

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

PROMOCIJAS DARBS

Vladimirs Karevs

2013

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Energētikas un elektronikas fakultāte

Industriālās elektronikas un elektrotehnikas institūts

Vladimirs Karevs

Elektrotehnisku tehnoloģiju datoru vadības doktora studiju programma

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

Promocijas darbs

Zinātniskais vadītājs

Asoc. profesors,

Dr.sc.ing.

M. Mezītis

Rīga 2013



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

PROMOCIJAS DARBA AUTORA APLIECINĀJUMS

Es, Vladimirs Karevs, apliecinu, ka elektroniski ORTUS sistēmā augšup lādētā noslēguma darba „Dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmas monitoringa un diagnosticēšanas metožu izpēte un izstrāde” teksts ir identisks papīra formātā iesietā un promocijas padomē iesniegtā darba tekstam.

Apliecinu, ka promocijas darbs ir sagatavots patstāvīgi, tajā nav pieļauts citu personu intelektuālā īpašuma tiesību pārkāpums vai plaģiāts – citas personas radošās darbības rezultātu (izteiksmes līdzekļi, viedokļi, idejas) tālāka paušana savā vārdā. Izmantotie citu autoru darbi un datu avoti ir norādīti atsaucēs un literatūras sarakstā.

Iesniegtā darba teksts ne kopumā, ne pa daļām nekad nav nekādā veidā iesniegts kādai citai noslēguma darbu vērtēšanas komisijai.

2013.gada 31. janvāris.

/V. Karevs/

PATEICĪBAS

Anotācija

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, apkalpošanas izmaksu optimizāciju, izmantojot diagnosticēšanas rezultātus, un kritērijiem diagnostikas apakšsistēmas optimizēšanai; apskatīti diagnostikā izmantojamie mērinstrumenti, to priekšrocības un trūkumi, kā arī mērinstrumentu attīstība. IZanalizētas klastera sistēmas uzbūves priekšrocības.

Otrajā daļā izskatītie jautājumi saistīti ar informācijas apstrādi monitoringa un diagnostikas apakšsistēmās, apkalpošanas momenta sākuma optimizāciju; izanalizētas 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.

Promocijas darbs ir uzrakstīts uz 172 lapām, ir ievads, 5. nodaļas, 96. attēli, 94. formulas, 14.tabulas, saraksts attiecīgajā literatūrā un patentu apskats, 7. pielikumi.

Annotation

Dissertation examines monitoring and diagnostic methods for railway automatic and telematic system relay elements.

The first part examines general question of design of subsystems for monitoring and diagnosis of automation systems; optimization of maintenance system for system based on diagnostic of elements of system; criteria's of optimization for diagnostic subsystems; existing tools used in diagnosis for relay interlocking and blocking devices and this development; reliability of systems, subsystems, and components; the advantages of using the build cluster systems.

The second part examines issues related to the processing subsystem information monitoring and diagnostics; the mathematical technique of transfer from physical parameters to numeric valueless; optimization of the service; faulty tree analysis; technical state of the elements by using the date function and status parameters.

The third part examine monitoring and diagnostic method for maintenance free battery; battery mode in power supply circuit; measuring accuracy of internal resistance of battery; conditions improve the accuracy of estimates of internal resistance; realization of diagnostic method for battery using a tracing load generator and this advantages.

The fourth examines monitoring and diagnostic methods of electromechanical relay; considers the separation of elements according to their degree of reliability and suitability for diagnosis; transients in the winding of impulse relay; influence of the presence and condition of the anchors on the electromagnetic field; method of diagnosing the state of electromechanical systems in real time; implementation technology of additional equipment.

The fifth part part examines monitoring and diagnostic of electromechanical code transmitter; prototype of electronic analogue for electromechanical transmitter; general requirements for electronic equipment in high-risk processes; the principle of building for electronic transmitter; calculation of reliability and safety of a prototype; evaluation results of numeric criteria for reliability and safety.

Dissertation is written in 172 pages has an introduction, a 5 chapters, 96 figures, 94 formulas, 14 tables, list of reviewed literature and patents, 7 appendixs.

Аннотация

Задачей диссертации является разработка методов мониторинга и диагностирования релейной части СЖАТ.

Первая часть рассматривает назначение и построения subsystem мониторинга и диагностики; оптимизацию обслуживания СЖАТ; критерии оптимизации subsystem диагностики; инструменты, используемые при диагностировании устройств, и направления их развития; вопросы надёжности; преимущества кластера в построении систем.

