

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Vladimirs KAREVS

**DZELZCEĻA AUTOMĀTIKAS UN TELEMĀTIKAS SISTĒMAS
MONITORINGA UN DIAGNOSTICĒŠANAS METOŽU IZPĒTE UN
IZSTRĀDE**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2013

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

Vladimirs KAREVS

Doktora studiju programmas „Elektrotehnoloģiju datorvadība” doktorants

**DZELZCEĻA AUTOMĀTIKAS UN TELEMĀTIKAS SISTĒMAS
MONITORINGA UN DIAGNOSTICĒŠANAS METOŽU IZPĒTE UN
IZSTRĀDE**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Asoc. Profesors, Dr.sc.ing.
M.MEZĪTIS

Rīga 2013

UDK 656.25 (043.2)
Ka 545 d

Karevs V. Dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmas monitoringa un diagnosticēšanas metožu izpēte un izstrāde. -R.:RTU, 2013.- 35 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU TMF DzTI 2012.gada 12.jūlijā lēmumu, protokols Nr.4/2012



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai pēc doktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai-2” ietvaros.

ISBN 978-9934-10-436-7

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2013.g. 3. Jūlijā Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, 117 auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr.hab.sc.ing. Ivars Raņķis
Rīgas Tehniskā Universitāte

Dr.sc.ing. Dainius Udrišs
Viļņas Gediminas Tehniskā Universitāte

Dr.sc.ing. Boriss Perniķis
Eksperts dzelzceļa automātikas un telemātikas jomā

APSTIPRINĀJUMS

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

Vladimirs Karevs(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, slēdzienu vai secinājumus, literatūras sarakstu un patentu apskatu, 7 pielikumus, 96 attēli un ilustrācijas, 14.tabulas, 94 formulas kopā 172 lappuses. Literatūras sarakstā ir 129 nosaukumi.

SATURS

VISPĀRĪGAIS DARBA RAKSTUROJUMS.....	5.lpp.
Tēmas aktualitātes	
Darba mērķis un uzdevumi	
Pētījumos izmantotas metodes un līdzekļi	
Zinātniska novitāte	
Darba sasniegti rezultāti	
Darba aprobācija	
Autora publikācijas saraksts	
Izstrādātie patenti un izgudrojumi	
IEVADS	12.lpp.
1. Monitoringa un diagnostikas funkciju uzdevums	23.lpp.
2. Elementa stāvokļa skaitliskā novērtējuma metodoloģija	53.lpp.
3. Akumulatora padziļinātas diagnosticēšanas metodes izstrāde	65.lpp.
4. Jaunā pieeja DzATS pamatelementu parametriskajā diagnosticēšanā	91.lpp.
5. Kustības drošības nodrošināšanas sistēmas kodu iekārtas diagnosticēšana	113.lpp.
Kopējie secinājumi	129.lpp.
Izmantotas literatūras saraksts	133.lpp.
Pielikumi	140.lpp.

VISPĀRĪGAIS DARBA RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Dzelzeļa automātikas un telemātikas sistēmu (DzATS) ekspluatācijas laikā ir nepieciešams garantēt augstu drošuma līmeni, kas skaitliski noteikts kā bezatteices vai nepārtrauktas darbības laiks (Uptime). Kopumā sistēmas uzbūves kvalitāte tiek novērtēta pēc gatavības koeficienta lieluma (Availability Factor) [27][28].

Dzelzeļa automātikas un telemātikas sistēmas drošuma līmeņa noturēšana balstās uz apkalpošanas paņēmieniem. Latvijas dzelzeļā ir pieņemta periodiska jeb plānveida elementu (TBM-Time Based Maintenance) aizvietošana (Replacement) ar jauniem vai atjaunotiem elementiem neatkarīgi no elementa stāvokļa (PM-Preventive Maintenance) [24]. Aizvietošanas plāns noteikts ar elementa konstrukciju, darba režīmu un balstās uz statistiskiem elementa parametru novērojumiem. Tādā veidā apkalpošanas pieeja nav ekonomiski optimālā, prasa jaunu elementu un remontu komplektu iegādi [24].

Darba mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir diagnostikas metožu izstrāde un pielietošana, kas kopumā ļaus paaugstināt vilcienu kustības vadības sistēmu drošuma un drošības rādītājus.

Darba uzdevumi:

- izanalizēt eksistējošās releju un mikroprocesoru vilcienu kustības vadības sistēmas pēc diagnostikas algoritmu, instrumentu un metožu attīstības līmeņa, ievērojot dažādu elementu pakļautību ātram nolietojumam un iespēju izveidot iebūvētās diagnostikas metodes;
- izstrādāt matemātisko aparātu dzelzeļa elementu darbderīguma novērtēšanai diagnostikas uzdevumā;
- izstrādāt reālā laikā diagnosticēšanas metodi akumulatora baterijas deklarēto parametru kontrolei, kas ļaus bez akumulatora atslēgšanas no slodzes novērtēt akumulatora kapacitāti;
- izstrādāt diagnostikas metodi, kas ļaus reālā laikā nepārtraukti kontrolēt elektromehāniskā impulsu releja darbderīgumu, īpaši uzsverot mehāniskās daļas nolietojumu;

- izstrādāt elektromehāniska kodu ceļa transmittera prototipu ar iebūvētām pašdiagnostikas funkcijām un pierādīt to drošības pakāpi atbilstoši SIL pēc CENELEC prasībām.

Pētījumā izmantotas metodoloģijas un līdzekļi

Programmēšanas vide:

- C++ Builder;
- Microchip MPLab ASM;
- HI-TECH C compiler.

Programmēšanas rīki:

- Microchip MPLAB ICD2.

Mērīšanas un signālu reģistrēšanas līdzekļi:

- PicoScope® 6 - PC Oscilloscope software.

Simulācijas rīki:

- Texas Instruments Tina 9.

Metodoloģijas:

- FTA – fault tree analyze.

MIL HDBK – 217:

- atteices intensitātes aprēķināšanas metodoloģija;
- atteices intensitātes statistiskie dati.

Starptautiskie un Eiropas institūcijas rekomendācijas:

- ANSI/ISA S84 (Functional safety of safety instrumented systems for the process industry sector);
- IEC 61508 (Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems);
- IEC 61511 (Safety instrumented systems for the process industry sector)
- IEC 62061 (Safety of machinery);
- EN 50128 (Railway applications - Software for railway control and protection);
- EN 50129 (Railway applications - Safety related electronic systems for signaling);

Nozares standarti:

- OCT 32. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики.

Zinātniska novitāte

- Sistēmas degradācijas koeficients, ka kritērijs atjaunošanas remonta efektivitātes;
- Universāla diagnostikas apakšsistēmas koncepcija:
 - apakšsistēmas modelis;
 - skaitliskie kritēriji diagnostikas apakšsistēmas novērtēšanai un optimizēšanai;
 - sistēmas adaptīva gatavību pret atteikumiem izturības paaugstināšanai;
 - algoritms sistēmas komforta līmeņa noteikšanai.
- DzATS elementu stāvokļa novērtēšana izmantojot derīguma pakāpes:
 - relatīvus atbilstības un neatbilstības koeficientus izmantošana diagnostikas uzdevumos;
 - elementa parametru vai funkcijas izmaiņas rakstura novērtēšana izmantojot stāvokļa funkcijas;
 - elementa derīguma pakāpe noteikšana izmantojot stāvokļa funkcijas kopumu;
 - apkalpošanas sakuma optimizēšana izmantojot neatbilstības koeficientus kritisko lielumus.
- Akumulatora stāvokļa diagnostika ar paaugstinātu precizitāti:
 - akumulatora ekvivalenta shēma;
 - akumulatora dualitāte īpašības;
 - slodzes ģeneratora izmantošana diagnosticēšanas uzdevumos.

- Impulsu releja reālā laikā diagnostika:
 - impulsu releja ekvivalenta shēma ar enkura klātbūtne;
 - impulsu releja enkura un kontaktu sistēmas stāvokļa diagnosticēšanas metode.
- Elektroniskais kodu devējs ar pašdiagnostikas funkciju:
 - drošuma un drošības koncepcija;
 - elektroniskā kodu devēja drošības pierādījums.

Darba rezultātus praktiskais pielietojums

Darbā sasniegti rezultāti var ietekmēt uz apkalpošanas kvalitāti un sistēmas drošuma un drošības rādītājus. Pētījumā piedāvāti:

- akumulatora stāvokļa diagnosticēšanas pēc iekšējas pretestības metodes precizitātes paaugstināšana;
- slodzes ģeneratora izmantošana akumulatora diagnosticēšanas uzdevumos (LR patents LV14473);
- impulsu releja enkura un kontaktu sistēmas stāvokļa diagnosticēšanas metode;
- elektroniskais kodu devējs ar pašdiagnostikas funkciju (LR patents LV14466).

Darba aprobācija

1. 11th Conference of Young Scientists of Lithuania „Science – Lithuania’s Future. TRANSPORT“, VGTU, Vilnius, Lithuania, 2008. Referāts „Источник питания аппаратуры СЦБ. Функциональные схемы”.

2. 11th Conference of Young Scientists of Lithuania „Science – Lithuania’s Future. TRANSPORT“, VGTU, Vilnius, Lithuania, 2008. Referāts „Электронный датчик для систем железнодорожной автоматики”.

3. The 49th International Scientific Conference “Power and Electrical Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia, 2009. Referāts „Application of electronic gauges for automatic devices diagnostics”.

4. The 50th International Scientific Conference “Power and Electrical Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia, 2009. Referāts „Modernization of the universal measuring device for mechanic”.

5. The 51th International Scientific Conference “Power and Electrical Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia, 2010. Referāts „Using compatible with load power supply on Latvian railway”.

6. The 51th International Scientific Conference “Power and Electrical Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia, 2010. Referāts „Numerical criteria for diagnostic subsystems, RTU zinātniskie raksti”.

7. 7th International Scientific Conference “TRANSBALTICA 2011”, VGTU, Vilnius, Lithuania, 2011. Referāts „Automatic device with fault tolerance”.

8. The 52th International Scientific Conference “Power and Electrical Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia, 2011. Referāts „Condition monitoring for electromechanical relays in railway automation”.

9. The 52th International Scientific Conference “Power and Electrical Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia, 2011. Referāts „Electronic code transmitter ECT”.

10. Starptautiskā konference „Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS’2012) ”Lietuva, Paņeveži, 3-5 may 2012. Referāts „Power Consumption and Control of Storage Batteries”.

11. Starptautiskā konference „Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS’2012) ”Lietuva, Paņeveži, 3-5 may 2012. Referāts „Model of Diagnostic and Monitoring Subsystem”.

12. International symposium and doctoral school of electrical engineering, dedicated to the 150th anniversary of Michael Dolivo-Dobrovolsky, Ronishi, Latvia, 24-

26 may, 2012. Referāts „Dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmas monitoringa un diagnosticēšanas metožu izpēte un izstrāde”.

13. Riga Technical University 53rd International Scientific Conference dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical institute / RTU Alumni, Rīga, Latvija, 11-12 october 2012. Referāts „Test Point for Battery under Load”.

Autora publikācijas saraksts

1. Mezītis M., Karevs V. Test point for the battery under load, Riga Technical University 53rd International Scientific Conference dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical institute //RTU Alumni, Rīga, Latvija, 11-12 october 2012 – 616 lpp.
2. Mezītis M., Karevs V. Power consumption and control of storage battery // In proceedings of 7th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2012), Lithuania, Panevezys, 2012, 91-97 lpp.
3. Mezītis M., Karevs V. Model of diagnostic subsystem // In proceedings of 7th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2012), Lithuania, Panevezys, 2012, 98-104 lpp.
4. Mezītis M., Karevs V. Automatic device with fault tolerance, Vilnius, VGTU, Journal: Transport, 2011 – 103-108 p.
5. Mezītis M., Karevs V. Automatic Measurement for Internal Resistance of Battery in Uninterruptible Power Source // RTU zinātniskie raksti. 4. sēr., Enerģētika un elektrotehnika. - 25. sēj. (2009), 141.-144. lpp.
6. Mezītis M., Karevs V. Modernized Universal Measuring Device for Mechanic // RTU zinātniskie raksti. 6. sēr., Mašīnzinātne un transports. - 30. sēj. (2008), 180.-185. lpp.
7. Mezītis M., Karevs V. Application of Electronic Gauges for Automatic Devices Diagnostics // RTU zinātniskie raksti. 6. sēr., Mašīnzinātne un transports. - 30. sēj. (2008), 186.-190. lpp.

Izstrādātie patenti un izgudrojumi

1. Mezītis Mareks, Karevs Vladimirs, Ivanovs Maksims.
Latvijas patents un izgudrojums Nr. 14466 „Elektroniskais kodu transmitters”.
2. Mareks Mezītis, Vladimirs Karevs .
Latvijas patents un izgudrojums Nr. 14473 „Sekundāra akumulatora testēšanas ierīce”.

Darba apraksts

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt diagnosticēšanas un monitoringa metodes dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmas releju daļai.

Pirmajā daļā izskatīti vispārējie jautājumi par monitoringa un diagnostikas apakšsistēmas uzbūvi un apkalpošanas izmaksu optimizāciju, izmantojot diagnosticēšanas rezultātus un optimizēto pie kritērijiem diagnostikas apakšsistēmas pielietojumu; apskatīti mērinstrumenti kas tiek izmantotie diagnostikā, to priekšrocības un trūkumi, kā arī mērinstrumentu attīstība. IZanalizētas klastera sistēmas uzbūves priekšrocības.

Otrajā daļā izskatītie jautājumi, kas ir saistīti ar informācijas apstrādi monitoringa un diagnostikas apakšsistēmās, apkalpošanas momenta sākuma optimizāciju; izanalizētas bojājumu cēloņu un seku attiecības; veikts diagnostikas objekta apraksts, izmantojot derīguma pakāpi un stāvokļa funkcijas parametru aprakstu. Izklāstīts matemātiskais aparāts pārejai no fiziskiem lielumiem uz relatīviem koeficientiem.

Trešajā daļā piedāvāta un izanalizēta jauna monitoringa un diagnostikas metode neapkalpojamai akumulatora baterijai. Metode balstās uz akumulatora iekšējās pretestības novērtējumu ar lielāku precizitāti. Izklāstīti nosacījumi iekšējās pretestības novērtējuma

metodes precizēšanai, kā arī sekojošā slodzes ģeneratora izmantošanas iespējas akumulatora diagnostikā.

Ceturtajā daļā izanalizēta elektromehānisko releju monitoringa un diagnostikas metode. Kontrolējamie elementi sadalīti pēc drošuma pakāpes un piemērotības diagnosticēšanai. Iztirzāti pārejas procesi impulsu releja spolē un enkura ietekme uz ārējo elektromagnētisko lauku. Rezultātā piedāvāta jauna reālā laika elektromehāniskās sistēmas stāvokļa diagnosticēšanas metode un izstrādāts algoritms papildus aprīkojuma uzbūvei.

Piektā daļa veltīta jauno monitoringa un diagnostikas metožu izstrādei elektromehāniskā kodu ceļa transmitterim. Izanalizēta elektromehāniskā kodu ceļa transmittera elektroniskā analoga uzbūve. Izprojektēts un izstrādāts elektroniskā kodu ceļa transmittera prototips, kas notestēts reālos apstākļos Latvijas dzelzceļā. Skaitliski pierādīta prototipa drošības pakāpe un aprēķināti drošuma rādītāji.

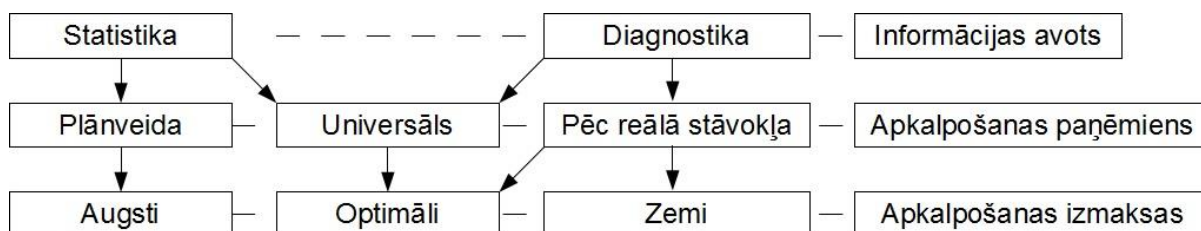
1. Monitoringa un diagnostikas funkciju uzdevums

Monitoringa un diagnostikas apakšsistēmas ir instruments informācijas savākšanai par sistēmas elementu un līdz ar to par pašu sistēmu tehnisko stāvokli (Health) no drošuma viedokļa.

