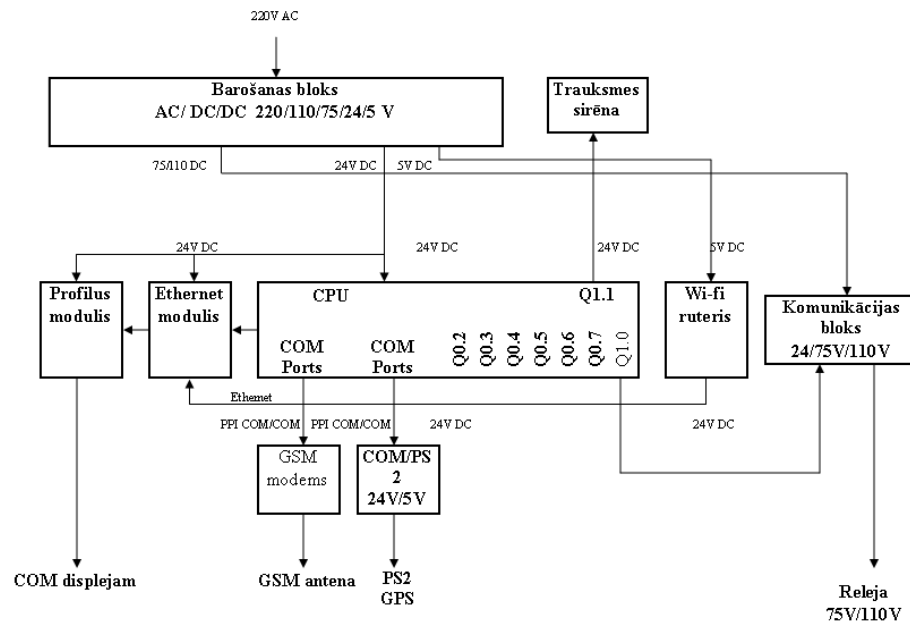
$$d(t) = \begin{cases} +1, & \text{vai klase A} \\ -1, & \text{vai klase B} \end{cases}$$

kur r – apmācības solis,

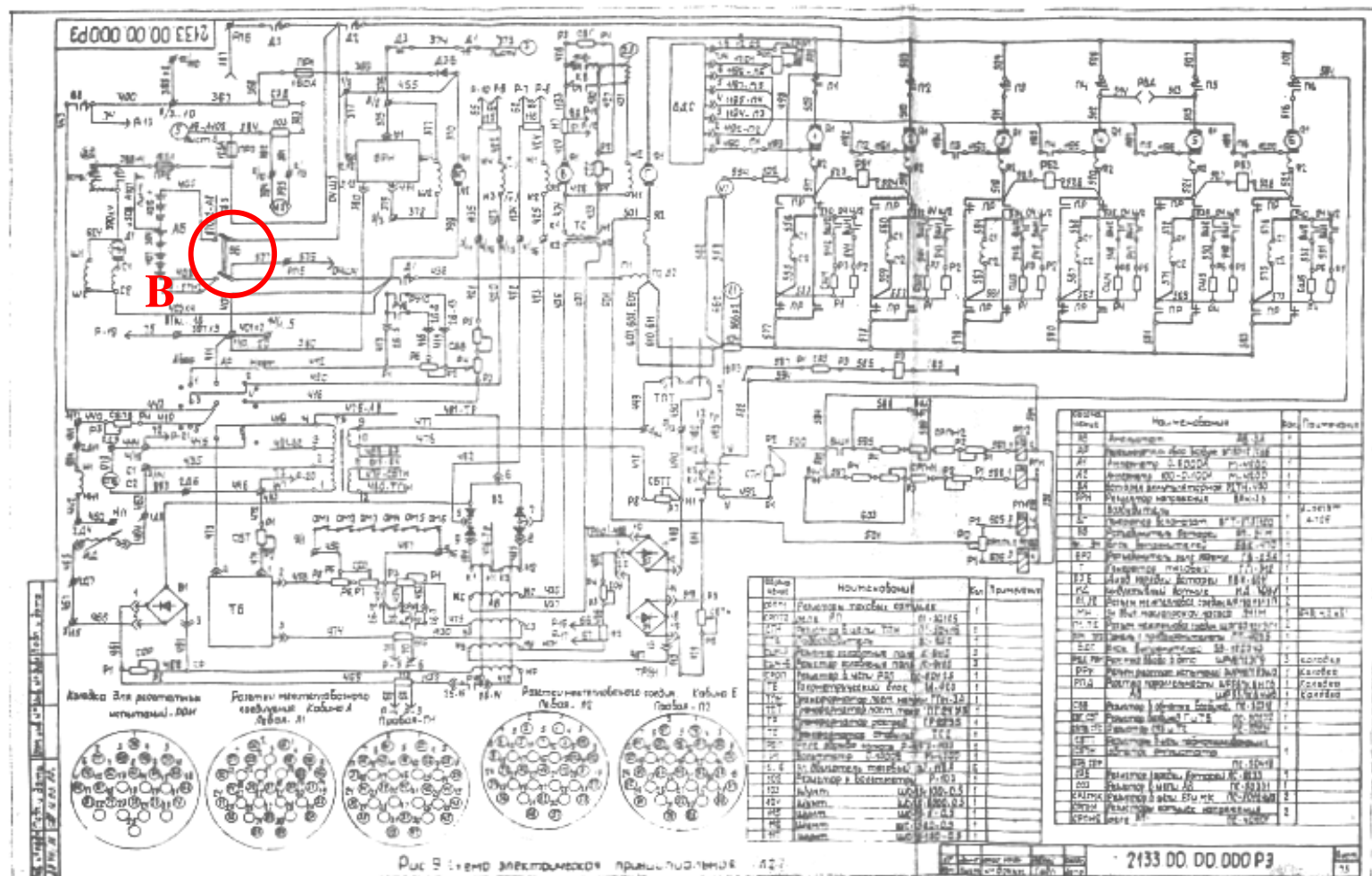
(t) – vēlamais izejas signāls.