Вторая часть рассматривает вопросы обработки информации в subsystem мониторинга и диагностики; математический аппарат перехода от физических параметров к безразмерным числовым оценкам; оптимизацию начала обслуживания; графы анализа отказов; степень годности и функцию состояния элементов.

Третья часть рассматривает метод мониторинга и диагностирования аккумуляторов; функции аккумулятора в электропитании СЖАТ; точность метода диагностики по величине внутреннего сопротивления и её повышение; использованием следящего генератора нагрузки для целей диагностики.

Четвертая часть рассматривает разделение элементов по их степени надёжности и пригодность для диагностирования; метод мониторинга и диагностирования электромеханического реле; переходные процессы в обмотке реле; влияние присутствия якоря на электромагнитное поле; метод диагностирования электромеханической системы; технологию реализации дополнительного оборудования.

Пятая часть рассматривает метод диагностирования кодового путевого трансмиттера; построение электронного аналога электромеханического трансмиттера; требования безопасности к электронному оборудованию в процессах с повышенным риском; принцип построения прототипа электронного трансмиттера; расчёты надёжности и безопасности; результаты оценки числовых критериев надёжности и безопасности.

Диссертация написана на 172 страницах, имеет введение, 5 глав, выводы, 96 рисунков, 94 формулы, 14 таблиц, список рассмотренной литературы и патентов, 7 приложений.

IEVADS	12
Tēmas aktualitāte.....	12
Literatūras apskats.....	13
Darba mērķi un uzdevumi.....	17
Pētījumā izmantotas metodoloģijas un līdzekļi.....	18
Darba zinātniskā novitāte.....	19
Darba praktiskais pielietojums.....	20
Darba aprobācija.....	20
Autora publikācijas saraksts.....	21
Izstrādātie patenti un izgudrojumi.....	22
1. MONITORINGA UN DIAGNOSTIKAS FUNKCIJU	
UZDEVUMS	23
1.1. Monitoringa un diagnostikas apakšsistēmas un to sasaiste ar vadības sistēmas drošuma rādītājiem.....	23
1.1.1. Diagnostikas apakšsistēmas uzdevums.....	23
1.1.2. Vadības sistēmas apkalpošanas tehnoloģijas.....	25
1.1.3. Vadības sistēmas gatavības koeficients un apkalpošanas izmaksas... ..	25
1.1.4. Lēmuma pieņemšana, izmantojot CBM tehnoloģiju.....	28
1.2. Diagnostikas apakšsistēmas izstrāde.....	29
1.2.1. Diagnostikas apakšsistēmas skaitliskie kritēriji.....	30
1.2.2. Diagnostikas apakšsistēmas izstrādes koncepcija.....	33
1.2.3. Diagnostikas apakšsistēmas arhitektūras izstrāde.....	34
1.2.4. Diagnostikas apakšsistēmas uzbūves metodoloģija.....	36
1.3. DzATS releju daļas diagnosticēšanas instrumenti.....	39
1.3.1. IĶ-tipa kombinēta mērīšanas līdzekļa izmantošanas trūkumi.....	39
1.3.2. Modernizēta mērīšanas līdzekļa izstrāde.....	42
1.4. Monitoringa un diagnostikas apakšsistēmas drošuma jēdziens.....	45
1.4.1. Bezatteices darba varbūtības paaugstināšanas paņēmieni.....	47
1.5. Dzelzceļa automātikas sistēmu uzbūve pēc klastera arhitektūras.....	50
1.6. Secinājumi.....	51
2. ELEMENTA STĀVOKĻA SKAITLISKĀ NOVĒRTĒJUMA	
METODOLOĢIJA	53
2.1. Vadības sistēmas elementa apraksts no izstrādātās metodoloģijas viedokļa... ..	53