Diagnostikas funkcija nodrošina sistēmas elementu tehniskā stāvokļa novērtēšanu pēc raksturīgajām pazīmēm un to izmaiņām.

Tāda veida diagnostikas apakšsistēmas primārā funkcija ir kontrolēt vadības sistēmas elementu tehniskos rādītājus. Tādējādi elementa tehnisko parametru vērtības noņemšanas precizitātes pakāpe un kontrolējamo parametru skaits (Depth) būtiski ietekmē elementa darbderīguma novērtēšanu.

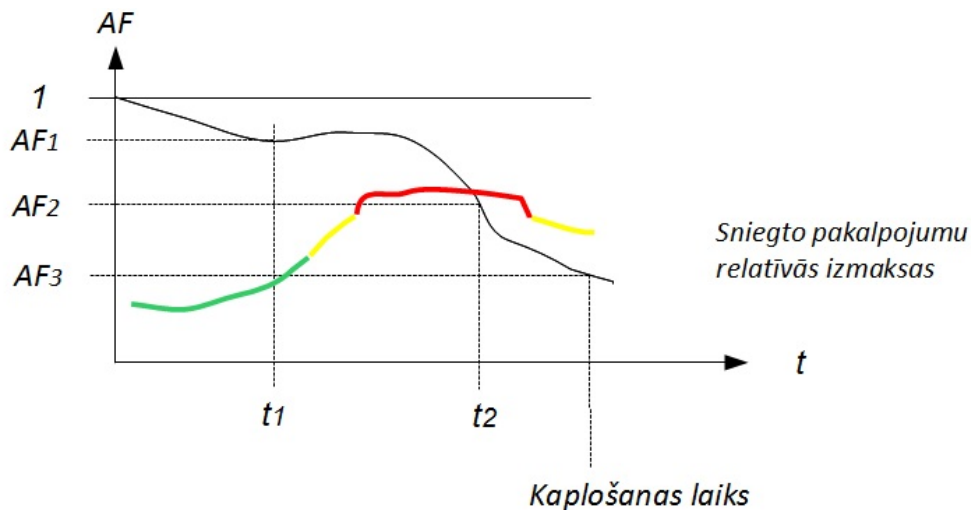
Apkalpošanas tehnoloģijas izvēle ir atkarīga no diagnostikas apakšsistēmas esamības un iespējām. Apkalpošanas paņēmienus nosacīti var iedalīt uz statistiskus (TBM - Time Based Maintenance) un tajos, kas izmanto elementa parametru novērošanu ekspluatācijas laikā (CBM - Condition Based Maintenance) (1. att.).



1. att. Apkalpošanas paņēmieni

Automātikas sistēmas drošuma kritēriji atbrīvo atbildīgus elementus no argumentācijas par daļēju darbību, kas nozīmē, ka tie atjaunoti TBM procedūras laikā.

Gatavības koeficients - iespēja, ka objekts izrādīsies darbībā stāvoklī izvēlētajā laikā brīdī, izņemot plānotos periodus, kuru laikā objekta izmantošana uzdevumam nav paredzēta un apvieno tādas jēdzienus, kā drošums un remontējamība. Gatavības koeficients AF ir gatavības funkcijas (2. att.) robežstāvoklis un ir varbūtība sistēmas darbderīguma laikā robežās.



2. att. Gatavības funkcija $AF(t, RCPS)$ un apkalpošanas izmaksas $RCPS$

Vadības sistēmas izmantošanas laikā notiek dabiskā sistēmas degradācija, kas saistīta ar elementu nolietošanu. Sistēmas degradāciju iespējams novērtēt pēc degradācijas koeficienta lieluma:

$$DgF = 1 - \frac{MTBF_{used}}{MTBF_{new}} = 1 - \frac{\lambda_{new}}{\lambda_{used}},$$

kur $MTBF_{new}$ – vidējais laiks bezatteices darbībai jaunai sistēmai;

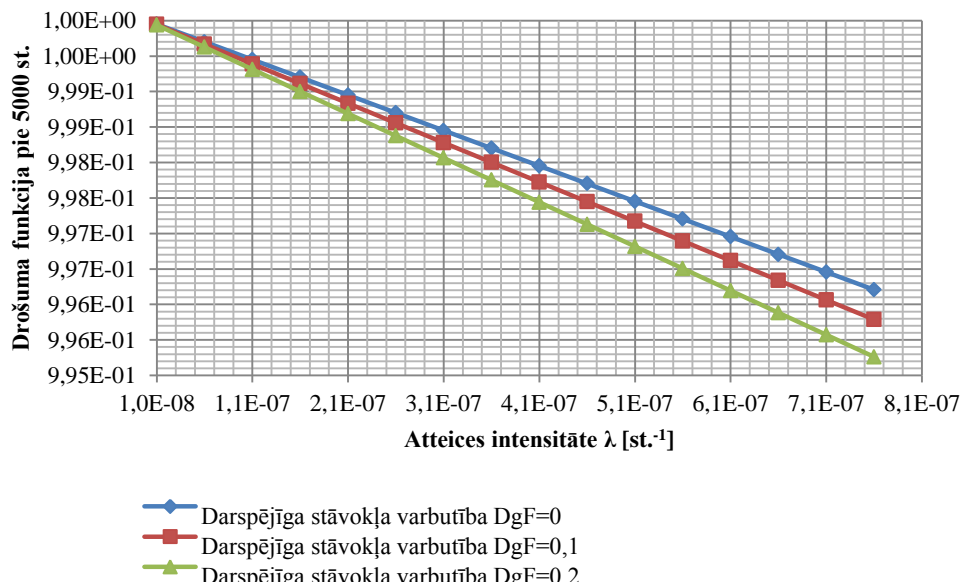
$MTBF_{used}$ – vidējais bezatteices darbības laiks atjaunotai sistēmai;

λ_{new} - atteices intensitāte jaunai sistēmai;

λ_{used} - atteices intensitāte atjaunotai sistēmai.

Tādā veidā, sistēmas drošuma funkcija, jeb darbspējīga stāvokļa varbūtība izmantojot degradācijas koeficientu (3. att.):

$$R_{used}(t) = e^{-\lambda_{used} \cdot t} = e^{-\lambda_{new} \cdot t \cdot (1 - DgF)^{-1}}.$$



3. att. Drošuma funkcija atkarība no degradācijas koeficienta

Apkalpošanas stratēģijas optimizēšana ir atkarīga no izvēlētā mērķu kopuma:

- I. Gatavības koeficients $AF \rightarrow 1$;
- II. Degradācijas koeficients $DgF \rightarrow 0$;
- III. Remonta vidējās apkalpošanas izmaksas $RCPS \rightarrow min$.

Apkalpošana pēc stāvokļa - CBM (Condition Based Maintenance) ir iespējama tikai tad, ja tiek izmantota augstas precizitātes prognozēšanas sistēma, kas balstās uz padziļinātas diagnostikas funkcijām, un šajā gadījumā sistēma būs optimāla pēc $RCPS$ izmaksām (nosacījums III).

Tomēr, lai gatavības koeficienta AF funkcija sasniegtu maksimumu pie CBM apkalpošanas, ir jāņem vērā elementu degradācijas koeficients DgF , kas ļaus nesamazināt gatavības koeficienta vērtību, ieviešot sistēmā atjaunos nevis jaunus elementus.

Parasti diagnostikas procedūru sākšanai tiek saņemta informācija par simptomiem, kas saistīti ar konkrēta veida notikumu (Novelty) [22], kas var būt nepareiza darbība, atteice vai bojājums:

$$\mathcal{F}(F_i) \rightarrow S(F_i) \ni \{s_i\},$$

kur s_i – simptoms;

F_i - notikums.

Korespondence „simptoms – notikums” palielina notikuma vietas lokalizācijas ātrumu (Localization), kas savukārt palielina sistēmas gatavības koeficientu. Notikuma apstiprināšana (Fault Detection) var tikt izmantota sistēmas rekonfigurācijai, kas nodrošina sistēmas pretatteices noturību (Fault Tolerance), vai sistēmas pārslēgšanai noteiktā drošā stāvoklī (Fault Management).

Informācijas apstrādes algoritmu „jaudas” palielināšana ļauj kompensēt informācijas avota nepietiekamu ticamību līdz noteiktai pakāpei.

Diagnostikas apakšsistēma savā sastāvā ietver aparatūras (Hardware) komponentes un programmatūras (Software) sastāvdaļas. Lai izanalizētu dažādu diagnostikas apakšsistēmu priekšrocības un noteiktu diagnostikas optimizācijas virzienu, kā arī salīdzinātu piedāvātos variantus, ir nepieciešams ieviest skaitliskos kritērijus diagnostikas funkcijas izpildīšanas kvalitātes novērtēšanai.

Hipotētiski pastāv virkne iespējamo apakšsistēmas uzbūves kopumu, kas spēj nodrošināt izvirzītās prasības. Līdz ar to prasībās pret diagnostikas apakšsistēmu var būt skaidri definēti kritēriji, kas ļauj novērtēt apakšsistēmu:

$$Cr^{DSS} = (Cr^1, Cr^2, \dots, Cr^n, \dots, Cr^N)$$

kur Cr^{DSS} - diagnostikas apakšsistēmas kritēriju virkne;

Cr^n - n-tais definētais kritērijs.

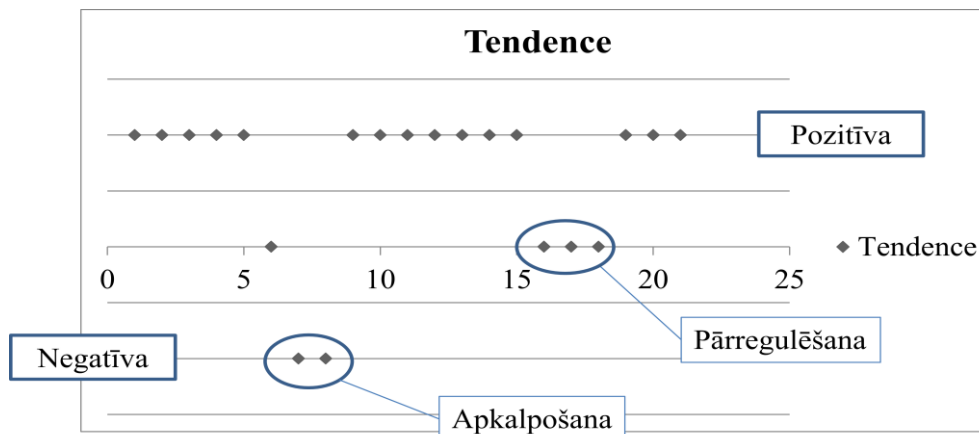
Darba piedāvāta sasniedzama dziļuma kritērija izmantota metodes efektivitātes un ticamības noteikšanai:

$$PD(Prm) = \frac{Prm^D}{Prm^\Sigma} \cdot 100\%.$$

Promocijas darbā iztirzāta tendences kritēriju izmantošanas iespējas diagnostikas apakšsistēmas darbības novērtēšanai un apkalpošanas momenta sākšanai (4. att.). *Dir*

(Direction) – tendences kritērijs, kas raksturo diagnostikas apakšsistēmas kvalitāti un atbilstību galvenajiem mērķiem, saskaņā ar izteiksmi:

$$Dir = \begin{cases} 1, & \text{if } P^{true} > r^+ \cdot (P_r^{false} + P_r^{skip}) \\ 0, & \text{if } P^{true} \cong r^0 \cdot (P_r^{false} + P_r^{skip}) \\ -1, & \text{if } P^{true} < r^- \cdot (P_r^{false} + P_r^{skip}) \end{cases} .$$



4. att. Tendences kritērija izmantošana

Promocijas darbā konstatēts, ka validācija, tā vienkāršāka izpratnē ir no ražotāja noteiktu raksturojumu un īpašību apstiprināšana. Tas nozīmē, ka testēšana notiek pēc ražotāja vai izstrādātāja, ne viss pēc lietotājam piemērotas metodikas.

Diagnosticēšanas sistēmas modele nodrošina informācijas plūsmu par elementa tekošu darbaspējīgu stāvokli un izmanto momentānu elementa izņemšanu no sistēmas uz laika momentus, kad elementa stāvoklis neietekmē uz sistēmas funkcionēšanu, un ievieto atpakaļ sistēmā tikai validēto elementu.

Ja elementa izņemšanas ātrums $SPEED_{replacement} \rightarrow \infty$, aizvietošanas frekvence $F_{replacement} = const$, tad validācijas periodiskums $T_{validation} = 2 \cdot (F_{replacement})^{-1}$.

Validācijas periodiskums $T_{validation}$ definē informācijas atjaunošanas plūsmas ātrumu.

Pozitīvs validācijas rezultāts ir pamatojums elementa atgriešanas sistēmā, pretēja gadījumā elementa analogs paliek sistēmā.

Validācijas procedūras rezultāti iekārtoti derīguma pakāpes līmenī:

$$DV(Idle) = \begin{cases} 1 & \text{ja elements ir valids} \\ 0 & \text{ja element nav valids} \end{cases} .$$

Derīguma pakāpes līmenis reālā diagnostikas apakšsistēmā tiek paplašināts ar vērtību atbilstoši gandrīz derīgam stāvoklim un atspoguļo sistēmas funkcionēšanas novirzi no elementa stāvokļa:

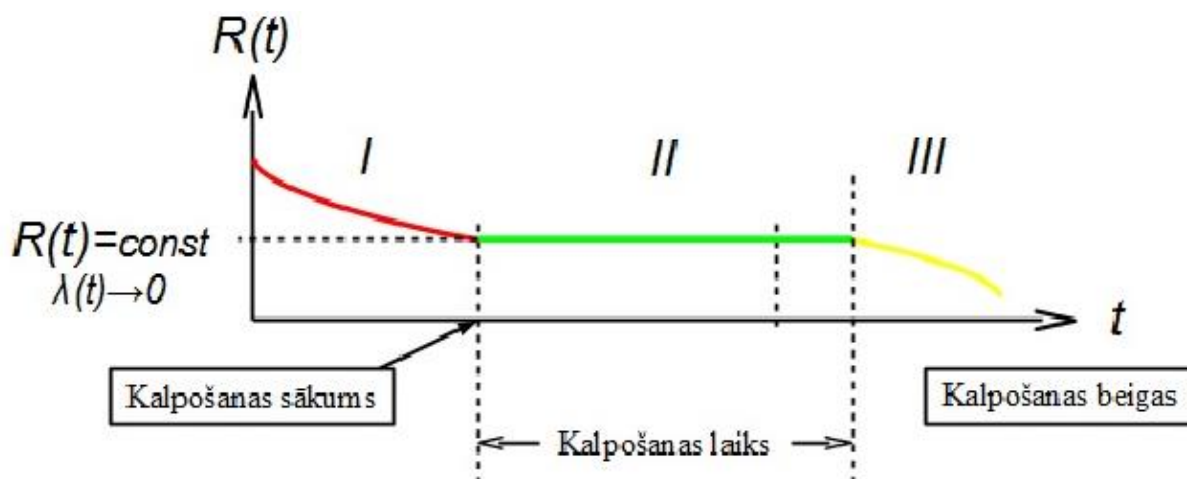
$$DV(Realization) = \begin{cases} +1 & \text{ja elements ir valids} \\ \pm 0 & \text{ja elements ir kvazi valids.} \\ -1 & \text{ja element nav valid} \end{cases} .$$

Gadījumā, ja tiek izmantota elementu izcila izpilde [21], tad reālajā sistēmā vidējais laiks starp atteicem $MTBF$, būtu līdzīgs vai lielāks par pašas sistēmas ekspluatācijas laiku: $MTBF \geq LifeTime$. Tomēr, ne visi elementi pakļaujas var būt izpildīti izcili, vai tāds

izpildījums nepamatoti sadārdzina sistēmas izbūves izmaksas, tādēļ ir jāizmanto diagnostikas paņēmieni, lai savlaicīgi atklātu sistēmas kritisko stāvokli.