5. Solis Pāreja pie 2. soļa

Elektriskās shēmas un iebūvētās bezvadu iekārtas



4.att. Eksperimentālo iekārtu struktūrshēma

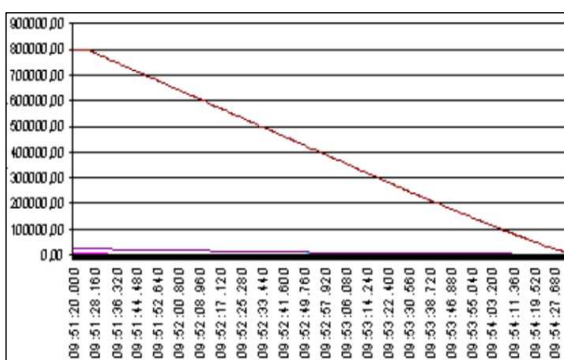


6.att. Lokomotīves M62.10 eklektiskā shēma, pie kuras tika veikti praktiskie eksperimenti (ar sarkano apli B parādīta SARE -R3 pieslēgums barošanai)

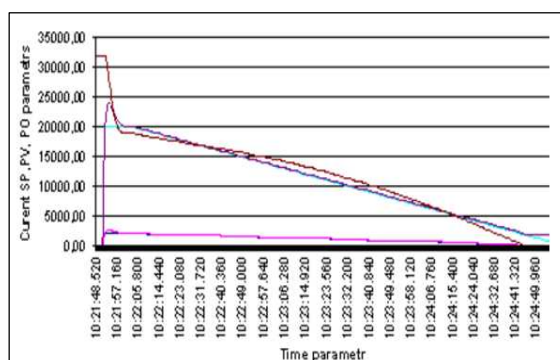
Izstrādāto modeļu un algoritmu eksperimentālo pētījumu rezultāti

Izstrādātā un praktiski pārbaudītā uzlabotā elektrotransporta bremsēšanas automātiskās vadības sistēma, kura atšķirībā no esošajām ļauj noteikt elektrotransporta atrašanās vietu un realizēt elektrotransporta apturēšanu pirms luksofora ar aizliedzošu signālu, pielietojot Pozicionēšanas informācijas sistēmu. Tiek veikti eksperimenti, ir iegūti rezultāti, kuri ļauj kontrolēt elektrotransporta kustības ātrumu, masu, atrašanās vietu un ceļa profilu, pielietojot Pozicionēšanas informācijas sistēmu.

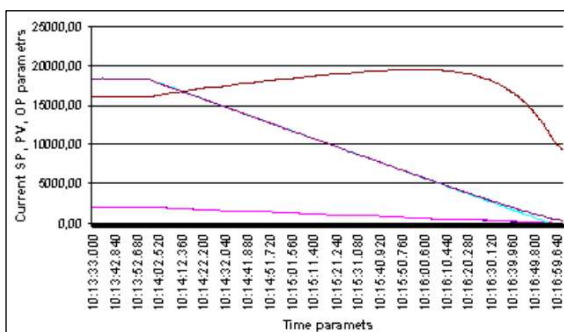
Tā, piemēram, 7.-10. attēlu grafiki atspoguļo pētāmās sistēmas bremsēšanas testu līknes pēc iebūvētā kontrollera vadošās iedarbības uz lokomotīves bremsēšanas sistēmu.



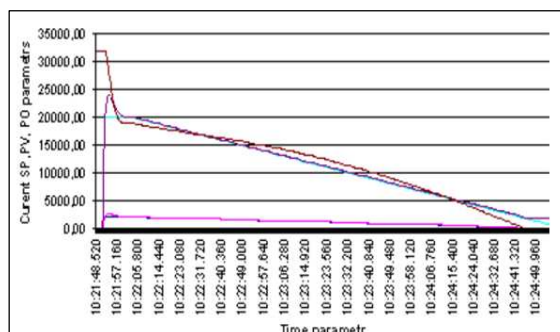
7.att. Bremsēšanas tests Nr 1.



8.att. Bremsēšanas tests Nr 2.