2.1.1.	Derīguma pakāpes novērtējums pēc parametru kopuma.....	56
2.2.	Relatīvie neatbilstības un atbilstības koeficienti.....	57
2.3.	Apkalpošanas optimālā sākuma momenta noteikšana.....	60
2.3.1	Atteices un bojājumu cēloņu analīze.....	62
2.4.	Secinājumi.....	64
3.	AKUMULATORA PADZIĻINĀTAS DIAGNOSTICĒŠANAS METODES	
	IZSTRĀDE	65
3.1.	DzATS energoapgāde sistēma.....	65
3.2.	Bufera akumulatoru baterija.....	65
3.2.1.	Akumulatora stāvokļa diagnosticēšana.....	69
3.2.2.	Akumulatora enerģijas tilpums un kapacitāte.....	72
3.2.3.	Iekšējās pretestības novērtējums.....	73
3.2.4.	Akumulatora iekšējās pretestības novērtēšanas metodes ar paaugstināto precizitāti izstrāde.....	77
3.2.5.	Iekšējās pretestības novērtēšanas algoritms.....	84
3.2.6.	Papildu aprīkojuma darbības simulācija.....	86
3.3.	Secinājumi.....	90
4.	JAUNĀ PIEEJA DZATS PAMATELEMENTU PARAMETRISKAJĀ	
	DIAGNOSTICĒŠANĀ	91
4.1.	Dzelzceļa automātikas un telemātikas pamatelementi.....	91
4.2.	Pirmās drošuma klases releju diagnosticēšana.....	92
4.3.	Impulsu releju darbības īpašības.....	94
4.4.	Pārejas procesi releja tinumā.....	97
4.5.	Enkura diagnosticēšana.....	99
4.6.	Enkura diagnosticēšana reālā sistēmā.....	106
4.7.	I diagnosticēšanas metode.....	107
4.8.	II diagnosticēšanas metode.....	108
4.9.	Universālās diagnosticēšanas iekārtas prototipa praktiskā realizācija.....	110
4.10.	Secinājumi.....	112
5.	KUSTĪBAS DROŠĪBAS NODROŠINĀŠANAS SISTĒMAS KODU IEKĀRTAS	
	DIAGNOSTICĒŠANA	113
5.1.	EMCT konstruktīvās īpašības.....	113
5.1.1.	DzATS elektronisko ierīču uzbūves drošības un drošuma prasības...	115

5.1.2.	Tehniskie nosacījumi elektroniskā kodu ceļa transmitterim.....	117
5.1.3.	Elektroniskā kodu ceļa transmittera izveidošanas princips.....	118
5.1.4.	ECT prototips.....	120
5.1.5.	KPT-E drošuma un drošības rādītāji.....	123
KOPĒJIE SECINĀJUMI.....		129
Izmantotas literatūras saraksts		133
Pielikumi		140
Pielikums 1. Programmatūra relatīvas neatbilstības koeficientu aprēķinam C valoda		
Pielikums 2. Limita pārbaudes metode		
Pielikums 3. Pārejas procesi TИИ-65 releja-atkārtotāja spolē impulsu režīmā		
Pielikums 4. ECT sastāvdaļas programmatūra		
Pielikums 5. Elektroniska kodu transmittera prototips, oficiālie dokumenti		
Pielikums 6. Akumulatoru iekšēja pretestības mērījumus rezultāti		
Pielikums 12. Slodzes sekojošais ģenerators, oficiālie dokumenti		

IEVADS

Tēmas aktualitāte

Dzelzceļa 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].

Dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmas drošuma līmeņa noturēšana balstās uz apkalpošanas paņēmieniem. Latvijas dzelzceļā 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].

Viens no apkalpošanas pasākumu mērķiem ir aizsargāties no visa veida atteices un bojājumiem.

Dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmas releja daļa sastāv no dažādiem releju tipiem. Vienkāršoti relejus var iedalīt pirmajā drošuma klasē un citos. Pirmās klases releji vairāk tiek izmantoti elektriskas atkarības shēmās un ļauj sasniegt lielāku bezatteices darbības laiku (Mean Time Between Failure-MTBF) nekā plānotais aizvietošanas periodiskums, reizi desmit gadu laikā. Pie citiem var pieskaitīt specializētus impulsu, kodu, avārijas relejus, ar mazāku aizvietošanas periodiskumu.

Neskatoties uz plānotiem pasākumiem, ir fiksēti elementu negaidītas atteices gadījumi (Sudden Failure), kas saistīti ar ekspluatācijas apstākļiem, ar atjaunošanas remonta laikā neatklātiem defektiem, ar nekvalitatīvu vai nepilnīgi izpildītu atjaunošanas remontu, ar nekvalitatīviem aizvietošanas darbiem, ar fizisko novecošanu vai nolietojumu [13][26].

Dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmas mikroprocesoru daļa sasniedz augstu drošuma pakāpi, izmantojot funkcionālas metodes, tādas kā atteices pārvaldība (Failure Management) un funkcijas rezervēšana (Functioning Reserve) [22]. Šīs metodes ļauj izveidot pret atteicām izturīgas shēmas [1][22][32]. Savādāk atteices pārvaldīšana prasa speciālo diagnostikas apakšsistēmu, bet funkciju rezervēšana notiek ar aparātūras pārpildīšanu [32].

Specializēto objektu kontrolleru izveidošana 90-os gados palielināja izpildmehānismu un ierīču integrēšanas iespēju mikroprocesoru centralizācijā (MPI–Microprocessor

Interlocking). Pārsvārā mikroprocesoru centralizācijas sistēmās diagnosticēšanas funkcijas aptver mikroprocesoru daļu un ar objektu kontrolleru vadāmus elementus [2]. MPI sistēmu pamatfunkcijas ir centralizēta objektu vadība. Sistēmas operators objektu vadības laikā nodrošināts tikai ar informāciju par vadāmo elementu kļūdainu darbību [28], savukārt sistēmu apkalpošanas personāls apstrādā kopējo informāciju par situāciju [2].

Speciālā uzdevuma sistēmas, tādas kā dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmas, pirmkārt, pieļauj savā sastāvā izmantot elementus ar bezatteices darbības laiku, kas ir īsāks nekā sistēmas eksistēšanas laiks, otrkārt, paredz sistēmas funkcionēšanu arī ārpus normālas darbības apstākļiem. Rezultātā notiek MTBF samazināšana un negaidītas atteices varbūtības palielināšanās.

Šobrīd ir aktuāli izstrādāt dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmas releju daļas monitoringa un diagnosticēšanas metodes, kas būtu neatkarīgas no ierobežojumiem, kas saistīti ar orientēšanu uz funkcijas izpildīšanu [28] ar mērķi paaugstināt releju daļas apkalpošanas efektivitāti, pārejot uz remontu pēc stāvokļa (CBM - Condition Based Maintenance), ar minimālo papildu aprīkojuma piesaistīšanu. CBM efektivitāte pierādīta [24] pēc Intelligent Manufacturing System (IMS) datiem, izmantojot CBM tikai ASV ir ietaupīts ap 5000000 \$ katru gadu.

To iespējams sasniegt:

- nodrošinot DzATS elementiem $MTBF > \text{Sistēmas eksistēšanas laiks}$ (Life Time), un tad arī nav nepieciešama nekāda veida apkalpošana;
- pieļaujot DzATS elementiem $MTBF < \text{Sistēmas eksistēšanas laiks}$ (Life Time), bet jānodrošina apkalpošana pēc reālā stāvokļa (CBM);
- paaugstinot atjaunošanas remonta kvalitātes, kontrolējot elementu degradāciju;
- aizvietojojt DzATS specializētos relejus ar analogiem, kas izveidoti uz mikroelektronikas bāzes saskaņā ar dzelzceļa automātikas elementu un iekārtu drošuma un drošības prasībām.

Lai izmantotu tādas pieejas priekšrocības, nepieciešams izpētīt elementus un elementu ieslēgšanas shēmas, aparatūras funkcionālās shēmas, izanalizēt eksistējošās diagnosticēšanas metodes un instrumentus, ja iespējams, pārstrādāt tos izmantošanai mikrokontrolleru diagnostikas apakšsistēmā, kā arī izstrādāt ticamas monitoringa un diagnostikas metodes.

Literatūras apskats

Avotā [3] izskatīta nepieciešamā drošības līmeņa sasniegšana, izmantojot programmējamās loģikas kontrolleru dublēšanu ar daudzkārtēju devēju dublēšanu. Kontrolleru barošanas shēmas ir atdalītas, bet nav aprakstītas un parādītas akumulatora testēšanas iespējas. Tomēr sistēma atbilst drošības līmenim SIL4 (Safety Integrity Level) pēc CENELEC prasībām. Paņēmieni, kas nodrošina nepieciešamo komforta līmeni pēc SEL (Safety Externality Level) rādītājiem, nav izskatīti. Iekšējās diagnostikas daļas darbība nav izskatīta precīzāk.