Katrs elements var būt definēts ar drošuma funkciju (5. att.):

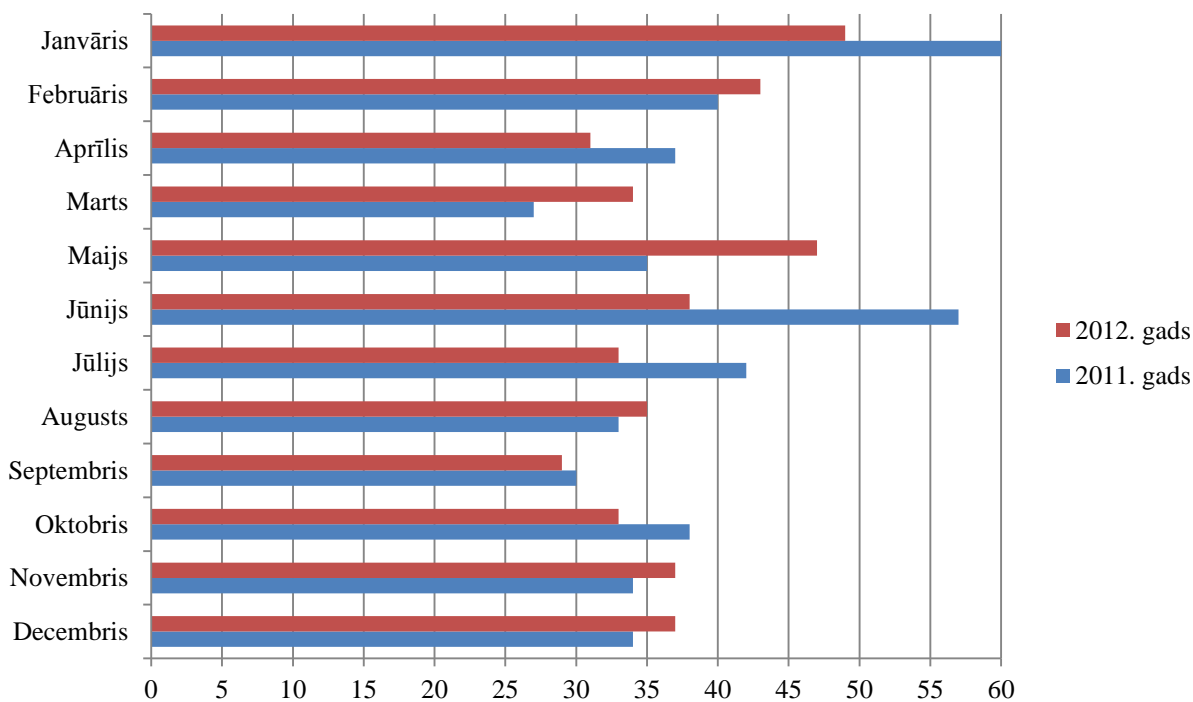
$$R(t) = \frac{n(t)}{N}.$$



5. att. Drošuma funkcija

6. attēlā uzradīta negaidītas atteices biežuma sadalījums gada laikā, kur parametru izkliede ir saistīta ar ekspluatācijas apstākļiem. Negaidītas atteices vai bojājumus varbūtība adoptētai sistēmai:

$$P_i^{ADAPT} = \sum_{Y=1}^M m_i(Y) \cdot AAF_i(Y) / \sum_{Y=1}^N \sum_{i=1}^{12} m_i(Y).$$



6. att. Negaidītas atteices biežums 2011. un 2012. gados gada laikā

2. Elementa stāvokļa skaitliskā novērtējuma metodoloģija

Apkalpošanas pieejas pēc reāla stāvokļa īstenošana pieprasa noteikt diagnosticēšanas procedūras rezultātus, kā derīguma pakāpes līmeņus (1. tabula).

1. tabula

Elementu diagnosticēšanas rezultāts

Elementa numurs	0	1	2	...	...	n	...	...	N
0	$DV(0,0)$	$DV(0,1)$	$DV(0,2)$	...	...	$DV(0,n)$	...	...	$DV(0,N)$
1	$DV(1,0)$	$DV(1,1)$	$DV(1,2)$	...	...	$DV(1,n)$	...	...	$DV(1,N)$
...
m	$DV(m,0)$	$DV(m,1)$	$DV(m,2)$	...	...	$DV(m,n)$	...	...	$DV(m,N)$
...
M	$DV(M,0)$	$DV(M,1)$	$DV(M,2)$	...	...	$DV(M,n)$	...	...	$DV(M,N)$

Atšķirība no [29][34] izskatītas pieejas, kur izmanto rezultātam R_i^j Bulēvas algebras lielumu 1 nedarbspējīgam stāvoklim, vai 0 darbspējīgam stāvoklim, promocijas darbā tiek ieviesta trīszīmju derīguma pakāpes sistēma $DV(m, n)$, kas tiek definēta ar +1, ±0, -1 līmenim.

Elementa parametra stāvokļa aprakstu trīszīmju loģikas lielumos:

$$SF(Prm, t, \tau) = \begin{cases} +1 & \text{if } RDF(Prm, t) \leq RDF_{min}. \\ \pm 0 & \text{if } RDF_{max.} > RDF(Prm, t) > RDF_{min}. \\ -1 & \text{if } RDF(Prm, t) \geq RDF_{max}. \end{cases}$$

Apkalpošana pēc plāna vairāk atbilst ideālai diagnostikas apakšsistēmas modeļa darbībai pie validācijas periodiskuma $T_{validation} \rightarrow 0$.

Relatīvos neatbilstības koeficientos elementa parametrs aprakstīts ka:

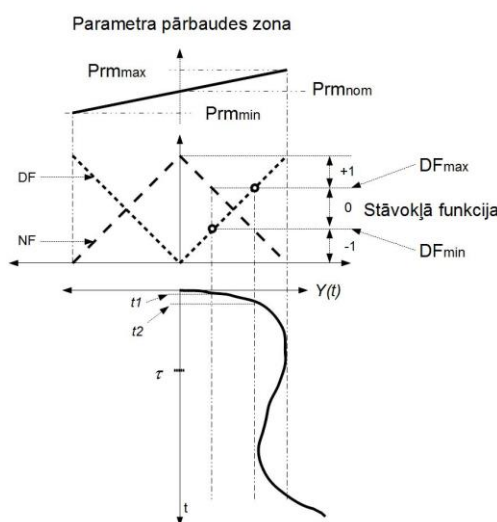
$$RDF(Prm) = \begin{cases} RDF_{(-)} = \left| \frac{Prm_{nom.} - Prm}{Prm_{nom.} - Prm_{min.}} \right| \\ RDF_{(+)} = \left| \frac{Prm_{nom.} - Prm}{Prm_{max.} - Prm_{nom.}} \right| \end{cases}$$

Parametra izmaiņas aprakstīšana izmantojot RDF :

$$Prm = [Prm_{nom.}; Prm_{min.}; Prm_{max.}; RDF_{(-)}; RDF_{(+)}]$$

vai

$$Prm = [Prm_{nom.}; \Delta Prm_{(-)}; \Delta Prm_{(+)}; RDF_{(-)}; RDF_{(+)}].$$



7. att. Stāvokļa funkcijas veidošanas grafiskais paskaidrojums

Apstrādes procesā ir iespējams veikt adoptāciju izmantojot sakuma noteikumus $Prm_{nom.}$, $Prm_{min.}$, $Prm_{max.}$ izmaiņu (7. att.). Tas nodrošina apstrādes algoritma pielāgojamību.

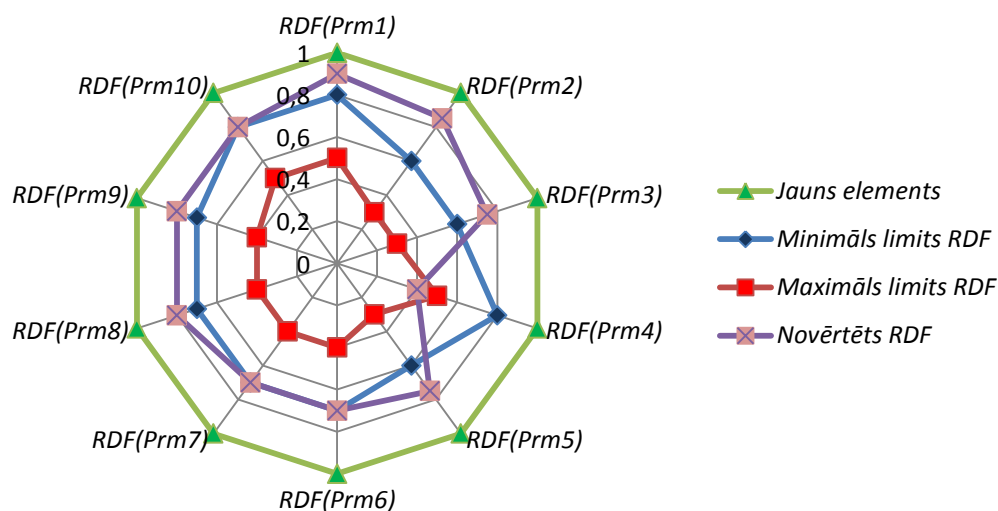
Līdz ar ko, elementa derīguma pakāpe pēc parametru kopuma novērojuma:

$$DV_{element} = \begin{cases} +1 & \text{if } (RDF^1 \leq RDF_{min.}^1 \wedge RDF^2 \leq RDF_{min.}^2 \dots \wedge RDF^k \leq RDF_{min.}^k \dots \wedge RDF^K \leq RDF_{min.}^K) \\ \pm 0 & \text{if } \left((RDF_{max.}^1 > RDF^1 > RDF_{min.}^1) \wedge (RDF_{max.}^2 > RDF^2 > RDF_{min.}^2) \dots \right. \\ & \left. \wedge (RDF_{max.}^k > RDF^k > RDF_{min.}^k) \dots \wedge (RDF_{max.}^K > RDF^K > RDF_{min.}^K) \right) \\ -1 & \text{if } (RDF^1 \geq RDF_{max.}^1 \vee RDF^2 \geq RDF_{max.}^2 \dots \vee RDF^k \geq RDF_{max.}^k \dots \vee RDF^K \geq RDF_{max.}^K) \end{cases}$$

Derīguma pakāpe operatoru formā parametru kopumam:

$$DV_{element} = \begin{cases} +1 & \text{if } \sum_{k=1}^K SF^k = K \\ \pm 0 & \text{if } \sum_{k=1}^K SF^k < K \quad \prod_{k=1}^K SF^k \geq 0 \quad \forall SF^k \geq 0 \\ -1 & \text{if } \prod_{k=1}^K SF^k < 0 \end{cases}$$

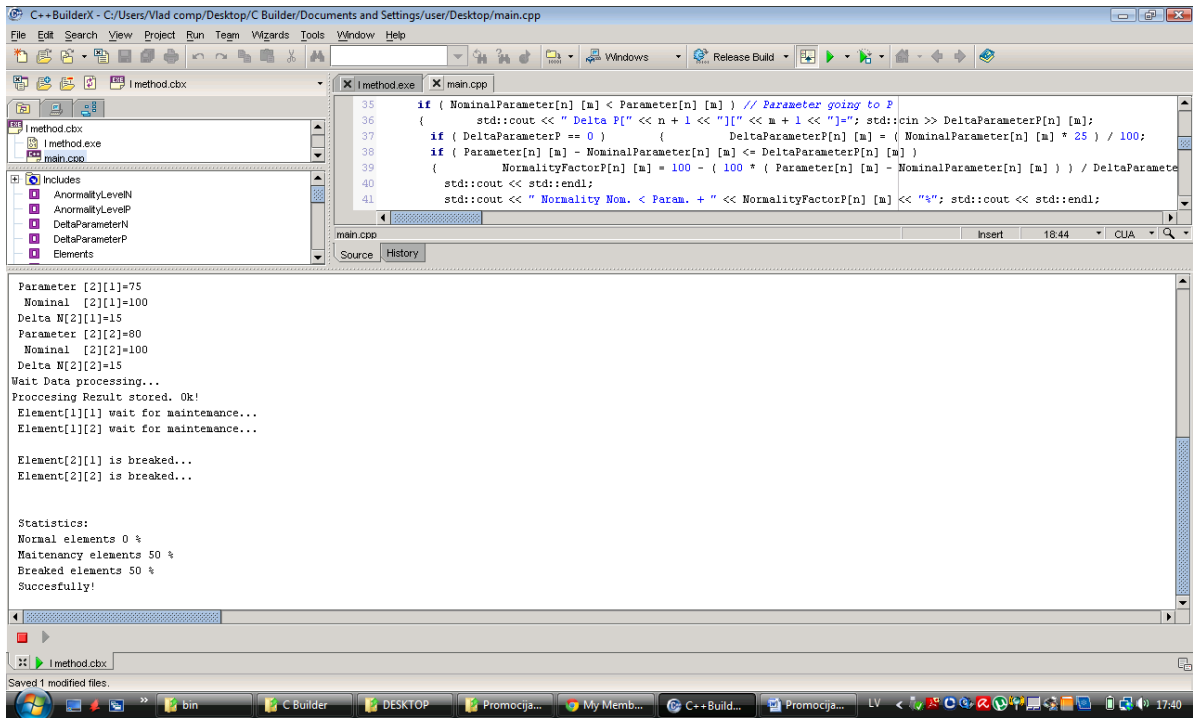
Novēroto parametru skaits K nosacīts ar maksimālo diagnostikas dziļuma sasniegšanu apakšsistēmā. Tādā veidā elementa stāvoklis ir aprakstīts relatīvos lielumos un sistēmā izplatītā informācija ir par konkrēta elementa stāvokli, bet ne informācija par parametru skaitliskiem lielumiem (8. att.).



8. att. Stāvokļa funkcijas piemērs pēc parametru kopuma

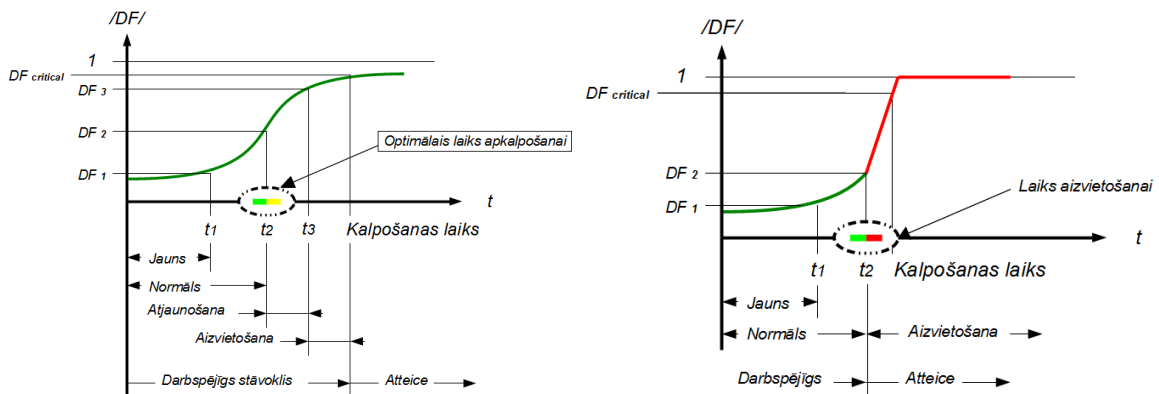
Promocijas darba pierādīts, ka tāda pieeja kad stāvokļa funkcijas noteikšanai tiek izmantota informācija par elementu, kas nedublē informāciju par sistēmas funkcionēšanu, ļauj nodrošināt sistēmas elementu monitoringu tikai pēc diagnostikas apakšsistēmas darbības.

Elementu DV rādītāju konveijera veida aprēķināšanas rezultāts piedāvāts 9. attēlā.



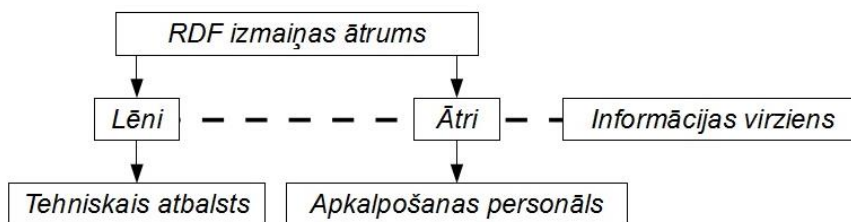
9. att. Programmatūra *DV* reizināšanai un lēmuma pieņemšanai automatiskajā režīmā

Pēc elementa parametru izmaiņas ātruma var izšķirt divas grupas: elementi ar ātriem un pakāpeniskiem parametru izmaiņu [1][2] (10. att.).