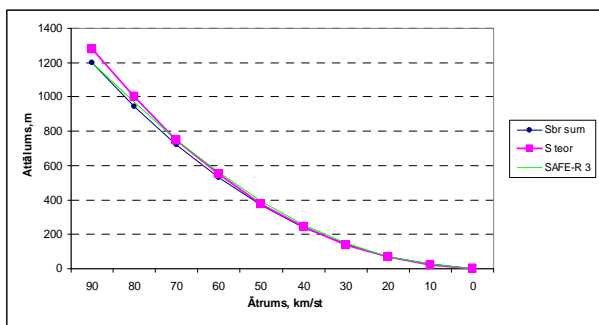
9.att. Bremsēšanas tests Nr 3.



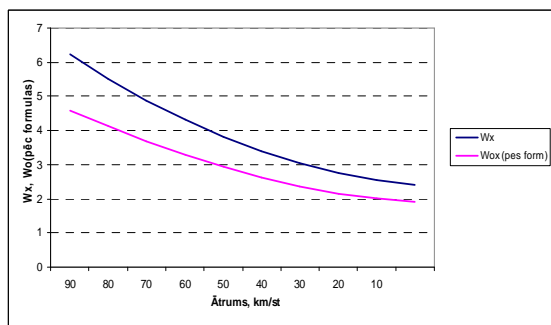
10.att. Bremsēšanas tests Nr 4.

Tā testā Nr.1. ar sarkanu līniju atspoguļota vēlamā (teorētiskā) bremsēšanas trajektorija, testos Nr.2.,3.,4. ir atspoguļotas reālas bremsēšanas trajektorijas, iebūvētā kontrollera vadošā iedarbība uz bremsēšanu sistēmu un vadāmās sistēmas reakcija, lai sasniegtu uzdoto bremsēšanas trajektoriju.

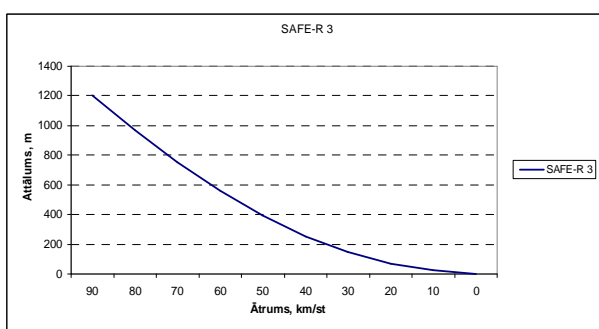
11.-14. attēlu grafiki atspoguļo bremsēšanas ceļa garuma atkarību no lokomotīves ātruma un to salīdzinājumu ar bremsēšanas iekārtas SAFE-R3 palīdzību izstrādāto.



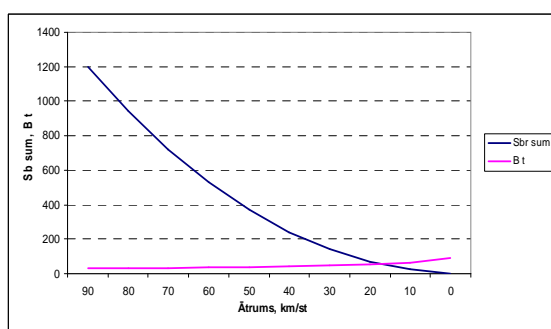
11.att. Testēšanas rezultāti. Tests Nr.1



12.att. Testēšanas rezultāti. Tests Nr.2



13.att. Testēšanas rezultāti. Tests Nr 3.



14.att. Testēšanas rezultāti. Tests Nr 4.

Darba secinājumi

Promocijas darba galvenie rezultāti ir:

- Izstrādāta un aprakstīta jauna metode elektrotransporta bremsēšanas ceļa aprēķināšanai, kura atšķirībā no esošajām ļauj iegūt bremsēšanas ceļa faktisko vērtību jebkurā maršruta punktā, lietojot uz Pozicionēšanas informācijas sistēmu bāzes iebūvētās elektroniskās programmēšanas iekārtas.
- Izstrādāts elektrotransporta bremsēšanas sistēmas vispārīgais vadības algoritms un aprakstīta algoritma struktūra, kura atšķirībā no esošajiem algoritmiem ļauj no sūtīt vadības signālu bremsēšanas sistēmai, lai apstādinātu elektrotransportu pirms luksofora ar braukšanu aizliedzošu signālu, bez vilciena vadītāja iedarbošanās uz vilciena vadību, lietojot uz Pozicionēšanas informācijas sistēmu bāzes iebūvētās elektroniskās programmēšanas iekārtas.
- Izstrādāta un aprakstīta jauna metode bremsēšanas ceļa parametru noteikšanai, lietojot iebūvētās elektroniskās programmēšanas iekārtas uz Pozicionēšanas informācijas sistēmu bāzes.
- Izstrādāta un eksperimentāli pārbaudīta elektrotransporta bremsēšanas parametru aprēķina uzlabotā metode, kura atšķirībā no eksistējošiem modeļiem ļauj kontrolēt elektrotransporta kustības ātrumu, masu, atrašanās vietu un ceļa profilu.
- Izstrādāts un eksperimentāli pārbaudīts elektrotehnisko iekārtu darbības modelis elektrotransporta bremsēšanas režīmā, kurš atšķirībā no eksistējošiem modeļiem ļauj salīdzināt dažādus procesus un algoritmus iebūvētajām intelektuālajām sistēmām.