Avotā [4] piedāvāts monitoringa un diagnostikas sistēmas uzbūves projekts, ar mērķi pāriet uz CBM tehnoloģiju. Šajā promocijas darbā atšķirīgi no minētā avota tiek izskatīti informācijas ticamības jautājumi un informācijas plūsmas optimizēšana. Atšķirīgi no [4] šajā promocijas darbā noteikti diagnosticējamās aparatūras elementi, un sistēmas apkalpošanas optimizācijā izmantota pieeja, kad informācija par elementu stāvokli sadalīta pēc prioritātes, atkarībā no elementa kontrolējamā parametra izmaiņas ātruma laika momentā. Atšķirīgi no [4] promocijas darbā piedāvāti arī skaitliski kritēriji diagnostikas apakšsistēmas optimizēšanai. Atšķirīgi no [4] promocijas darbā izstrādātās diagnostikas metodes var tikt pielietotas konkrētiem elementiem.

Avotā [13] izskatīti drošuma un funkcionēšanas kvalitātes jautājumi un tos ietekmējošie faktori. Drošuma novērtēšanā izmantota statistika, kas apkopota ekspluatācijas laikā. Atšķirīgi no [13] promocijas darbā izskatīta atjaunošanas remonta kvalitātes paaugstināšana, izmantojot izstrādātās diagnostikas metodes izejas kontroles procedūrās.

Avotā [21] izskatīta DzATS automatizētā diagnostikas apakšsistēma. Promocijas darbā, atšķirīgi no avota [21], izstrādātā diagnostikas apakšsistēmas koncepcija neveido „kontrolē aiz kontroles”, nedublē DzATS funkcijas, ir orientēta uz diagnosticēšanu, izmantojot aparatūras ražotāja procedūras. Atšķirīgi no [21], promocijas darbā izstrādātā diagnostikas apakšsistēmas koncepcija paredz TBM un CBM izmantošanu apkalpošanas optimizēšanai, kā arī informācijas plūsmas virziena maiņu atkarībā no elementa stāvokļa izmaiņu simptomiem. Atšķirīgi no [21], promocijas darbā ir piedāvāti skaitliskie kritēriji diagnostikas apakšsistēmas funkcionēšanas kvalitātes kontrolei un atspoguļoti apakšsistēmas drošības un drošuma jautājumi. Atšķirīgi no avota [21], promocijas darbā piedāvātie tehniskie risinājumi atbilst iebūvēta testēšanas aprīkojuma tehnoloģijas (BITE-Build in Testing Equipment) koncepcijai.

Avotā [22] detalizēti izskatīti sistēmas un elementu drošuma, gatavības un apkalpošanas jautājumi. Avotā [22] izskatīti atteices noteikšanas metodes teorijas jautājumi, kas balstīti uz procesa, signāla un atteices modelēšanas, signāla identificēšanas, uz lieluma limita pārbaudes, kā arī diagnosticēšanas metodēm, izmantojot atteices klasifikācijas paņēmienus. Atšķirībā no avota [22], promocijas darbā izstrādāta diagnosticēšanas metode, kas balstīta uz elementa derīguma pakāpes noteikšanas. Izskatīti releji, elektromehāniskie kodu ceļu transmitteri un iekšējās pretestības novērtējuma metode akumulatoru baterijām. Atšķirībā no avota [22], promocijas darbā izstrādātās metodoloģijas ir orientētas uz pielietošanu konkrētiem elementiem.

Avotā [24] izskatīta mašīnbūves tehnoloģiskā procesa kvalitātes nodrošināšanas metode, izmantojot procesa diagnostiku, realizējot apkalpošanu pēc stāvokļa (CBM). Procesi klasificēti, izmantojot liela apjoma datu apstrādi (Statistic Based). Avotā [24] kvalitātes nodrošināšanas metode balstīta uz algoritma ar apakšsistēmu apmācīšanu, kam nepieciešama noteikta datu apjoma savākšana. Atšķirīgi no [24], promocijas darbā izstrādātā elementa stāvokļa noteikšanas metode balstīta uz maksimāla parametru kopuma novērošanu, ar normālā stāvokļa priekšzināšanu (Knowledge Based). Atšķirīgi no [24], promocijas darbā izstrādātā diagnostikas metode nav atkarīga no savākto datu apjoma un novērošanas laika un nevar tikt klasificēta kā statistikas metode. Avotā [24] diagnostikas apakšsistēmas prognozēšanas uzdevums noteikts kā atlikušās lietderīgās lietošanas novērtējums (RUL-Remaining Useful Life), promocijas darbā izstrādātās diagnostikas apakšsistēmas uzdevums ir nodrošināt sistēmas funkcionēšanu ar pilnībā validētiem elementiem.