10. att. Momenta noteikšana pēc atteices klasifikācijas

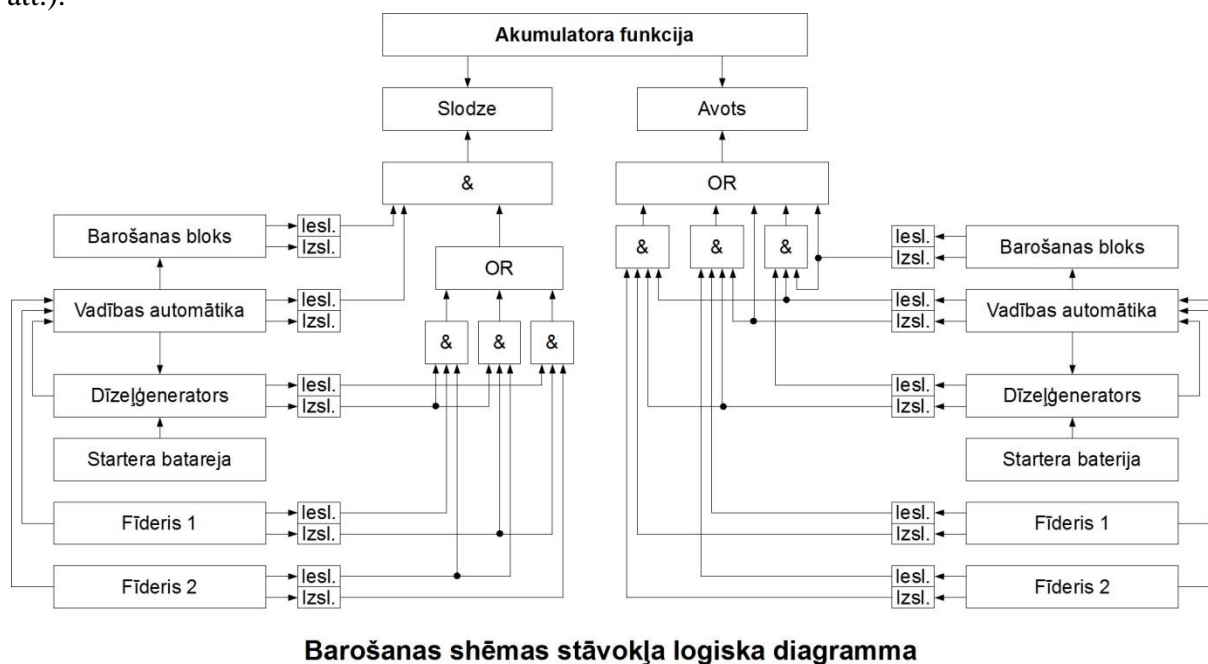
Personāla reakcijas ātrums noteikts pēc *RDF* izmaiņas ātruma klasifikācijas grupā un ir kritērijs attiecīga remontdienesta izvēlei (11. att.).



11. att. Informācijas izplatīšanas virziens

3. Akumulatora padziļinātas diagnosticēšanas metodes izstrāde

Akumulators viena laikā momentā ir slodze ar specifisko funkciju, kas saistīta ar elektriskās enerģijas uzkrāšanu, bet citlaik tas ir līdzstrāvas sprieguma avots, kas nodrošina pamatslodzei papildu vai visu nepieciešanu jaudu atkarīgi no elektrobarošanas apstākļiem (12. att.).



iesl. – loģiskais 1
izsl. – loģiskais 0

12.att. Loģiskais paskaidrojums akumulatora funkcijas maiņai

Pēc ražotāja datiem ir iespēja nodrošināt uzturēšanas sprieguma korekciju atkarīgi no ārējās temperatūras, kas ļauj saglabāt akumulatora kapacitāti visa temperatūras diapazonā:

$$\text{if } T < T_{(-)}, \text{ then } U_{Storage}^{Battery}(T) = N_{cells} \cdot \left(U_{Cell}^{Battery}(T_0) + k_{T(+\Delta U)}^{Type_{Battery}} \cdot (T_{(+\Delta U)} - T) \right)$$

$$\text{if } T = T_0, \text{ then } U_{Storage}^{Battery}(T_0) = N_{cells} \cdot \left(U_{Cell}^{Battery}(Type_{Battery}, T_0) \right)$$

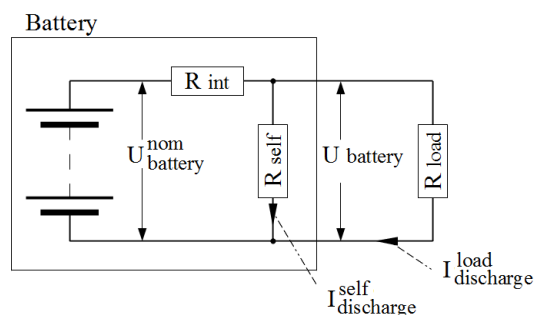
$$\text{if } T > T_{(+)}, \text{ then } U_{Storage}^{Battery}(T) = N_{cells} \cdot \left(U_{Cell}^{Battery}(T_0) - k_{T(-\Delta U)}^{Type_{Battery}} \cdot (T_{(-\Delta U)} - T) \right).$$

Pieņemta ir akumulatora stāvokļa noteikšana pēc iekšējās pretestības lieluma $R_{int\ min.} \leq R_{int}^{measured} \leq R_{int\ max.}$ vai, pēc slodzes noturēšanas testa:

$$\begin{cases} I_{load} = (0.1 \div 0.15) * C * st.^{-1} \\ U_{battery} \geq U_{battery\ nom.} \\ t_{load} \geq T_{load\ min.} \end{cases}$$

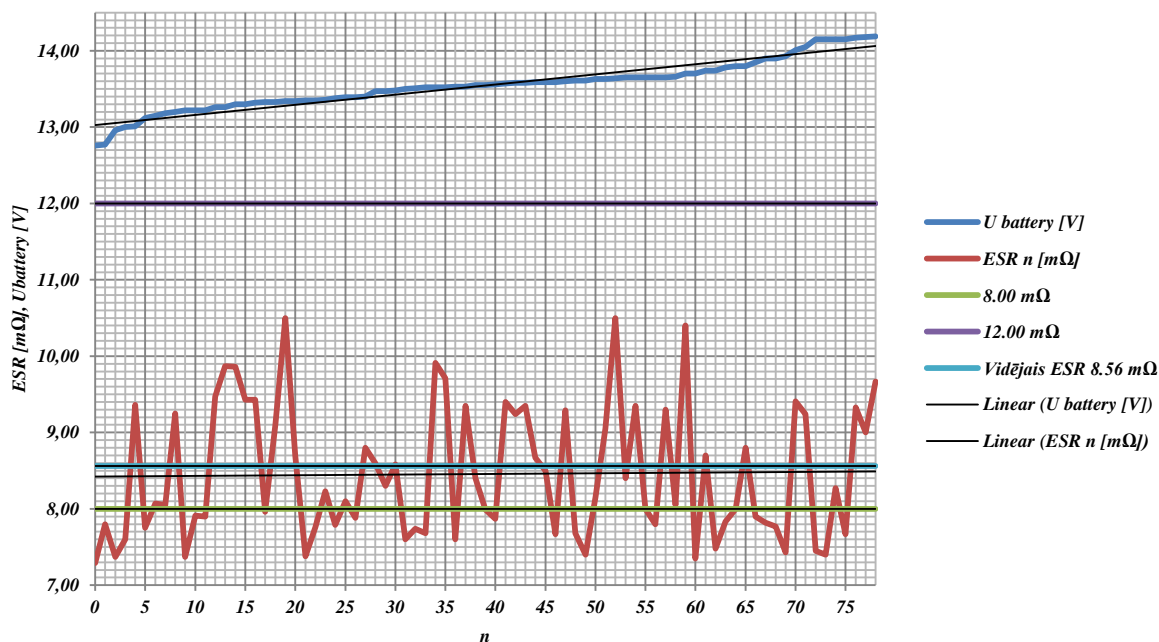
13. attēla uzradīta akumulatora ekvivalenta shēma ar pašu izlādēšanas strāvu (Self Discharge) ietekme:

$$U_{battery}(t) = U_{battery}^{nom} - (I_{discharge}^{load}(t) + I_{discharge}^{self}(t, T)) \cdot R_{int}(t).$$



13. att. Akumulatora ekvivalenta shēma

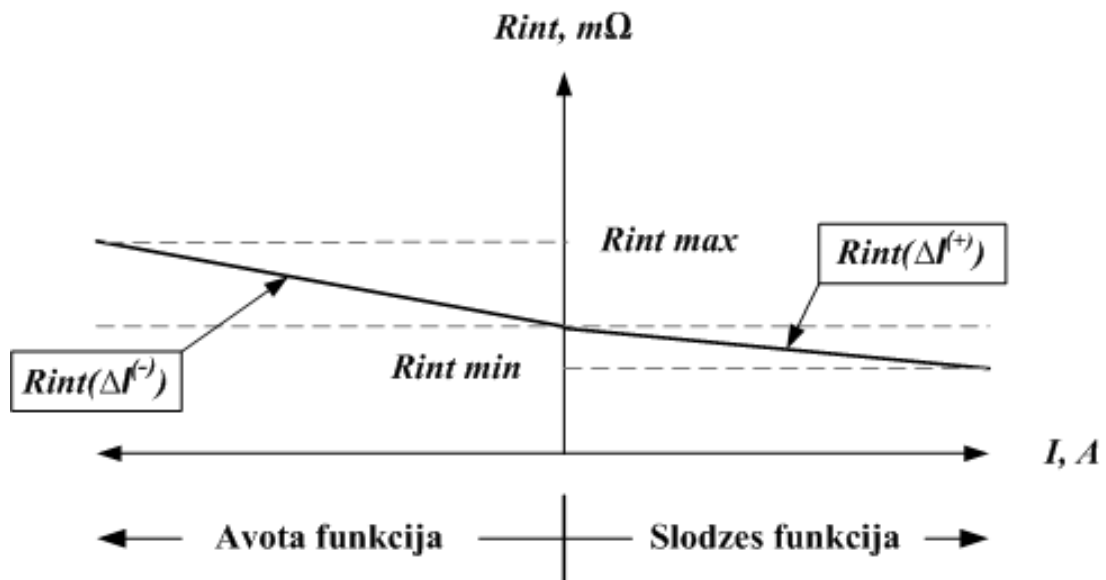
Apkopojot iekšējas pretestības mērījumus, kuri veikti A400 «Sonnenschein» 12V akumulatoriem, pēc pieņemtas «Latvijas dzelzceļa» TEN instrukcijām ir aprēķināts iekšējas pretestības vidējais lielums, mērījumu deviācija un izveidots grafiskais mērījumus piedāvājums $R_{int}, U_{battery}^{storage}, n$ (14. att.).



14. att. Grafiks $ESR = f(U_{battery}^{storage})$

Iekšējas pretestības vidējais lielums $R_{int}^{mean} = \frac{\sum_{n=1}^N R_{int}^n}{N} = 8,25 \text{ m}\Omega$ ar mērījumu kopuma deviāciju pēc Kornfielddā metodes $\Delta R_{int}^{measured} = 1.6 \text{ m}\Omega$. Rezultātā: $R_{int}^{estimated} = 8.25 \text{ m}\Omega \pm 19.4\%$.

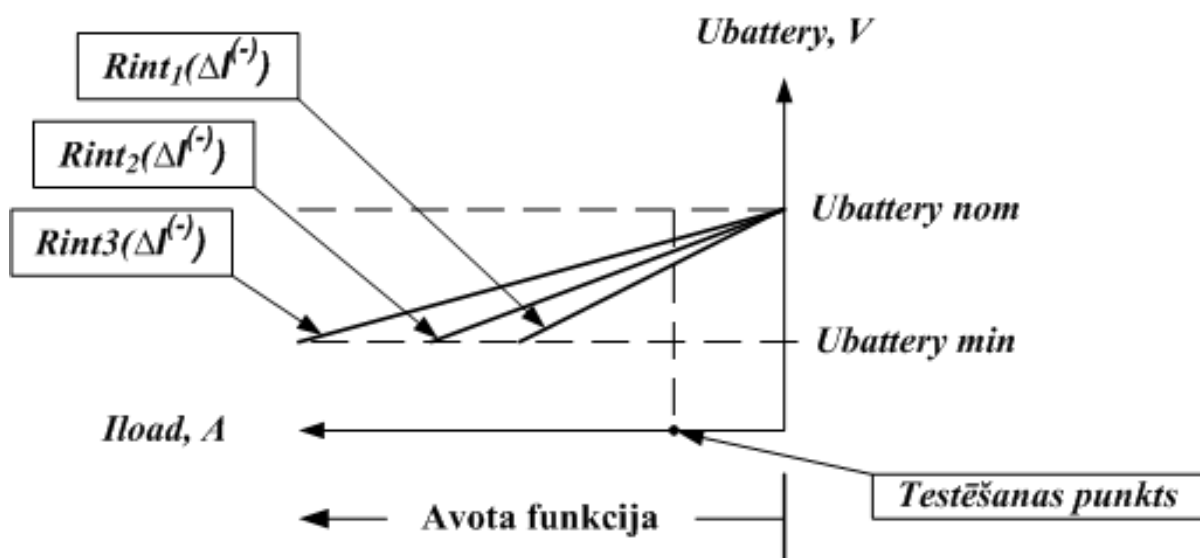
Akumulatora elektroķīmiskas īpašības ļauj izteikt sekojošo atkarību. Pozitīva ΔI^+ strāvas izmaiņa dot akumulatora atlikušās kapacitātes $\Delta C_{battery}^+$ pieaugumu $\Delta C_{battery}^+ = \Delta I^+ \Delta t$ un negatīva ΔI^- strāvas izmaiņa dot akumulatora atlikušās kapacitātes $\Delta C_{battery}^-$ zudumu $\Delta C_{battery}^- = \Delta I^- \Delta t$ (15. att.).



15.att. Akumulatora dualitāte

Promocijas darbā piedāvātā akumulatora baterijas diagnostikas metodē pieļauts, ka akumulatora slodzes funkcijas laikā un avota funkcijas laikā parametri ir atšķirīgi: $|\Delta C_{battery}^-| \neq |\Delta C_{battery}^+|$ un ka rezultātā $R_{int}^+ \neq R_{int}^-$. Ar mērķi paaugstināt testēšanas metodes precizitāti tika ievadīti stāvokļa noteikšanas noteikumi:

- Testēšanas laikā baterija izpilda avota funkciju;
- Baterijai izvēlēts noteikts testēšanas punkts $(0.1 \div 0.15) \cdot C_{battery}^{nom.}$ [A] (16. att.);
- Iekšējās pretestības novērtēšana notiek pēc slodzes noturēšanas testa (5.5), (5.6), (5.7) pozitīviem rezultātiem;
- Akumulatora stāvoklis novērtēts pēc $R_{int}(\Delta I^-)$, tas izslēdz kļūdu, kas saistīta ar baterijas funkcijas dualitāti (5.22);
- Papildus aprīkojuma pieslēgšana nodrošināta noteiktos punktos.



16. att. Akumulatora testēšanas punkts

Promocijas darba laikā tika veikts eksperiments ar mērķi pārbaudīt akumulatora dualitātes ietekmi uz iekšējās pretestības novērtēšanu. Eksperimenta gaitā tika veikti mērījumi

piecām LC-X1224APG „Panasonic” 12V 24 A·st. baterijām. Mērījumi nodrošināti ar mēraparāta „HiTESTER HIOKI3551” palīdzību. Mērījumu rezultāti apkopoti 2. tabulā.

2. tabula

ESR mērījumus rezultāti LC-X1224APG baterijām

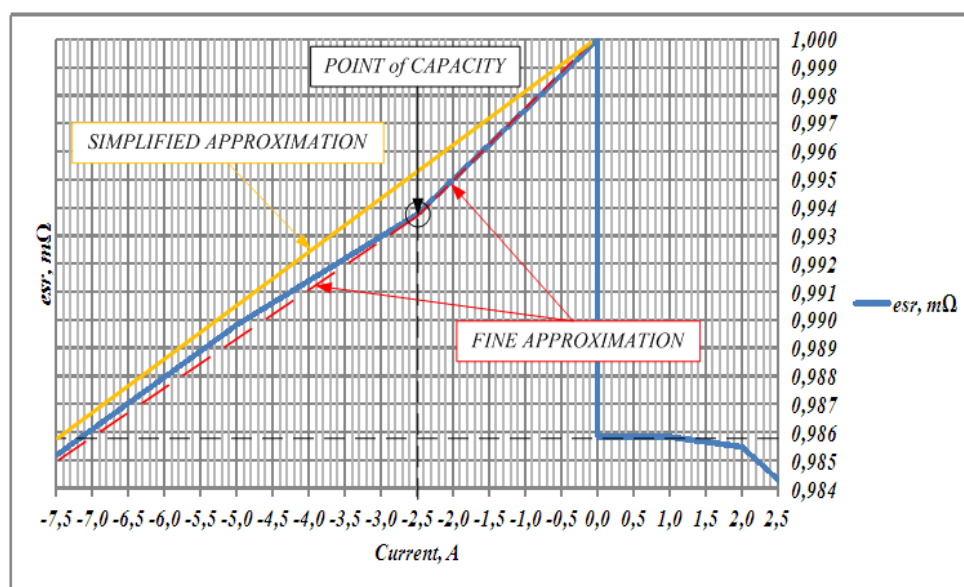
<i>Funkcija</i>	<i>Avots</i>				<i>Slodze</i>				
<i>Strāva, A</i>	-7,5	-5,0	-2,5	0,0	0,0	0,5	1,0	2,0	2,5
<i>ESR[mΩ], bat. #1</i>	12,73	12,78	12,84	12,91	12,73	12,73	12,74	12,73	12,71
<i>ESR[mΩ], bat. #2</i>	12,07	12,13	12,19	12,30	12,11	12,11	12,11	12,11	12,09
<i>ESR[mΩ], bat. #3</i>	12,75	12,81	12,87	12,95	12,74	12,74	12,74	12,74	12,73
<i>ESR[mΩ], bat. #4</i>	11,22	11,27	11,31	11,38	11,24	11,24	11,23	11,22	11,21
<i>ESR[mΩ], bat. #5</i>	10,72	10,78	10,80	10,85	10,71	10,71	10,71	10,71	10,70

Grafiskā veidā rezultāti piedāvāti 17. attēlā. Rezultātus analīze apstiprina akumulatora dualitāti.