- Izstrādāta metode elektrotransporta bremsēšanas automātiskās vadības sistēmas uzlabošanai, kura atšķirībā no eksistējošiem modeļiem ļauj noteikt elektrotransporta atrašanās vietu un realizēt vilciena apturēšanu pirms luksofora ar aizliedzošu signālu.
- Izstrādāta un eksperimentāli pārbaudīta elektrotransporta elektroizolācijas stāvokļa diagnostikas metode, kura atšķirībā no eksistējošām metodēm ļauj realizēt elektrotransporta vilces elektrodzinēju izolācijas stāvokļa kontroli reālā laika režīmā bez atslēgšanas no tīkla.

Izmantotās literatūras saraksts

1. Altbergs T., Balckars P., Bukovskis V. un citi. Dzelzceļi. Vispārīgais kurss. Valsts akciju sabiedrība „Latvijas dzelzceļš”, Rīga, 1996
2. Anohina, A. Adaptīvas apmācības un zināšanu vērtēšanas intelektuālā atbalsta sistēmas izstrādāšana: promocijas darbs. - Rīga: RTU, 2007 - 155 lpp.
3. Arhipova I., Bāliņa S. Statistika ekonomikā. – Rīga: Datorzinību centrs, 2003 – 352 lpp.
4. Bazaras Ž., Bagdonas V. Problem of the Train Traffic Schedule Optimal Addition Proceedings of the 9th International Conference “Transport Means”. Kaunas: Technologija, 2005. – P. 274–277.
5. Blumbergs E. Elektriskās piedziņas vadība. – Rīga: RTU, 1983. – 106 lpp.
6. Bolton W, Mechatronics. - Pearson Prentice Hall, 2003. - 574 p.
7. Bondgraph, About bondgraphs, www.bondgraphs.com/about.html
8. Borisovs A. Mākslīgā intelekta metodes. Rīgas Tehniskā universitāte. Automātikas un skaitļošanas tehnikas fakultāte. - Rīga: RTU, 1993. - 75 lpp.
9. Bulić N., Erceg G., Idžotić T. (A125493) Comparison of Different Methods of Excitation Control for a Synchronous Generator. //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
10. Cavalieri S., Cesarotti V.. A Multi-agent Model for Coordinated Supply Chain Planning / The Third International Workshop of The IFIP WG 5, 2002, 51-69 p.
11. Chen F. F.. Process Modeling, Performance Analysis and Configuration Simulation in Integrated Supply Chain Network Design, Blacksburg, Virginia, 2001, 187 p.
12. CitectSCADA. Руководство пользователя. Citect 6_UserGuide_rus
13. Conway R. Theory of Scheduling. - Dover Publications. 2003.-304 p.
14. Costa J.S., Bocănială C. D. (A58309) FDI based on two stage classifiers for fault diagnosis of valve actuators Application to DAMADICS benchmark. //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
15. Čuvičins V. Vadības sistēmas enerģētikā : elektrisko tīklu, sistēmu un automatizācijas specialitāšu studentiem. - Rīga: RTU Izdevniecība, 2006 – 231 lpp.
16. Dean C., Karnopp, Modelling and Simulation of Mechatronic Systems. Fourth edition, Wiley John Wiley&sons. INC.2006
17. Dirba J., Ketnere E., Ketners K. Enerģētisko sistēmu transformatori. –Rīga, RTU izdevniecība. 2004. – 297lpp.
18. Dirba J., Ketners K. Elektriskās mašīnas – Rīga: RTU, 2007. – 516 lpp.

19. Dirba J., Ketners K., Levins N., Pugačevs V. Transporta elektriskās mašīnas – Rīga: Jumava, 2002. – 342 lpp.
20. Doebelin E. O., Dekker M., System Dynamics, Technology & Engineering, 1998 - 774 p.
21. Elarabawy I.F., Hamdy R. A.R., Mahmoud G. (A58314) Stator Failures and Diagnostic Methods in 3-Phase Squirrel-Cage Induction Motors using Neural Networks. //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
22. Enerģētika un elektrotehnika. Zinātnisko rakstu krājums. RTU, Rīga – 1994
23. Femia N., Petrone G., Spagnuolo G., Vitelli M. (A72567) How to Increase the Efficiency of P&O MPPT by Converter Dynamic Matching. //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
24. Franklin G., Powell J., Emami-Naeini A., Feedback Control of Dynamic Systems, 4th Edition. - Prentice Hall, 2002. – 910 p.
25. Franklin G., Powell J., Workman M.. Digital Control of Dynamic Systems, 3rd Edition. - Addison-Wesley, 1998. – 850 p.
26. Gerhards J., Mahnitko A. Elektroapgādes sistēmu optimizācija. Mācību grāmata. Rīga : RTU Izdevniecība, 2007. 149 lpp.
27. Ghanea-Hercock. Applied Evolutionary Algorithms In Java - Springer 2003, - 248 p.
28. Glazs A., Kristofic Y.. Colour-based Object Tracking for a Robotic System USING CMUCam (A72588). //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
29. Gorobetz M., Levchenkov A. Modelling of Neural Network in Direct Current Drive Speed Control for Virtual Laboratory //In: Rīgas Tehniskās universitātes raksti. 6. sērija: Mašīnzinātne un transports 25. sējums, 2007, 128.-137. lpp.
30. Greivulis J. Jaudas zudumi regulējamā asinhronajā elektropiedziņā. Rīga: RTU, 2008 – 32 lpp.
31. Greivulis J., Raņķis I. Iekārtu vadības elektroniskie elementi un mezgli. Rīga: Avots, 2002.
32. Greivulis J., Raņķis I. Modernās elektronikas pamati. – Rīga: Avots, 1992. – 163 lpp.
33. Greivulis J., Raņķis I. Iekārtu vadības elektroniskie elementi un mezgli. - Rīga: Avots, 2005. – 288 lpp.
34. Grundspenķis, J. Ievads intelektuālās sistēmās. Lekciju konspekts, RTU, 1993, 158 lpp.
35. Habetler T.G., Harley R.G., Tallam R.M., Complete Current-Based Induction Motor Condition Monitoring: Stator, Rotor and Overload Protection (K06). //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
36. Haight F.A. Mathematical Theories of Traffic Flow. Academic press. New York London, 1963, 283 p.
37. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. Second Edition, Prentice Hall, 2006.
38. Hunt B.R. A Guide to Matlab for beginners and experienced users. - University of Cambridge, 2008. 352 p.
39. Isermann R. Mechatronic Systems Fundamentals – London: Springer, 2005, - 624 p.
40. John D. McDonald „Electronic power substations engineering” CRC PRESS, New-York, 2006.