Avotā [26] izskatīti izplatītākie dzelzceļa releju aparatūras apkalpošanas paņēmieni. Nav izskatīti neapkalpojamo akumulatoru defektēšanas paņēmieni. Atšķirīgi no [26], promocijas darbā piedāvātā diagnostikas metode balstās uz papildaprīkojuma izmantošanu. Atšķirīgi no [26], promocijas darbā izstrādātā akumulatoru baterijas diagnostikas metode orientēta uz neapkalpojamo akumulatoru darbderīguma stāvokļa noteikšanu.

Avotā [27] izskatīta diagnostikas metodes klasifikācija; diagnosticēšana, izmantojot sistēmas modeli; informācijas plūsmas optimizēšana; drošuma jautājumi un optimālās parametru virknes izvēle pēc izmaksas. Plūsmu optimizēšana nav atkarīga no informācijas pārraides veida. Nav izskatīti sistēmas drošības jautājumi. Atšķirīgi no avota [27], promocijas darbā piedāvāta diagnostikas metode ar informācijas plūsmu, kas izmanto datus par elementa stāvokli nevis par elementu parametriem. Atšķirīgi no avota [27], promocijas darbā ir izskatīta elementa drošuma ietekme uz diagnosticēšanu. Atšķirīgi no avota [27], promocijas

darbā piedāvātās diagnostikas apakšsistēmas kritēriji saistīti ar konkrēta elementa maksimālo parametru skaita novērošanu.

Avotā [28] izskatīta elementu atteices intensitāte gada laikā. Atšķirīgi no [28], promocijas darbā noteikta elementa atteices intensitāte atkarībā no gada sezonas. Atšķirīgi no [28], promocijas darbā piedāvātā metode izmanto maksimālo iespējamo parametru skaitu elementa darba stāvokļa novērtēšanai. Atšķirīgi no [28], promocijas darbā izstrādātā parametriskā diagnostikas metode nav atkarīga no DzATS izturības īpašībām pret atteici. Atšķirīgi no [28], promocijas darbā diagnostikas objekts aprakstīts ar relatīviem atbilstības vai neatbilstības koeficientiem.

Avotā [32] izskatīta koncepcija drošu ierīču izveidošanai. Piedāvātā atteices un bojājumu statistika nav sadalīta atbilstoši izraisīšanas cēloņiem. Piedāvātā grafu metode atteices modelēšanai. Avotā [32] aprakstītā atteices modelēšana piemērota loģiskas shēmas atteices analīzei un neaptver mikrokontroleru un mikroprocesoru sistēmas. Atšķirīgi no avota [32], promocijas darbā aprakstītais elektroniskā transmittera prototips izveidots pēc funkcijas sadalīšanas principa, ievērojot CENELEC rekomendācijas drošu elektronisko ierīču uzbūvei.

Avotā [34] secināts, ka statistikas datu ticamība paaugstinās, palielinot novērošanas ilgumu un novērojamo objektu skaitu. Lielajam statistiskās datu apjomam par parametru ir iespējams pielietot novērtējumu pēc Bajesa metode [34]. Statistikas datu ticamība ir visaugstākā, ja ilgst nepārtraukti līdz ekspluatācijas izbeigšanai. Visticamākais rezultāts ir iegūts laikā, kad beidzas objekta ekspluatācijas laiks. Atšķirīgi no [34], promocijas darbā izstrādātās diagnostikas metodes balstās uz informācijas pārpilnību, nodrošinātu ar maksimālo parametru skaitu novērošanai. Atšķirīgi no [34], promocijas darbā piedāvātā diagnostikas metode ir saistīta ar ražotāja validēšanas procedūrām elementa izgatavošanas laikā. Atšķirīgi no [34], promocijas darbā piedāvātais diagnostikas apakšsistēmas modelis noņem ierobežojumus, kas saistīti ar pret atteices sistēmas noturību.

Jāatzīmē, ka dažādos avotos [22], [33], [34] izskatītas triviālas situācijas un nav apskatīti negaidītas atteices cēloņi. Avotā [24] izskatīta diagnostikas izmantošana mašīnbūves ražotnē, kas pārsvarā nav saistīta ar diagnostikas uzdevumiem DzATS.