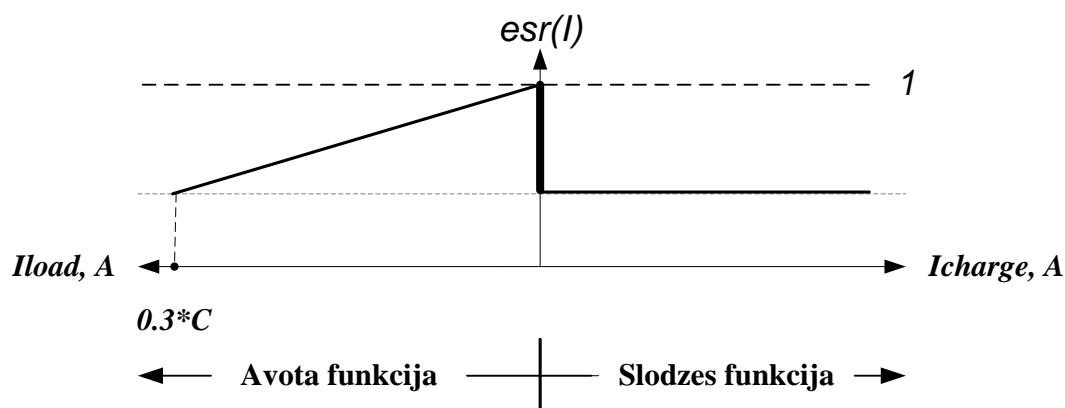
Iekšējās pretestības lielums normalizēts pie lieluma, kad baterijas funkcija ir noteikta tikai ar pašu izlādēšanas strāvu (Self Discharge) (17. att.):

$$\overline{esr}(I) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N \frac{ESR_n(I)}{ESR_n^{max}}$$

a)



b)



17. att. Normalizētā ESR atkarība no baterijas funkcijas eksperimentālā a) un idealizētā b)

Baterijas stāvokļa funkciju testēšanas punktā $0.3 \cdot C$:

$$SF_{battery} = \begin{cases} +1 & \text{if } esr(0.3 \cdot C) > esr_{max} \\ \pm 0 & \text{if } esr_{max} \leq esr(0.3 \cdot C) < esr_{min} \\ -1 & \text{if } esr(0.3 \cdot C) \leq esr_{min} \end{cases}$$

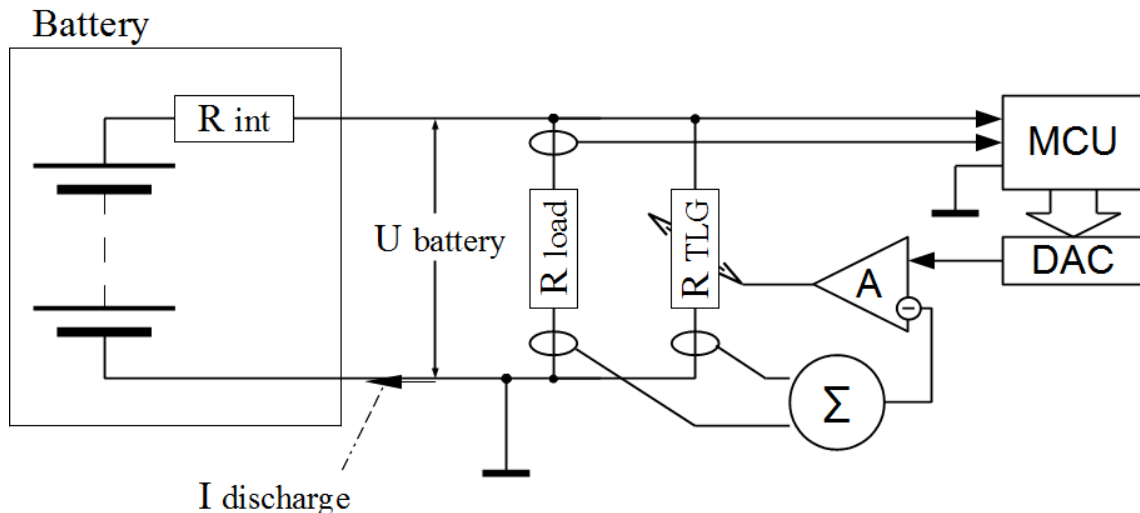
Gadījumā, kad testēšanas punkts nav noteikts, bet ir noteikta avota funkcijas strāva $I_{discharge}$ un $0 > I_{discharge} \geq -(0.3 \cdot C)$, izmantojot izteiksmi iespējams minēt $esr(I) \rightarrow esr(0.3 \cdot C)$ un izmantot izteiksmi baterijas stāvokļa funkcijas noteikšanai:

$$esr(I) \cong \frac{(ESR_{min} + \frac{|I_{discharge}|}{0.3 \cdot C} \cdot (ESR_{min} - ESR_{max}))}{ESR_{max}}$$

Koriģēts ESR novērtējums ir:

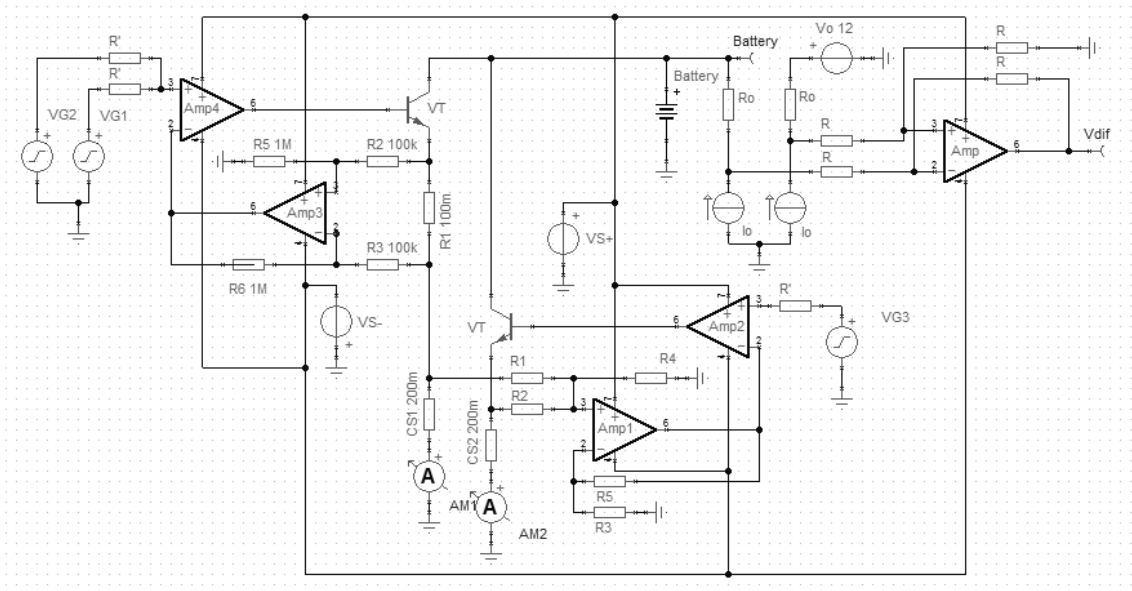
$$ESR^{corrected}(I) = \frac{ESR(I) \cdot U_{battery}(t) / I_{discharge}^{load}(t)}{U_{battery}(t) / I_{discharge}^{load}(t) - ESR(I)} = \frac{ESR(I) \cdot R_{load}(t)}{R_{load}(t) - ESR(I)}$$

Lai sasniegtu testēšanas punktu un noņemtu ietekmi no pamata slodzes mainīgā rakstura $R_{load} \neq const$ ($I_{discharge}^{load}(t) \neq const$) un pašizlādēšanās $I_{discharge}^{self}$, kā arī lai nodrošinātu slodzes strāvas ΔI^- ģenerāciju, testēšanas iekārtai nepieciešams izveidot papildaprīkojumu, kura shēma parādīta 18. attēlā.



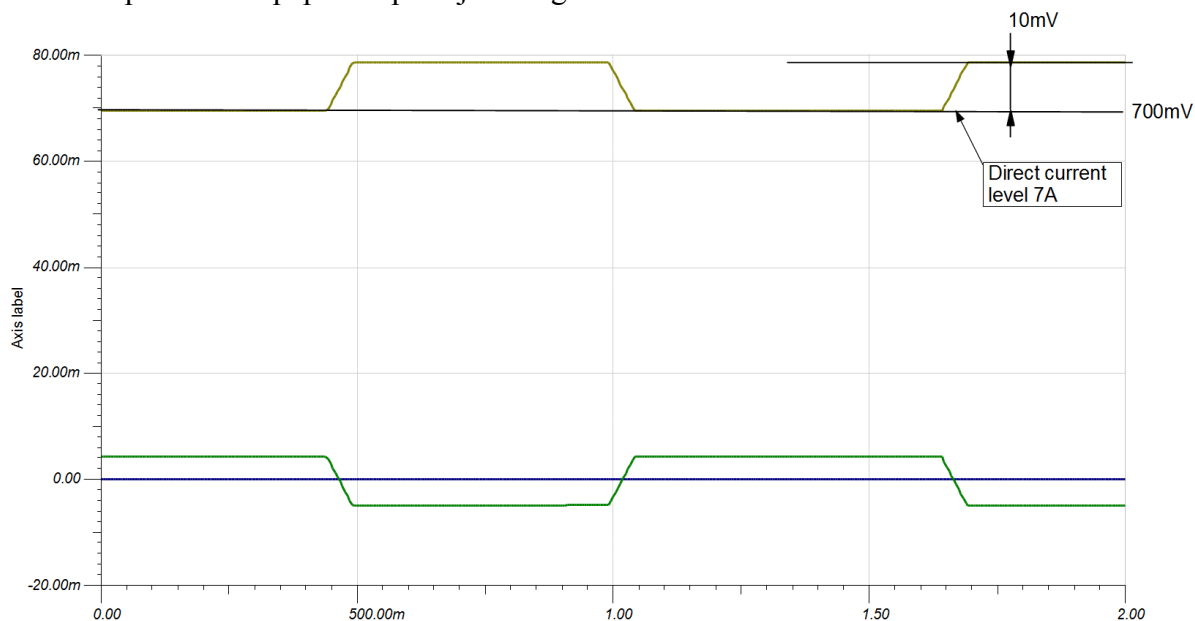
18. att. Papildu aprīkojuma realizācijas funkcionāla shēma

Promocijas darbā ir paveikta papildaprīkojuma darba simulācija. Simulācijas izveidošana vide ir Texas Instruments TINA-TI V9 12V akumulatoram ar $10m\Omega$ iekšēju pretestību (19. att.).



19. att. Simulācijas shēma

Simulācijas analīze radā, kā lēciena viedīga manipulēšana ar slodzi testēšanas laikā veido nekontrolējamus slodzes strāvas pīkus testēšanas punktos maiņas momentos. Tāpēc pamatota ir trapeces veida (20. att.) vai harmonisko likumu slodzes manipulēšanas izmantošana. Abos gadījumos nekontrolējamie pīki nav novēroti, bet izmantojot harmonisko likumu nepieciešams papildu aprīkojums signāla detektēšanai.



20. att. Likums slodzes manipulēšanai

4. Jaunā pieeja DzATS pamatelementu parametriskajā diagnosticēšanā

DzATS releju aparatūra sadalīta divas grupas pēc atbilstības drošuma normām, tas ir pirmā drošuma klases releji un citi.

Pirmā drošuma klases releji tiek izmantoti kā bāzes elementi elektriskās centralizācijas shēmas veidošanā. Drošuma prasība ir garantēta kontakta stāvokļa maiņa pie ierosināšanas noņemšanas visos ekspluatācijas apstākļos. Drošuma pakāpe ir panākta ar speciālu konstrukciju un ir noteikta periodiska nomaiņa reiz 10 gadus. Tāda releja uzbūves un izmantošanas specifika mazina vajadzību pēc diagnosticēšanas papildaprīkojuma izveidošanu.

Citu drošības klases relejiem ir pilnīgi pretēja bilde. Piemēram, impulsu relejs- atkārtotājs TIII-65B ar darba kontaktu iedarbes intensitāte 2 reizes viena sekunde ar komutējumu jaudu 300VA sasniedz galēja stāvokli jeb 42 000 000 iedarbes pēc 243 dienam. Saistība ar pielietošanas sfēras, impulsu releju kontakti un elektromehāniska daļa pakļauti ātram nolietojumam. Latvijas dzelzceļā TIII-65B tiek mainīta uz atjaunotu 1 reizi gadā. Rēķinājās ar daļējo atjaunošanas remontu, releju resurss tiek mazināts reizi pa reizei.

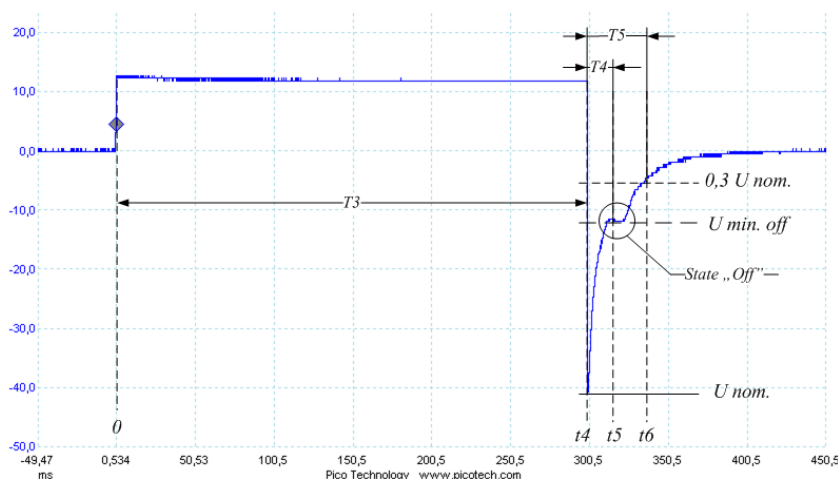
Releja spole uzkratas enerģijas daudzums elektromehāniska sistēmā ar enkuru $E(L_{coil} + L_{anchor\ on}(\Delta)) > E(L_{coil})$. 3. tabulā apkopoti induktivitātes mērījumu rezultāti rada ka lielumu starpība $L^1(\Delta) - L^2$, kas noteikta ar enkurs pretmagnētisku tapu Δ [mm], ir samērojama ar mērīšanas līdzekļa kļūdu $\pm 1\%$ un nevar būt izmantota enkura stāvokļa noteikšanai, ka ticamais novērtējums.