41. Karnopp C. D. System Dynamics: Modelling and Simulation of Mechatronics Systems 4th ed., Wiley, 2006.
42. Karzyna Bergiel, Henryk Karboviak „Automatizacja Prowadzenia Pociągu”. Łódź 2005.
43. Krievs O., Ribickis L. Izplūdušās loģikas kontrolleri elektropiedziņas vadības sistēmās // RTU 42.SZTK materiālu krājums. Rīga, RTU, 2001. 28 lpp.
44. Krūmiņš O., Ribickis L., Raņķis I. Transporta automātiskās kustības sistēmas – tramvaja modelis. RTU zinātnisko rakstu krājums “Enerģētika un elektrotehnika.”, 4. sērija, 15. sējums, Rīga, 2005. 57.- 64. lpp.
45. Langdon W. B., Poli R. Foundations of genetic programming. Berlin [etc.] : Springer, 2002. 260 lpp.
46. Laugis, J.; Lehtla, T.; Joller, J.; Boiko, V.; Vinnikov, D.; Lehtla, M. Modernization of electrical transport systems in Estonia. In:10-th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC. Dubrovnik: 2002.
47. Luger G. F.. Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving, Williams, 2003.
48. Mamdani E.H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. №1. – p.1–13.
49. McDonald John D. Electric power substations engineering. CRC PRESS Boca Raton london New York Washington 2003.
50. Mesarovic M.D., Takahara Y. General System Theory: Mathematical Foundations. - Academic Press, 1975. - 268 pp.
51. Mihoub Y., Mazari B., Hassaine S. Robustness Test of PI, Fuzzy and Neuro-fuzzy Speed Induction Motor Controller (A34673). //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
52. Moskvins G., Spakovica E., Moskvins A. Development of Intelligent Technologies and Systems in Agriculture //In Proceedings of 7th International Conference Engineering for Rural Development 2008, Jelgava, Latvija. – 108-113 p.
53. Nauck D., Kruse R. Neuro-Fuzzy Systems for Function Approximation // Fuzzy Sets and Systems. – 1999. – Vol. 101, №2. – p. 261-271.
54. Onwubolu G.C. Mechatronics Principles and Applications. - Elsevier Butterworth Heinemann, 2005. - 642 lpp.
55. OPCserver PAccess. User Help
56. Pajchrowski T., Zawirski K.. Robust Speed Control of PMSM with Neuro and Fuzzy Technique Application (A71135). //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
57. Palm W.J., Modeling, Analysis, and Control of Dynamic Systems, 2nd Edition, Wiley, 1999.
58. Przybył A., Jelonkiewicz J. (A71120) State Feedback-Based Control of an Induction Motor in a Single Fixed-Point DSP. //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
59. Publicis Kommunikations Agentur GmbH GWA Erlangen.
60. Rankis I., Ribickis L., Vitols A. Comparison of Two Solutions of Regeneration Circuits for Tramcars, Electronics and electrical engineering, Kaunas, 2006, Nr.5(69), 53.-56.p.
61. Raņķis I., Zhiravetska A. Electronics. – Riga, RTU publishing House, 2005. – 106 p.

62. Raņķis I. Energoelektronika. – Rīga, Rīgas Tehniskā universitāte, 2002. – 141 lpp.
63. Raņķis I. Research activities in the field of pulse regulated DC traction drives in Latvia, proc. PEMC-2004, vol.6, p.128 – 131, 2004.
64. Raņķis I., Bražis V. Regulēšanas teorijas pamati. Rīga, Rīgas Tehniskā universitāte, 2001. – 94 lpp.
65. Raņķis I., Bražis V. Elektrotehnoloģiskās iekārtas. – Rīga, Rīgas Tehniskā universitāte, 2005. – 108 lpp.
66. Raņķis I., Ribickis L., Vītols A. Pētījums par jaudas plūsmas regulatoru vilces apakšstacijām. RTU zinātniskie raksti „Enerģētika un elektrotehnika”, 4. sērija, 18. sējums. – Rīga, 2006. – 78.- 83. lpp.
67. Raņķis I., Žiravecka A. Industriālās elektronikas pamati. – Rīga, 2007. – 212 lpp.
68. Raņķis I. Ievads specialitātē "Elektrotehnoloģiju datorvadība". - Rīga: RTU, 2003. 41 lpp.
69. Rastrigins L., Merkurjevs J. Lineāru nepārtrauktu sistēmu modelēšana. Lekc. konsp. /Leonards, Jurijs Merkurjevs ; Rīgas Tehniskā univ. Informācijas tehnol. inst. Modelēšanas un imit. kat. Rīga : RTU, 1996. 91 lpp.
70. Reinhardt R., Dowd J.. Flash MX 2004 Bible. Wiley, 2004
71. Reinhardt R., Lott J.. Macromedia Flash MX 2004 ActionScript. Bible. Wiley, 2004
72. Reskó B., Szemes P. T., Korondi P., Baranyi P., Hashimoto H.. Camera Motion Control based on Ubiquitous Computing (Artificial Neural Network Based Adaptive Object Tracking in Intelligent Space) (A72567). //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
73. Revetria R.. DIR-O-matic. Distributed Integrated Resources Observer, 2003.
74. Revetria R.. DIR-O-matic. Distributed Integrated Resources Observer, 2003.
75. Ribickis L., Avotiņš A.. Apgaismošanas tehnoloģijas . RTU izdevniecība, 2007. 184 lpp.
76. Ribickis L., Levčenkovs A., Kunicina N., Gorobecs M. Ievads dinamisko procesu modelēšanas mehatronikas sistēmās. Rokkraksts, Rīga,2006.
77. Ribickis L., Levčenkovs A., Gorobecs M. Sistēmu teorijas pamati industriālās elektronikas modelēšanā. - Rīga: RTU, 2008. 100 lpp.
78. Ribickis L., Levčenkovs A., Kunicina N., Gorobecs M. Ievads dinamisko procesu modelēšanā mehatronikas sistēmās. Metodisks līdzeklis. Rīga, RTU, 2006, 63 lpp.
79. Ribickis L., Raņķis I., Bražis V. Elektrotransporta rekuperācijas iespējas Rīgas pilsētā. Rīgas Domes zin.-tehn. konferences materiāli, 2001. 4. lpp.
80. Ribickis L., Raņķis I., Levčenkovs A., Gorobecs M. Programēšanas valodas industriālajā elektronikā. Metodiskais līdzeklis. Rīga, RTU, 2007, 70 lpp.
81. Ribickis L., Valeinis J. Elektriskā piedziņa mehatronikas sistēmās. – Rīga: RTU, 2008. – 286 lpp.
82. Ribickis L., Vītols A. Maiņstrāvas elastīgo pārvades sistēmu jaudas plūsmas kontrolleris – UPFC. – Rīga, RTU zinātniskie raksti ”Enerģētika un elektrotehnika”, 4. sērija, 10. sējums, 59.- 64.lpp.
83. Ribickis L., Vītols A. Spēka elektronikas pārveidotāji – jaunākie risinājumi energosistēmu elektroapgādes kvalitātes nodrošināšanā. Enerģija un Pasaule. – Rīga, 2005. – Nr. 6 (35).
84. Rodionova I. Maiņstrāvas elektrovilcienu līdzstrāvas elektropiedziņu efektivitātes izpēte. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga, RTU izdevniecība, 2005. – 24 lpp.