3. tabula

TIII-65 induktivitātes mērījumus apstrādes rezultāti

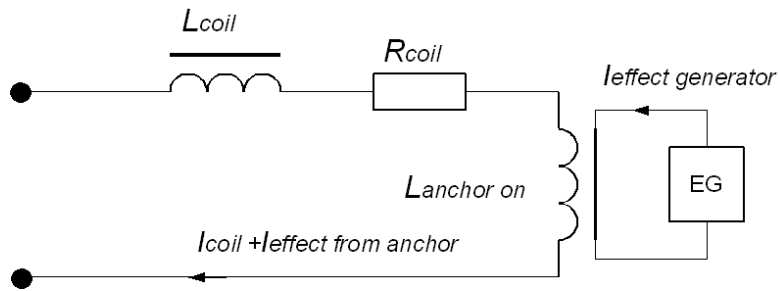
N	Δ, mm	$\bar{L}^1,$	$\Delta L^1,$	$\bar{L}^2,$	$\Delta L^2,$	$\bar{L}^3,$	$\Delta L^3,$	$L_{anchor\ on}(\Delta), mH$
1	0,5	348.5	0.5	347.3	0.5	346.6	0.4	1.2
2	0,6	347.8	0.6	347.7	0.4	345.9	0.4	1.3
3	0,7	349.1	0.5	347.7	0.5	346.1	0.4	3.0

Pēc ierosināšanas izbeigšanas, magnētiska enerģija uzkrauta spoles induktivitātes laikā intervālā $T3$ izveido sprieguma impulsu. Laikā momentā $t5$ novērotā enkura atkrišanas ietekme uz pārejas procesu (21. att.).



21. att. Pārejas process releja spolē pēc ierosinājuma noņemšanas

Enkura dinamikas ietekmes efekts (21. att.) ir atspoguļots impulsu releja ekvivalentā shēmā kas ir piedāvātā 22. attēlā.



22. att. Releja ekvivalenta shēma ar enkura klātbūtnes efektu

Δ un Pr stāvokļus novērtēšanu izmantojot pārejas procesus īpašības, saistītas ar enkura dinamikas ietekme.

Tādā veidā, pārejas procesam pēc barošanas impulsa noņemšanas:

$$U_{coil}(t) = f(U, R_{coil}, L(t5, \Delta, Pr)).$$

Pēc pārejas procesu analīze secināts, kā impulsa stāvoklis laikā asī ir atkarīgs no kontaktu spiediena Pr un Δ uzskaldinājuma, un pastāv sakarības:

$$t5(\Delta_1, Pr_1) < t5(\Delta_2, Pr_2) \text{ kad } \Delta_1 > \Delta_2 \text{ \& } Pr_1 \approx Pr_2$$

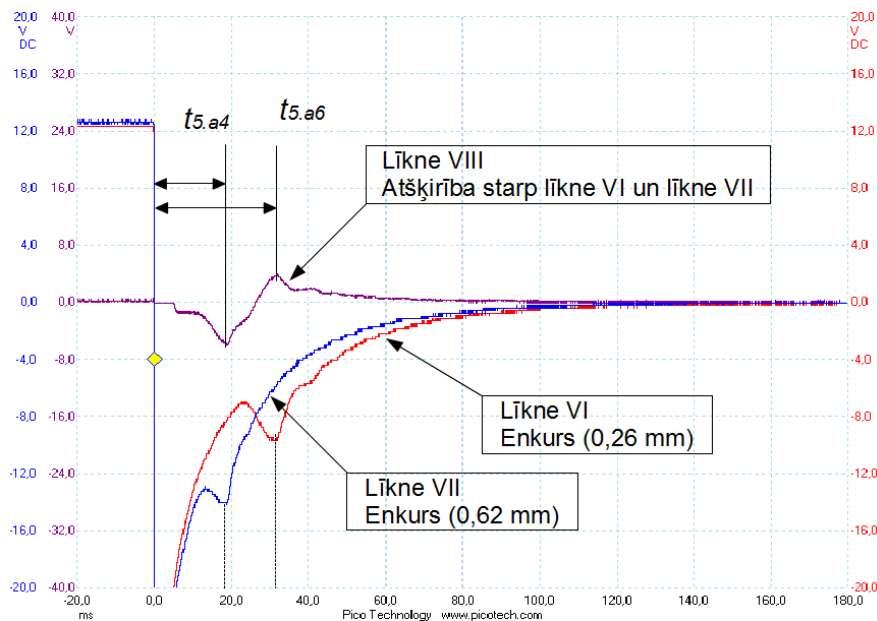
$$t5(\Delta_1, Pr_1) < t5(\Delta_2, Pr_2) \text{ kad } \Delta_1 \approx \Delta_2 \text{ \& } Pr_1 < Pr_2$$

$$t5(\Delta_1, Pr_1) < t5(\Delta_2, Pr_2) \text{ kad } \Delta_1 > \Delta_2 \text{ \& } Pr_1 < Pr_2,$$

ko dot iespēju novērtēt uzskaldinājuma Δ , jeb enkura nolietojuma pakāpe un spiediena Pr samazinājumu, reālā laikā, izmantojot $t5$ kritisku lielumu.

Analizējot 23. attēlā diferences signālu starp relejiem ar enkuriem «a4» un «a6» ar atšķirīgiem uzskaldinājuma lieluma $\Delta_{a4} = 0.62 \text{ mm}$ un $\Delta_{a6} = 0.26 \text{ mm}$ tika noteikts kā $\Delta_{aN1} \cong \Delta_{aN2}$, vai $(\Delta_{aN1} - \Delta_{aN2}) \rightarrow 0$ tad diferences signāls $\rightarrow 0$. Δ_{aN1} ir derīga enkura minimālais pieļaujams uzskaldinājums, tad diferences signāla zīme (+) pēc laikā momenta $t5(\Delta_{aN2})$ raksturo enkuru ar nederīgu uzskaldinājumu.

Secinājumi ļauj izveidot diagnosticēšanas metodes kopumu kas balstās un diferences impulsa laika momenta atkarības no uzskaldinājuma stāvokļa.

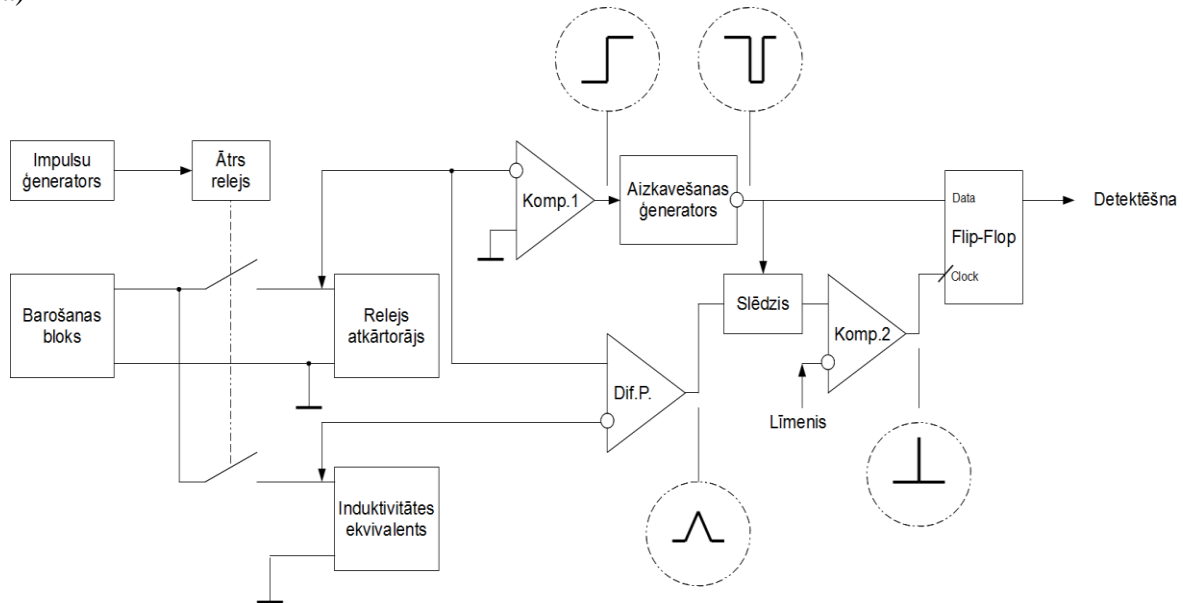


23. att. Diferences signāls

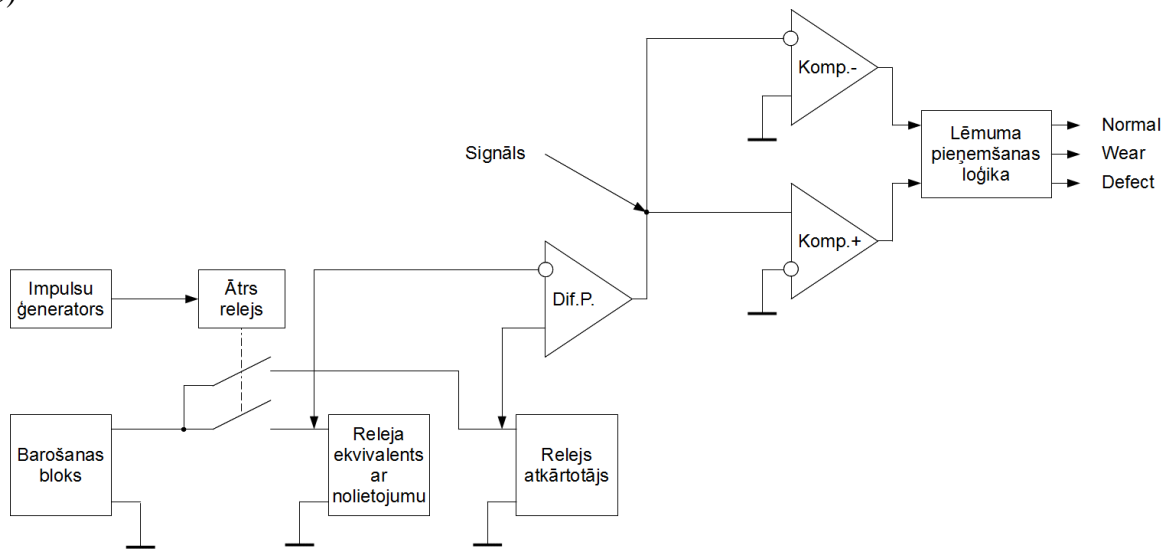
Atbilstoši secinājumiem izveidoti diagnosticēšanas ierīces funkcionālas shēmas (24.att. a)), kas ļauj noteikt defektīvu uzkalcinājumu, jeb $SF_{anchor}(\Delta) = -1$ un (24.att. b)) kas ļauj noteikt:

$$SF_{anchor}(\Delta) = \begin{cases} +1 & \text{if } Signal < 0 \\ \pm 0 & \text{if } Signal = 0 \\ -1 & \text{if } Signal > 0 \end{cases} .$$

a)

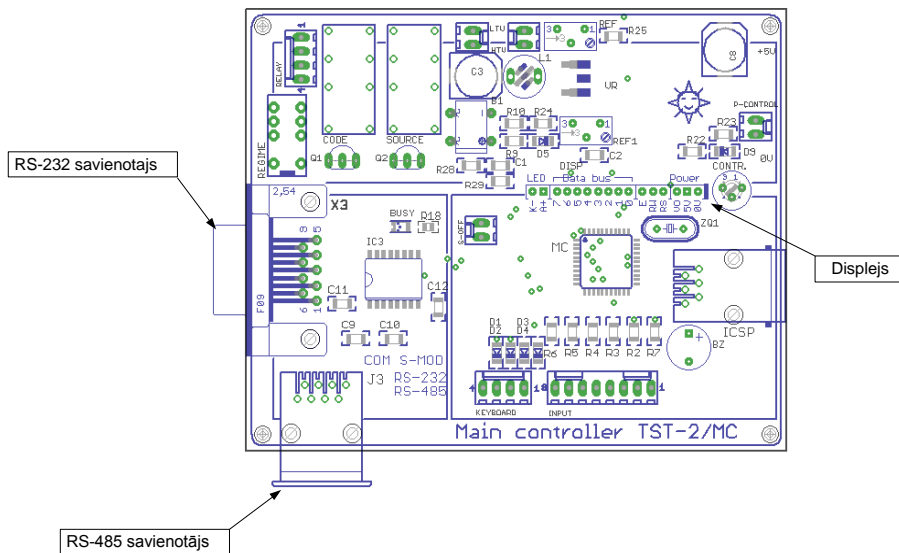


b)



24. att. Enkuru uzkalcinājuma derīguma noteikšanas metodes funkcionālas shēmas

Testēšanas iekārtas TST-2 uzbūve nodrošina informācijas pārvirzīšanu atkarīgi no diagnosticēšanas rezultātiem. TST-2 kontrolera platē satur savienotāju, kas ļauj pieslēgties pie datora izmantojot RS-232 interfeisu, vai CAN izmantojot RS-485 interfeisu (25. att.). TST-2 iespējams izmantot, kā papildu aprīkojumu un kontrolēt releja raksturojumus reālā laikā vai pēc atjaunošanas izejas kontrolē.



25. att. TST-2 pamat kontrollera iespiedu plāte

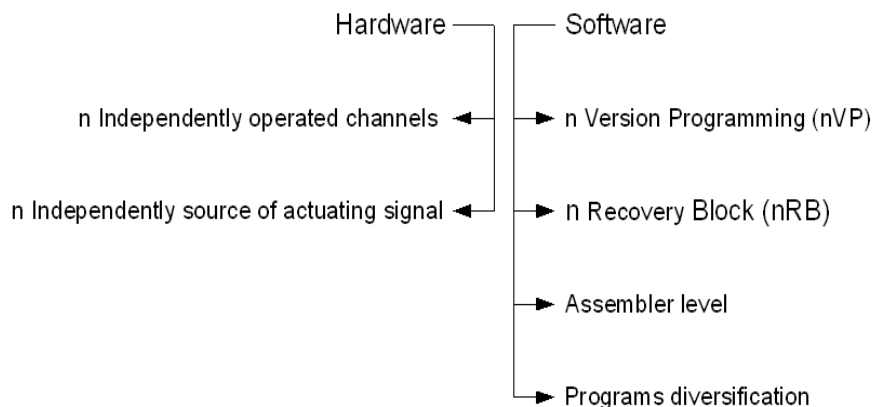
Laikā parametrs $t5(\Delta, Pr)$ var būt pieņemts par unikālu relejam-atkārtotājam. Pretmagnētiskas tapas un kontaktu spiediena diagnosticēšana nodrošina sasniegšanas dziļums palielināšanu no 23% līdz 41%.

$$PD(Prm) = \frac{Prm^D}{Prm^\Sigma} \cdot 100\% = \frac{7}{17} \cdot 100\% \cong 41\%.$$

5. Kustības drošības nodrošināšanas sistēmas kodu iekārtas diagnosticēšana

Elektromehāniska kodu transmitteram (EMCT) diagnosticēšanas problēmas risinājums ar sarežģītā elektromehāniska aparāta parametru novērošanu, bet kopumā tas neatbrīvo no izmaksām saistītām ar EMCT aizvietošanas uz atjaunošanas, profilaktiskā un atjaunošanas remonta laikā. EMCT diagnostikas metodes izstrādāšanas uzdevums pārveidots uz elektroniska kodu transmittera ECT izveidošana ar iebūvētu pašdiagnostiku.

Viss pirms svarīgi ir apskatīt elektronisko ierīču, kas izmantoti kritiskos pielietošanas sfēras, drošības un drošumu jautājumi [54-74]. DzATS drošības nodrošināšana ir stingri pakļauta [55-61] [68] standartiem, rekomendācijām un normatīviem dokumentiem. Šo dokumentu analīze dod iespēju noteikt elektronisko ierīču uzbūves koncepciju ar mērķi sasniegt visaugstāko drošības līmeni (26. att.).



26. att. Drošības stratēģija

PFD^* un λ^{**} ir savstarpēji apvienojami ar izteiksme $PFD = 1 - e^{-(\lambda \cdot LifeTime)}$ un $\lambda = \frac{-\ln(1-PFD)}{LifeTime}$. Pieprasīts kalpošanas laika ilgums ir 20 gadi, tad iespējams izveidot prasības uz bīstamas atteices intensitātes lielumus (3. tabula).

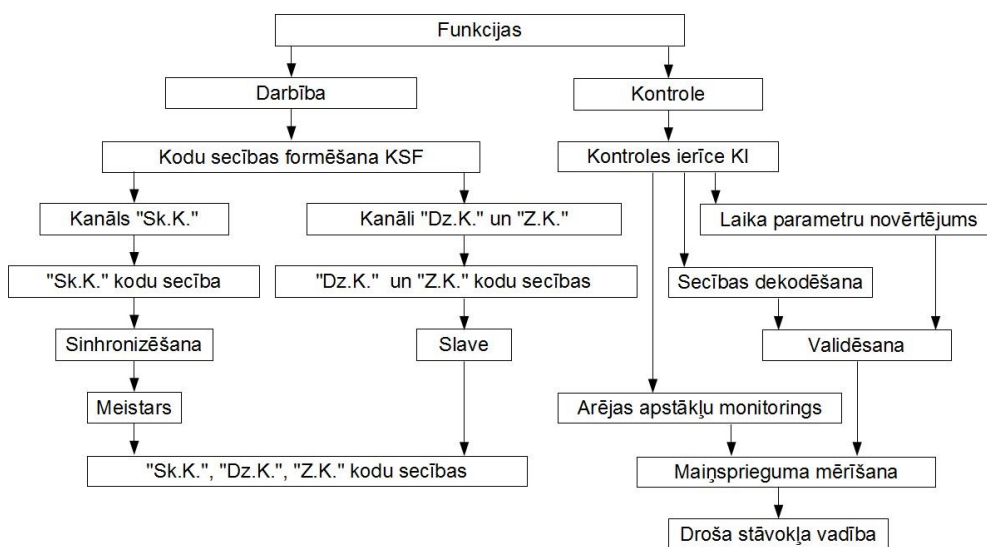
3. tabula

Bīstamas atteices intensitāte 20 gadu kalpošanas laika atbilstoši SIL

Integrētas drošības līmenis (SIL-safety integrity level)	Funkcionēšana ar pārtraukumiem		Funkcionēšana bez pārtraukumiem	
	PFD^*	$\lambda(20\text{ year})^{**} [\text{st.}^{-1}]$	PFD^*	$\lambda(20\text{ year})^{**} [\text{st.}^{-1}]$
1	10^{-2}	$5,7 \cdot 10^{-8}$	10^{-6}	$5,7 \cdot 10^{-12}$
2	10^{-3}	$5,7 \cdot 10^{-9}$	10^{-7}	$5,7 \cdot 10^{-13}$
3	10^{-4}	$5,7 \cdot 10^{-10}$	10^{-8}	$5,7 \cdot 10^{-14}$
4	10^{-5}	$5,7 \cdot 10^{-11}$	10^{-9}	$5,7 \cdot 10^{-15}$

* - probability of failure on demand
 ** - demanded failure rate

Funkciju sadalīšana (27. att.) ļauj minimizēt pēc apjoma un vienkāršot mikrokontroleru programmatūru kanālos, tā pat ļauj kontroles ierīcei realizēt nepieciešamo dekodēšanas algoritmu. Tādā veidā pamatfunkcijas izpildīšana nav atkarīga no kontroles algoritma (Control Algorithm) un, savukārt, kontroles algoritma izpilde neietekmē pamatfunkcijas drošu izpildīšanu.



27.att. Funkciju sadalīšana ECT

Promocijas darbā ir izprojektēts un izveidots elektroniska kodu ceļa transmittera prototips „KPT-E”, kas tika 2 gadus tiek eksperimentāli ekspluatēts reālos apstākļos Latvijas dzelzceļā.

Drošuma pierādījuma mērķis ir noteikt prototipa SIL pakāpe. Drošuma aprēķins veikts saskaņā ar GOCT P 27.301-95 H un MIL-HNDB-217 [36] metodikām.

ECT prototipa atteices intensitātes aprēķins vienkāršots ar kanālus identisko uzbūve:

$$\lambda_{apr.}^{KPT-E} \cong \lambda_{apr.}^{KI} + 3 \cdot \lambda_{apr.}^{KSF\text{ kanāls}}$$

Kontroles ierīce atteices intensitāte:

$$\lambda_{apr.}^{KI} \cong 3,953635746 \cdot 10^{-6} [st.^{-1}].$$

Kanālus „Sk.K.”, „Dz.K.” un „Z.K.” atteices intensitāte:

$$\lambda_{apr.}^{KSF \text{ kanāls}} = 3,167567387 \cdot 10^{-6} [st.^{-1}].$$

ECT prototipa atteices intensitāte:

$$\lambda_{apr.}^{KPT-E} \cong 13,456337907 \cdot 10^{-6} [st.^{-1}].$$

Vidējais laiks līdz atteicei:

$$MTBF_{apr.}^{KPT-E} = (\lambda_{apr.}^{KPT-E})^{-1} \cong 74314 [st.].$$

Pieprasīts MTBF ir 43824 stundas. Tas nozīme kā pieprasītais MTBF sasniegts ar rezerves koeficientu 1.7.

Izmantojot FTA (Fault Tree Analyzis), noteikti aizsargājošas atteices (Safety Failure) apstākļi un sasniegšanas laiks:

- ✓ notiek pēc KI kontroles ierīces barošanas shēmas atteices ECT startēšanas laikā, kad barošana netiek padota uz KSF formētāju:

$$t_{Drošs \text{ stāvoklis}}^{KI \text{ bar. shēma}} \rightarrow 0;$$

- ✓ notiek pēc KI kontroles ierīces barošanas shēmas atteices ECT ar normālu startu, kad barošana atslēgta no KSF formētāja un notiek filtra kondensatoru Cf1, Cf2, Cf3 izlādēšana:

$$t_{Drošs \text{ stāvoklis}}^{KI \text{ bar. shēma}} \cong T_{kods}^{715} \leq 1.7 [s];$$

- ✓ KSF formētāja kaut viena kanāla atteices detektēšanas laiks, noteikts ar KI kontroles ierīces darbību un notiek pēc divām nevalidēs secībām:

$$t_{Atteices \text{ detektēšana}}^{KSF \text{ kanāls}} \leq 2 \cdot T_{kods}^{515 / 715};$$

- ✓ laika intervāls pēc kaut viena kanāla atteices līdz drošam stāvoklim ar filtra kondensatoru izlādēšanu:

$$t_{Drošs \text{ stāvoklis}}^{KPT-E} \leq t_{Atteices \text{ detektēšana}}^{KSF \text{ kanāls}} + t_{Drošs \text{ stāvoklis}}^{KI \text{ bar. shēma}};$$

- ✓ ECT ar kodu ciparu secību atbilstoši EMCT 515 tipam:

$$t_{Drošs \text{ stāvoklis}}^{KPT-E 515} \leq 2 \cdot 1.6 + 1.7 = 4.9 [s];$$

ECT ar kodu ciparu secību atbilstoši EMCT 715 tipam:

$$t_{Drošs \text{ stāvoklis}}^{KPT-E 715} \leq 2 \cdot 1.86 + 1.7 = 5.42 [s];$$

- ✓ maksimālais laiks, pēc kura notiek pārslēgšana drošā stāvoklī:

$$t_{Drošs \text{ stāvoklis}}^{KPT-E \text{ max.}} = 5.42 [s].$$

Bīstamās atteices intensitāte KPT-E prototipam:

$$\lambda_{Bīstams \text{ stāvoklis}}^{KPT-E} \approx t_{Drošs \text{ stāvoklis}}^{KPT-E \text{ max.}} \cdot (\lambda_{apr.}^{KSF "Sk.K"})^2.$$

Aprēķināts bīstamas atteices rādītājs pēc formulas (5.5) ir

$$\lambda_{Bīstams \text{ stāvoklis}}^{KPT-E} = 1.51059663 \cdot 10^{-14} [st.^{-1}].$$

Bīstamās atteices intensitāte 20 gadu kalpošanas laikā atbilst 3. līmeņa drošības prasībām (SIL 3) funkcionēšanai bez pārtraukumiem.

Kopējie secinājumi

Promocijas darbā veikta DzATS darba analīze. Atklāti vairāki kritiski momenti, kas iespaido sistēmu un ierīču drošumu, kas savukārt ietekmē elementu remonta un apkopes tehnoloģiju un rezultātā var atspoguļoties vilcienu kustības drošībā. Uzsvērts, ka svarīga automātikas sistēmu droša un neapdraudēta darba sastāvdaļa ir attīstīta reāla laika parametriskās diagnostikas sistēma, kas ļauj pāriet uz apkopes tehnoloģiju pēc stāvokļa (CBM - Condition Based Maintenance) apkopes tehnoloģijas pēc laika (TBM - Time Based Maintenance) vietā.

Darbā konstatēts, ka tāda pieeja, kad kāds sistēmas elements tiek nomainīts ar atjaunotu vai izremontētu elementu bez konkrētā elementa sastāvdaļu novecošanās uzskaites un izmantošana drošuma, gatavības koeficienta vai apkopes perioda aprēķinos, rezultātā var novest pie kļūdu uzkrāšanās un nepareiza rezultāta sistēmas funkcionēšanas drošuma novērtējumā.

Elementu dabīgā nolietojuma un novecošanās uzskaitē darbā ievests degradācijas koeficienta DgF jēdziens. Minētais koeficients atspoguļo bezatteices darba laiku ar atjaunotiem elementiem attiecību pret sistēmas bezatteices darba laiku ar jauniem elementiem. Rezultātā sistēmas darba drošums var tikt atspoguļots ar funkciju:

$$R_{used}(t) = e^{-\lambda_{used} \cdot t} = e^{-\lambda_{new} \cdot t \cdot (1 - DgF)^{-1}}.$$

Darbā noformulēti galvenie parametriskās diagnostikas sistēmas veidošanas jaunās koncepcijas noteikumi dzelzceļa automātikas sistēmām, kas darbojas reāla laika režīmā ar elementu atteices prognozēšanu pēc atbilstības koeficientiem DV , kas noteikti daudzās parametra $\{SF^K\}$ stāvokļa funkcijās:

$$DV_{element} = \begin{cases} +1 & \text{if } \sum_{k=1}^K SF^k = K \\ \pm 0 & \text{if } \sum_{k=1}^K SF^k < K \quad \prod_{k=1}^K SF^k \geq 0 \quad \forall SF^k \geq 0 \\ -1 & \text{if } \prod_{k=1}^K SF^k < 0 \end{cases}$$

Noteikti kritēriji $Cr^{DSS} = (Cr^1, Cr^2, \dots, Cr^n, \dots, Cr^N)$ un to izmantošana optimizācijā, lietošanā, darba novērtēšanā, diagnostikas sistēmā kopumā. Izveidota formula diagnostikas sistēmas kvalitātes un atbilstības uzdotajiem funkcionēšanas nosacījumiem noteikšanai:

$$Dir = \begin{cases} 1, & \text{if } P^{true} > r^+ \cdot (Pr^{false} + Pr^{skip}) \\ 0, & \text{if } P^{true} \cong r^0 \cdot (Pr^{false} + Pr^{skip}) \\ -1, & \text{if } P^{true} < r^- \cdot (Pr^{false} + Pr^{skip}) \end{cases}.$$

Balstoties uz SCB sistēmās atļauto un izmantoto mērinstrumentu analīzi, izdarīts secinājums par speciālu mērījumu veikšanas algoritmu izmantošanas nepieciešamību, kas izslēdz operatora kļūdas un ko var realizēt modernizētā mērīšanas līdzeklī.

Pamatojoties uz statistikas datu analīzi par bojājumiem vai atteici automātikas sistēmās, konstatēta atteicu intensitātes atkarība no izmantošanas momentiem un atteices iespējamības samazināšanās sistēmas dīkstāves laikā gaidīšanas režīma realizācijā. Uz tā pamata ievests adaptētā gatavības koeficienta jēdziens, kas tiek aprēķināts kā:

$$AAF \approx \frac{MTIO}{MTIO + MTIW}.$$

Akumulatoru bateriju diagnostikas metožu analīzē, ko izmanto dzelzceļa automātikas sistēmās, konstatēta tāda īpašība kā akumulatora dualitāte, kas vistiešākajā veidā ietekmē baterijas tehnisko parametru novērtējuma precizitāti. Darbā piedāvāta jauna pieeja akumulatora bateriju stāvokļa novērtēšanā neatslēdzot no shēmas, kas ņem vērā attiecīgo

īpašību. Jaunā metode ļauj novērtēt *ESR* (Effective Serial Resistance) parametru zem slodzes un novest to līdz vērtībai izvēlētajā testēšanas punktā:

$$SF_{battery} = \begin{cases} +1 & \text{if } esr(0.3 \cdot C) > esr_{max} \\ \pm 0 & \text{if } esr_{max} \leq esr(0.3 \cdot C) < esr_{min} \\ -1 & \text{if } esr(0.3 \cdot C) \leq esr_{min} \end{cases}$$

Metodes pareizība tika pārbaudīta ar programmas simulāciju, laboratorijas un dabas (lauka) izmēģinājumiem. Metodes realizācijai tika izstrādāts, ar simulāciju pārbaudīts un patentēts slodzei sekojošais ģenerators.

Balstoties uz impulsu releja TIII-65 darbības novērtējuma, darbā konstatēts, ka esošo diagnostikas metožu izmantošana nedod iespēju pāriet uz apkopi pēc stāvokļa (CBM). Mērījumu eksperimentu gaitā tika atklāta cieša sakarība starp EML ierosinājuma raksturu un pretmagnētiskā enkura uzskaldinājuma nolietojumu. Darba ietvaros piedāvātās pretmagnētiskā uzskaldinājuma nolietojuma novērtēšanas metodes ļauj palielināt diagnostikas sistēmas sasniegšanas dziļumu, novērtējot parametrus līdz 40%, līdz ar to nodrošinot iespēju atteikties no elementu nomaiņas pēc laika tehnoloģijas. Darba ietvaros arī izprojektēta, izveidota un izmēģināta impulsu releja TIII-65 diagnostikas mērīšanas ierīce.

Rezultātā dzelzceļa automātikas aparatūras drošības un drošuma prasību analīze un izstrādātās koncepcijas, kad tiek atdalītas pamata funkcijas no diagnostikas funkcijām, attīstība novedusi pie pašdiagnostikas elektroniskā kodu ceļa transmittera izveides, kas ir analogs izmantotajam mehāniskajam un ir galvenais vilcienu kustības drošības nodrošināšanas sistēmas elements. Konstatēts, ka izstrādātās pieejas izmantošana paaugstina aparatūras drošumu un drošību, vienlaicīgi pazeminot izmaksas, realizē BITE tehnoloģiju, kas nepaaugstina iekārtas īpatsvaru. Darbā minēti drošuma rādītāju aprēķini, tādi kā:

- bīstamās atteices intensitātes rādītājs:

$$\lambda_{Bistams\ stāvoklis}^{KPT-E} = 1.51059663 \cdot 10^{-14} [\text{st.}^{-1}];$$

- bīstamās atteices varbūtība 20 gadu kalpošanas laikā:

$$PFD = 2.63823995983 \cdot 10^{-9}.$$

- izstrādes laiks uz atteici:

$$MTBF = 74314 [\text{st.}].$$

Aprēķinu rādītāji apstiprina ierīces drošības līmeni - SIL3, kas atbilst izmantošanas prasībām dzelzceļa automātikas sistēmās. Pašdiagnostikas sasniegšanas dziļuma rādītājs sasniedz 80%.

Ierīcei iegūts izgudrojuma patents, un darba iesniegšanas brīdī risinājās jautājums pār ierīce t sertifikāciju neatkarīgā akreditētā sertificēšanas centrā.