85. Rodionova I., Raņķis I. Maiņstrāvas elektrovilcienu impulsveida līdzstrāvas elektropiedziņa. RTU zinātnisko rakstu krājums "Enerģētika un elektrotehnika", 4. sērija, 10. sējums, Rīga, 2003.97.-101. lpp.
86. Rodionova I., Raņķis I. Maiņstrāvas elektrovilcienu impulsveida līdzstrāvas elektropiedziņa. RTU zinātnisko rakstu krājums "Enerģētika un elektrotehnika", 4. sērija, 10. sējums, Rīga, 2003.97.-101. lpp.
87. Rodionova I., Raņķis I., Simakovs A. Strāvas kropļojumu kompensācija maiņstrāvas elektrovilcienu piedziņā. RTU zinātnisko rakstu krājums "Enerģētika un elektrotehnika", 4. sērija, 7. sējums, Rīga:2002. 33.- 40. lpp.
88. Russel S. J., Norvig P.. Artificial Intelligence. A Modern Approach, Prentice Hall, 1995
89. Saenz J.R., Albizu I., Mazón A.J., Tapia A., Zamora I. Non-Invasive Stator Fault Diagnosis in Induction Machines. //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
90. Sauhats A., Gerhards J., Mahnitko A., Dolgicers A. Statistical Approach-based Fault Locating Algorithms for Power Transmission Lines.// Proceedings of EE2001 symposium. Elektroenerģētika, Slovak Republic, Vysoke Tatry, 2001, pp.221-224.
91. Sauhats A., Svalovs A., Svalova I. Development of Algorithms for Prevention of Asynchronous Operation in High- Voltage Networks. // Proceedings of IEEE Power Tech Conference, Bologna, Italy, 2003, BPT03-191, pp. 6.
92. Sell R. and Tamre M. Mechatronics System Design Process and Methodologies (A84361). //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
93. Silviano Rafael , A.J. Pires , P.J. Costa Branco (A52551) Implementation of an On-Line Learning Speed Controller for a Switched Reluctance Machine. //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
94. Simakovs A., Raņķis I., Bražis V. Elektrovilcienu enerģijas patēriņa bilances novērtējums un uzlabošana. RTU zinātnisko rakstu krājums "Enerģētika un elektrotehnika", 4. sērija, 4. sējums. – Rīga, 2001. 75.- 79.lpp.
95. Sniders A. Straume I. Simulation of Electrical Machine System with Permanent Magnet Synchronous Generator. //In Proceedings of 7th International Conference Engineering for Rural Development 2008, Jelgava, Latvija. – 97-102 p.
96. Stepanec L., Brandstetter P., Fedor P., Perdukova D. (A34239) Induction Motor Drive Using Sugeno-Type Fuzzy Logic. //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
97. Świątek, B., Kosiorowski S. Minimization of the Source Current Distortion in Systems with Single-Phase Active Power Filters. //In proceedings of „International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference 2004.
98. Šnīders A., Straume I. Automātiskā elektriskā piedziņa: Mācību grāmata automātiskajā elektriskajā piedziņā. - Jelgava: LLU, 2008. 160 lpp.
99. Takahaši A. Ģenētiskie algoritmi sarežģītu funkciju optimizācijā: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zin. grāda iegūšanai. Rīgas Tehniskā universitāte. Datorzinātnes un informācijas tehnoloģiju fak. Datorvadības, automātikas un datortehnikas inst. Rīga: RTU, 2004. 218 lpp.
100. Timmermanis K., Rozenkrons J. Elektrisko staciju un apakšstaciju elektriskā daļa. Rīga: „Zvaigzne”- 1988.

101. Turban E.. Decision Support Systems and Expert Systems,- Prentice Hall, 1997 – 890 p
102. Uteshev I Gorobetz M., Kunicina N., Levchenkova A.” Intelligent Agents Networks for Power Processes Control in Mechatronics Systems. //In Proceedings of 2nd International Conference on ‘Electrical/Electromechanical Computer Aided Design & Engineering’, Stuttgart, Germany, 2006, 1-13p.
103. Uteshev I, Gorobetz M., Levchenkova A., Kunicina N., . Modelling of Intelligent Agents for Energy Distribution Control. //In Proceedings of International Conference on "Computer as a tool", EUROCON, 2007, Warsaw, Poland, 7 p.
104. Uteshev I Gorobetz M., Kunicina N., Levchenkov A. Modelling Of Group Decision Making For Electrical Process Control In Mechatronic Systems. //In: MCDM Chania, Greece, 2006 – 211 p.
105. Uteshev I, P. Balckars, A. Levchenkov. "Modelling of neural controller for railway extremal electrical braking", EURNEX-ZEL 2008 “Towards sustainable and competitive European rail system “International Scientific Conference, Žilina, Slovak Republic, 2008.
106. Uteshev I., A. Levchenkov “Intelligent electrical network for safety of electrical railway”, The 48th International Scientific Conference of Riga Technical University.
107. Uteshev I., P. Balckars, A. Levchenkov, M. Gorobetz. “Classification of the basic types of the electrical substations ”, The 48th International Scientific Conference of Riga Technical University.
108. Uteshev I., P. Balckars, A. Levchenkov, M. Gorobetz. „The clustering analysis for evaluating state of the insulation for intelligent electrical devices”.The International Scientific Conference ITELMS-2008 Panevezys , Lithuania, 2008.
109. Uteshev I, A. Levchenkova, N. Kunicina, M. Gorobetz. “Modelling of Intelligent Devices for Energy Distribution Control”, The 47th International Scientific Conference of Riga Technical University, Riga, Latvia, 2006.
110. Uteshev I., A. Levchenkova, N. Kunicina, M. Gorobetz. “Intelligent Agents Networks for Power Processes Control in Mechatronics Systems”, ECAD/ECAE 2006 Electrical/Electromechanical Computer Aided Design & Engineering, Stuttgart, Germany, 2006.
111. Uteshev I., A. Levchenkova, N. Kunicina, M. Gorobetz. “Modelling of Intelligent Devices for Energy Distribution Control”,(Ildzautori: A. Levchenkova, N. Kunicina, M. Gorobetz), The IEEE EUROCON 2007, Warsaw, Poland, 2007.
112. Uteshev I., A. Levchenkova, N. Kunicina, M. Gorobetz. „Modelling of group decision making for electrical process control in mechatronic systems”, MCDM 2006, book of abstract Chania, Greece, 2006, 209 p.
113. Uteshev I., A. Levchenkova, B. Vinogradova, A. Ziravecka „Intelligent Network of Substation for Safety Power Supply for Electrical Railway”, EURNEX-Zel 2007 The 2th International Scientific Conference, Žilina, Slovak Republic, 2007.
114. Uteshev I., A. Levchenkova. “Monitoring of overheat process control of electric motor”.The 50th International Scientific Conference of Riga Technical University, Riga, Latvia, 2009.
115. Valeinis J. Elektriskās piedziņas vadība. – Rīga, Rīgas Tehniskā universitāte, 1982. – 95 lpp.
116. Valeinis J. Ievads elektriskās piedziņas vadības sistēmās. – Rīga: RTU, 2007 – 163 lpp

117. Yager R., Filev D. Essentials of Fuzzy Modeling and Control. USA: John Wiley & Sons. – 1994. – 387 p.
118. Багуц В.П. Электропитание устройств железнодорожной автоматики и связи. Москва Транспорт 1983.
119. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. „Техника высоких напряжений,, Издательство ”Энергоатомиздат” 1986.
120. Борисов А. Н., Левченков А. С., Методы интерактивной оценки решений, - Зинатне, Рига, 1982, - 139 стр.
121. Венцевич Л.Е. Локомотивные скоростемеры и расшифровка скоростемерных и диаграммных лент. 2002. 272 с. ISBN 5-89035-052-8
122. Венцевич Л.Е. Локомотивные устройства обеспечения безопасности поездов и расшифровка информационных данных их работы. 2006. 328 с.
123. Виноградова В.Ю. (под ред.). Перегонные системы автоматики. 2005. — 292 с. Вовк А.А. Основы общей теории статистики. 2006. 240 с.
124. Герман-Галкин С.Г. Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. - СПб.: КОРОНА-Век, 2008. 368 с.
125. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем Matlab 6.0. – Санкт-Петербург, Корона, 2001. 320 с.
126. Гончаров И.А. Основы любительской GPS - навигации. Москва, Горячая линия – Телеком, 2007. 128 с.
127. Дайер Дж. Многоцелевое программирование с использованием человеко-машинных процедур. // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. Сборник переводов. ред. Шахнов И. , М.: Мир, 1976. с.108-117.
128. Девятков В.В. Системы искусственного интеллекта. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001.
129. Денисенко В. ПИД-регуляторы: Вопросы реализации. Часть 1-я. Журнал «Современные Технологии Автоматизации» (2007.4.86-97).
130. Денисенко В. ПИД-регуляторы: Вопросы реализации. Часть 2-я. Журнал Современные Технологии Автоматизации (2008.1).
131. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование. 4 издание. Перевод с англ.- М. : Издательский дом „Вильямс”, Москва 2007. 1152 с.
132. Джонс М. Тим "Программирование искусственного интеллекта в приложениях", М., ДМК Пресс, 2004.
133. Джонс Тим. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. Пер. с англ. Осипов А.И., М.:ДМК - Пресс, 2004.
134. Ефремов И., Кобозев В. Технические средства городского электрического транспорта, Москва, 1985.
135. Зеленченко А.П. Устройства диагностики тяговых двигателей электрического подвижного состава. 2002. 38 с.
136. Костров Б.В., Ручкин В.Н., Фулин В.А. Основы программирования искусственного интеллекта. ДЕСС, Москва 2007 - 192 с.
137. Кофман П.Г. Автоматизация управления подвижным составом городского электрического транспорта. Москва, 1959.
138. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MatLAB и fuzzyTECH. - СПб: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.

139. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта: - М., Мир, 1991. 568 с.
140. Люггер Д. Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решений сложных проблем. 4-е издание .Пер. с англ.- М. : Издательский дом „Вильямс”, 2005. 864 с.
141. Макконелл Д. Основы современных алгоритмов. 2-е дополненное издание, Москва, Техносфера, 2006, 368 с.
142. Маркгвард К.М. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. Москва, Транспорт. 1982.
143. Матвеев С.И., Коугия В.А. Высокоточные цифровые модели пути и спутниковая навигация железнодорожного транспорта. 2005. 290 с. ISBN 5-89035-227-X
144. Никифоркин Б.Д., Головин В.И., Кутыев Ю.Г. Автоматизация управления торможением поездов. Москва, «Транспорт». 1985, 263 с.
145. Осипов С.И. Подвижной состав и основы тяги поездов. Москва. «Транспорт» 1990, 336 с.
146. Пархомов В.Т. Устройство и эксплуатация тормозов. Желдориздат, Трансинфо, 2005, 788 с.
147. Плакс А.В. Системы управления электрическим подвижным составом. Издательство „Маршрут”, 2005.
148. Ранькис И.Я. Работа систем импульсного рекуперативного торможения при шунтированной активным сопротивлением последовательной обмотке возбуждения тягового двигателя постоянного тока. Изв.АН ЛатвССР. Сер. Физ. И техн. Наук, 1978, № 3, - 150 стр.
149. Серебряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электротехнические материалы. Издательство „Маршрут” 2005.
150. Третьяков А.П., (под ред). Подвижной состав и тяговое хозяйство железных дорог М.,1971.
151. Тяговые расчёты. Методические указания к курсовому проектированию под редакцией Ю. Н. Ликратова. Новосибирск, 1989.
152. Чиликин М., Ключев В., Сандлер А. Теория автоматизированного электропривода – Москва: Энергия, 1979. 615 стр.
153. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком. 2007. – 288 с.