Literatūra

1. *Txomin Nieva, Automatic configuration for remote diagnosis and monitoring of railway equipments, Institute for computer Communications and applications ICA Department of Computer Science (DI) Swiss Federal Institute of Technology (EPFL) CH-1015 Lausanne, Switzerland /Internet - <http://infoscience.epfl.ch/record/165/files/Nieva99b.pdf>*
2. *APM электромеханика. Руководство пользователя системой FEU. Руководство по эксплуатации МПЦ Ebilock (раздел 3.2) / Internet - <http://scbist.com/mikroprocessornye-i-releino-processornye-centralizacii/4018-rukovodstvo-po-ekspluatacii-mpc-ebilock-950-a.html>*

3. *EVI*Gate 2000. Автоматическая переездная сигнализация модель SPA-5. Описание системы / Internet - <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-control-solutions/main-line-solutions/interflo-200?docID=0901260d80012580>*
4. Система диагностики и удалённого мониторинга: комплекс АПК-ДК в развитии. ПГУПС / Internet - <http://sdum.narod.ru/apkdk/sdum.pdf>
5. НИЛ Системы диагностики и удалённого мониторинга. Комплекс сбора аналоговой информации со стационарных устройств ЖАТ / Internet - <http://www.nilsdum.narod.ru/hard.html>
6. НИЛ Системы диагностики и удалённого мониторинга. Комплекс сбора информации с перегонных устройств ЖАТ / Internet - http://www.nilsdum.narod.ru/hard_per.html
7. *Gržibovskis M. SCB Lauku iekārtu uzbūve un tehniskās apkopes principi. Mācības līdzeklis 2009. Rīga.-*
8. *Дмитриев В.Р., Смирнова В.И. Электропитающие устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Справочник. -М.: Транспорт, 1983.-248 с.*
9. *Дмитриев В.С., Минин В.А. Новые системы автоблокировки. -М.: Транспорт 1981.-247 с.*
10. *Наумов А.В., Котельников А.В., Слободянюк Л.П. Рельсовые цепи в условиях влияния заземляющих устройств. – М.: Транспорт, 1990.-215 с.*
11. *Билязо И.А. Релейная аппаратура СЦБ шпенсельного типа. -М.: Транспорт, 1965.-*
12. *Разгонов А.П., Оводков Л.В. Профилактическое обслуживание рельсовых цепей. - М.: Транспорт, 1980.*
13. *Ягудин Р.Ш. Надёжность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. - М.: Транспорт, 1989. -159.*
14. *14. Future control technologies in motor diagnostics and system wellness. Durocher, D.B.; Feldmeier, G.R.; EATON Cutler-Hammer Inc., Lake Oswego, OR, USA/ Internet- http://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CEoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.eaton.com%2Fecm%2Fidcplg%3FidcService%3DGET_FILE%26dID%3D202845&ei=HITyT_a8PIfDswbF5_yODw&usq=AFOjCNHKZtfhLOjIgzxIvuwRLmjFkidLA*
15. *Diagnostic system and method for monitoring a rail system / Internet - [http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2008034583&recNum=126&docAn=EP2007008116&queryString=\(PA/Bombardier\)%2520&maxRec=360](http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2008034583&recNum=126&docAn=EP2007008116&queryString=(PA/Bombardier)%2520&maxRec=360)*
16. *RPC INFOTRANS - Computer-Aided Diagnostic Testing and Measurement Systems for the Railway Industry. Research and Production Centre of Informational and Transport Systems Russia, 443001 Samara, Poleyaya st., 47.Russia / Internet - <http://www.railway-technology.com/contractors/track/infotrans-rpc/>*
17. *S K Mittal, Sandeep Karla „Micro-controller based oscillation monitoring system for the safety of railway vehicles with high storage capacity and real time warning facility”, Central Scientific Instruments Organization, Chandigarh 160 030, 2004 / Internets- [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/5477/1/JSIR%2063\(9\)%20752-757.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/5477/1/JSIR%2063(9)%20752-757.pdf)*
18. *Прокопенко С. А. Автоматизация процессов контроля и диагностики в системах железнодорожной автоматики и телемеханики на основе волноводно-оптических технологий. 2009 год/ Internets - <http://www.dissercat.com/content/avtomatizatsiya-protsesov-kontrolya-i-dagnostiki-v-sistemakh-zheleznodorozhnoi-avtomatiki->*

19. Гундырев К.В. Об интеграции систем технической диагностики электрической централизации с устройствами релейно-процессорной централизации // *Материалы научно-технической конференции – Екатеринбург: УрГУПС, 2003, с 72-77.*
20. Система технического диагностирования и мониторинга перегонных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (СТДМ-ПУ) / *Internet -*
21. Сепетый А. А., Кольцов В. В., Прищепина В. С., Снитко Ю. В., Федорчук А. Е., Иванченко В. Н., Гоман Е. А. Измерительно-вычислительные средства в системе автоматизации диагностирования и контроля устройств СЦБ: учебник для вузов железно-дорожного транспорта. - Ростов н/Д, 2009. – 416с.
22. Rolf Isermann „Fault-Diagnosis system.”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.- 475.
23. Da Ruan, Paolo F. Fantoni *Power Plant Surveillance and Diagnostics: Applied Research with Artificial Intelligence (Power Systems). Applied Research with Artificial Intelligence.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.-
24. Fatih Camci, Ratha Babu Chinnam „Process Monitoring, Diagnostic and Prognostic in Machining Processes. Condition Based Maintenance: Manage failures by monitoring, detecting & forecasting.”, Lambert Academic Publishing AG & Co. KG, 2010.- 148.
25. Руководящие указания по защите от перенапряжений устройств СЦБ. МПС – М.: Транспорт, 1990 / *Internet - <http://scbist.com/sistemy-centralizacii-i-blokirovki/1712-ru-90-rukovodyaschie-ukazaniya-po-zaschite-ustroistv-scb-ot-perenapryazhenii.html>*
26. Перникис Б.Д., Ягудин Р.Ш. Предупреждение и устранение неисправностей в устройствах СЦБ.- М.: - Транспорт, 1984.-224 с.
27. Дианов В.Н. Диагностика и надёжность автоматических систем. Учебное пособие., -М.: МГИУ, 2005.- 160 с.
28. Дмитриенко И.Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем железнодорожной автоматики и телемеханики. - М.: - Транспорт, 1986. -144 с.
29. Дмитриенко И.Е., Сапожников В.В., Дьяков Д.В. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. - М.: - Транспорт, 1994. -199 с.
30. Miezītis M., Olga Podsoņņaja O. *Vilcienu kustības intervālu regulēšanas sistēmas (releju). Mācību līdzeklis. – Rīga, RTU, 2007, -298. lpp.*
31. SCB ierīču atkarības pārbaudes metodika. VAS „LDz”, - Rīga, 2004.-
32. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Христов Х.А., и др. –М.: Транспорт, 1995. -272 с.
33. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Шаманов В.И. Надёжность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. –М.: Транспорт, 2003. - 263 с.
34. В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, В.И. Шаманов. Основы технической диагностики. –М.: Маршрут, 2004. -318 с.
35. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем.–М.: Машиностроение, 1973, -606 с.
36. Фред Иди Сетевой и межсетевой обмен данными с микроконтроллерами., -М.: Додэка-XXI, 2007, -376 с.
37. Сороко В.И., Разумовский Б.А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телематики. Справочник. 1,2 том.–М.: Транспорт, 1981, -399 с.
38. Кириленко А.Г. Изучение принципов построения микроэлектронных устройств в системах обеспечения безопасности движения поездов. Учебно-методическое

- пособие для выполнения лабораторной работы – Кафедра "Автоматика и телемеханика", ДВГУПС, 1998.-
39. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Талаев В.И. Сертификация и доказательство безопасности систем СЖАТ, –М.: Транспорт, 1997. -288 с.
 40. Mauro Dell'Orco, Michele Ottomanelli, Pietro Pace, Giovanni Pascoschi Intelligent decision support tools for optimal planning of rail track maintenance., Dept. of Highways and Transportation – Polytechnic University of Bari – Italy, MER MEC S.p.A. - Via Oberdan, 70 - 70043 Monopoli (BA - Italy) / Internet - http://www.iasi.cnr.it/ewgt/13conference/40_dellorco.pdf
 41. Рыжиков Ю.И. Иммитационное моделирование. Теория и технологии., -М.: Альтекс-А, 2004, -384 с.
 42. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering. With Mat lab Exercises and solutions. Robert Grover Brown. Electrical Engineering Department Iowa State University, Patrick Y.C. Hwang Rockwell International Corporation.
 43. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Учеб. Пособие для вузов по спец. «Радиотехника». – 2-е изд., перераб и доп.- М.: Высш. Шк., 1988. -448 с.
 44. Гришин Ю.П., Ипатов В.П. Радиотехнические системы. Учеб. Пособие для вузов по спец. «Радиотехника», - М.: Высш. Шк., 1990. -496 с.
 45. Купер Дж., Макгиллем К. Вероятностные методы анализа сигналов и систем. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 376 с.
 46. Цифровая обработка сигналов. Второе издание, Пер. С англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006, - 656 с.:
 47. Vishay Intertechnology Solid State Relay Databook 2004.-Vishay Semiconductors GmbH P.O.B. -321.
 48. Linear Technology Product Selection Guide 2007.-177.
 49. IXYS Semiconductors 2006/2007. -232.
 50. Юриевич В.В. Конструирование и производство РЭА. Часть 2, РТУ-1990.-
 51. Матросов А., Сергеев А., Чаунин М. HTML 4.0 новый уровень создания HTML – документов. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2000, -672 с.
 52. Эви Немет, Гарт Снайдер, Скотт Сибасс, Трент Р. Хейн UNIX: Руководство системного администратора. перевод С.М. Тимачева, под редакцией М.В. Коломыцева, К.: BHV, 1996, -832 с.
 53. Джесс Либерти, Дэвид Б. Хорват C++, ССР пер. с англ. – М.: «Вильямс» 2007. – 448 с.
 54. Шпак Ю.А. Программирование на языке С для микроконтроллеров AVR и PIC. –М.: МК-Пресс, 2007, 400 с.
 55. Ribickis L., Raņķis I., Levčenko A., Gorobecs M. Programmēšanas valodas industriālā elektronikā. Metodikas līdzeklis., RTU, 2007.-
 56. ML-HDBK 217, DoD, USA, 1995 / Internet - <http://www.datasheetarchive.com/ML-HDBK-217-datasheet.html>
 57. ANSI/ISA S84 (Functional safety of safety instrumented systems for the process industry sector) / Internet - http://www.isa.org/Template.cfm?Section=Technical_Paper_Collections&template=/Ecommerce/ProductDisplay.cfm&ProductID=5524
 58. IEC EN 61508 (Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems) / Internet - <http://www.iec.ch/functionalsafety/>
 59. IEC 61511 (Safety instrumented systems for the process industry sector) / Internet - http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61511-2%7Bed1.0%7Den.pdf
 60. EN 50128 (Railway applications - Software for railway control and protection) / Internet - http://www.eic2.com/pdf/railways_hima_ohjelmistotjp.pdf?a20c671f8508c4885ed9a4f2d41d727b=02c81f191f471c61414d8671be8cd874

61. EN 50129 (Railway applications - Safety related electronic systems for signaling) / Internet - <http://engineers.ihs.com/document/abstract/XOAWCBAAAAAAAAAAAAA>
62. EN 50402 (Fixed gas detection systems) / Internet - <http://www.insidefunctionalsafety.com/article/1.html>
63. MISRA, various (Guidelines for safety analysis, modeling, and programming in automotive applications) / Internet -
64. Defense Standard 00-56, Issue 2 - accident consequence / Internet -
65. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
66. ОСТ 32.17-92. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Основные понятия. Термины и определения.
67. ОСТ 32.18-92. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Выбор и общие правила нормирования показателей безопасности.
68. ОСТ 32.19-92. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие требования к программам обеспечения безопасности
69. ОСТ 32.78-97. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Безопасность программного обеспечения.
70. ОСТ 32.27-93. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Организация сбора и обработки информации о безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики.
71. РД 32 ЦШ 1115842.01-93. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы испытаний на безопасность.
72. РТМ 32 ЦШ 1115842.01-94. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ.
73. РД 32 ЦШ 1115842.03-93. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Критерии опасных отказов.
74. РД 32 ЦШ 1115842.04-93. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы расчета норм безопасности.
75. РТМ 32 ЦШ 1115842.03-94. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Правила и методы обеспечения безопасности релейных схем.
76. РТМ 32 ЦШ 1115482.02-94. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы расчета показателей безотказности и безопасности СЖАТ.
77. ГОСТ Р 50656-2001. Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства железнодорожной автоматики и телемеханики. Требования и методы испытаний.
78. ГОСТ Р 27.301-95. Надежность в технике. Расчёт надёжности. Основные положения.
79. Наседкин О.А., Ледаев Е.В. Особенности испытания МПУ ЖАТ / Internet - <http://scbist.com/zhurnal-avtomatika-svyaz-informatika/20226-07-2012-osobennosti-ispytaniya-mpu-zhat.html>
80. Исследование временных параметров электромагнитных реле / Internet - <http://www.support17.com/component/content/202.html?task=view>
81. Щетина В.А., Морговский Ю.Я. Электромобиль. Техника и экономика. Ленинград, Машиностроение, 1987, -253 с.
82. 3550 Series Battery HiTESTERS. User's Guide. September 1999, -31.
83. Peak LCR-40 component tester/ Internet - <http://www.farnell.com/datasheets/1581002.pdf>
84. Korago I. Vilcienu kustības regulējošo sistēmu funkcionālās drošības un drošuma paaugstināšanas metodes. Promocijas darba kopsavilkums, RTU Izdevniecība, Rīga 2009 -27 lpp.

85. *Корого И., Любинский В. Численные методы определения оптимального периода проведения регламентных работ для профилактической стратегии технического обслуживания систем ЖАТ. ВГТУ, Материалы конференции: Наука – Будущее Литвы, секция Транспорт. 3 мая 2007, 45-51 стр.*
86. *Mezītis M., Karevs V. Test point for the battery under load, Riga Technical University 53rd International Scientific Conference dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical institute //RTU Alumni, Rīga, Latvija, 11-12 october 2012 – 616 lpp.*
87. *Mezītis M., Karevs V. Power consumption and control of storage battery // In proceedings of 7th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2012), Lithuania, Panevezys, 2012, 91-97 lpp.*
88. *Mezītis M., Karevs V. Model of diagnostic subsystem // In proceedings of 7th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2012), Lithuania, Panevezys, 2012, 98-104 lpp.*
89. *Mezītis M., Karevs V. Automatic device with fault tolerance, Vilnius, VGTU, Journal: Transport, 2011 – 103-108 p.*
90. *Mezītis M., Karevs V. Automatic Measurement for Internal Resistance of Battery in Uninterruptible Power Source // RTU zinātniskie raksti. 4. sēr., Enerģētika un elektrotehnika. - 25. sēj. (2009), 141.-144. lpp.*
91. *Mezītis M., Karevs V. Modernized Universal Measuring Device for Mechanic // RTU zinātniskie raksti. 6. sēr., Mašīnzinātne un transports. - 30. sēj. (2008), 180.-185. lpp.*
92. *Mezītis M., Karevs V. Application of Electronic Gauges for Automatic Devices Diagnostics // RTU zinātniskie raksti. 6. sēr., Mašīnzinātne un transports. - 30. sēj. (2008), 186.-190. Lpp.*
93. *KR 20110006266 (A) Method for measuring internal resistance of a high voltage battery cell of automobile*
94. *US 2011037475 (A1) Battery capacity estimation by DCIR*
95. *MX 2010009558 (A) System and method for measuring battery internal resistance*
96. *86. CN 101833071 (A) High-precision internal resistance and voltage tester for lithium-ion battery*
97. *CN 101806865 (A) Detection device of internal resistance of cell and detection method thereof*
98. *US 2010250038 (A1) Battery measuring device, battery control system and vehicle*
99. *US 2010224157 (A1) Apparatus for detecting the state of battery*
100. *WO 2010118910 (A1) Determination of the internal resistance of a battery cell of a traction battery while using inductive cell balancing*
101. *WO 2010118909 (A1) Determination of the internal resistance of a battery cell of a traction battery while using resistive cell balancing*
102. *CN 101752543 (A) -Production method for improving consistency of internal resistance of battery*
103. *CN 101750587 (A) Method for determining battery internal resistance*
104. *CN 101692119 (A) Method for measuring internal resistance of storage battery based on differential equation*
105. *WO 2010029863 (A1) Battery state detection device and battery pack containing the same*
106. *CN 101685117 (A) Internal resistance measuring method for storage battery*
107. *CN 101581768 (A) Method for quickly detecting DC internal resistance of cylindrical nickel-hydrogen high-power battery*
108. *CN 101706558 (A) On-line monitoring system for direct-current power supply and storage battery*
109. *WO 2010004985 (A1) Battery state detection device*

110. JP 2010261807 (A) Storage battery deterioration determination method and charge/discharge control device
111. JP 2010249770 (A) Internal resistance operation method of secondary battery
112. JP 2010223768 (A) Cell abnormality detection circuit and power supply device
113. JP 2010209733 (A) Battery state estimating method and battery control method
114. CN 201344968 (Y) Multi-channel accumulator internal resistance on-line intelligent inspection tour instrument
115. JP 2010164441 (A) Degradation diagnosis apparatus of secondary battery
116. CN 201348658 (Y) Battery tester
117. GB 2461350 (A) Battery deterioration determination based on internal resistances per temperature range
118. CN 101477149 (A) On-line DC detection method and system for internal resistance of accumulator
119. KR 20090056847 (A) Internal resistance or equivalent capacitance calculating method of battery equivalent circuit, and the circuits there of
120. CN 101762788 (A) Storage battery operation monitoring system
121. CN 101738584 (A) Measuring method of micro internal resistance of industrial storage battery
122. CN 101813942 (A) Diagnostic equipment for fault points of control circuit
123. JP 3129533 (A) Fault processing system
124. JP 9170931 (A) Data recording device with self-diagnostic function
125. JP 58115968 (A) Failure diagnostic system in communication controller
126. GB 2052801 (A) Control unit
127. US 20110238344 Electrical signal parameter measurement system power parameter battery monitoring
128. Patent application number 20110238344 System and method of battery capacity estimation
129. RU 2411151 Трансмиттер бесконтактный кодовый путевой резервируемый (БКПТ-Р)