Rakstā [40] izskatīta ekspertu sistēma ar iebūvēto neironu tīklu, kas tiek izmantota atjaunošanas darba sākuma momenta optimizēšanai. Piedāvātā pieeja izmanto sistēmas elementa izmantošanas ilguma izmaksas aprēķinus (LCC-Life Cycle Costs). Rakstā [40] izskatītā ekspertu sistēma piemērota sliežu infrastruktūras novērtēšanai. Izskatītā ekspertu sistēma risinājuma pieņemšanai izmanto faziloģiku un kā rezultāts tiek veidota hibrīdu

sistēma. Atšķirīgi no raksta [40], promocijas darbā piedāvātā diagnostikas metode optimizē apkalpošanas laika momenta sākumu atkarībā no elementa stāvokļa ātruma izmaiņām.

Avotā [84] autors piedāvā mikroprocesoru un releju vilcienu kustības vadības sistēmas funkcionālā drošuma un drošības paaugstināšanas metodi. Piedāvātā metode balstās uz reālas aparatūras un tās virtuālā idealizētā modeļa informatīvo parametru salīdzināšanas, kad sistēma izpilda savas tiešās vadības funkcijas. Atšķirībā no piedāvātā [84] promocijas darbā izstrādātā diagnostikas metode izmanto maksimālo pieejamo kontrolējamā elementa parametru kopumu un novērtē katra elementa darbības spējas reālā laikā. Izstrādātā metode paredzēta reāli eksistējošiem sistēmu elementiem, kas izmantoti esošās vilcienu kustības sistēmās, un tā klasificējama kā parametriskā diagnosticēšanas metode, bet [84] darbā piedāvāto metodi var klasificēt kā funkcionālo. Atšķirībā no avotā [84] piedāvātās metodes, promocijas darbā izstrādātā metode nav atkarīga no sistēmas pretošanās spējas atteicēm, kas nomaskē bojāto elementu. Turklāt izstrādātā metode izmanto BITE tehnoloģiju. [84] avotā piedāvātā metode novērtē sistēmas darbības spējas pēc gatavības koeficienta un pēc operatīvās gatavības. Avotā [84] izstrādātajā metodē paredz sistēmas atjaunošanu pilnībā.

Darba mērķi 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 dzelzceļa elementu darbības spējas 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 darbības spējas, 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.

Darba atrisināti sekojoši uzdevumi:

- parametriskas diagnosticēšanas izmantošana DzATS;
- matemātiskais aparāts derīguma pakāpes noteikšanai;
- impulsu releju elektromehāniskas sistēmas nolietojuma stāvokļa noteikšanai;
- papildu aprīkojuma uzbūves tehnoloģija;
- elektromehāniska ceļa kodu transmittera aizvietošana ar elektroniska analoga prototips ar pašdiagnostikas funkciju (LR patents 14466);
- elektroniska ceļa kodu transmittera analoga prototipa drošuma un drošības aprēķins un pierādījums;
- akumulatora iekšējās pretestības novērtēšanas metode ar paaugstinātu precizitāti (LR patents 14473).

Pētījumā izmantotas metodoloģijas un līdzekļi

Programmas nodrošinājums:

- 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:

- ОСТ 32. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики.

Darba zinātniskā novitāte

- Sistēmas degradācijas koeficients, ka kritērijs atjaunošanas remonta efektivitātes;
- Universāla diagnostikas apakšsistēmas koncepcija:
 - apakšsistēmas modelis;
 - skaitliskie kritēriji diagnostikas apakšsistēmas novērtēšanai un optimizēšanai;
 - izmantot sistēmas adaptīvu 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 sekojoša ģenerators 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 praktiskais pielietojums

Darba sasniegti rezultāti kopuma ietekme uz apkalpošanas kvalitāte un sistēmas drošumu un drošību.

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. Mezitis 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. Mezitis 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. Mezitis 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., Energētika 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”.

1. MONITORINGA UN DIAGNOSTIKAS FUNKCIJU UZDEVUMS

1.1 Monitoringa un diagnostikas apakšsistēmas un to sasaiste ar vadības sistēmas drošuma rādītājiem

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

Monitorings nodrošina informācijas savākšanu par sistēmas elementu stāvokli un to izmaiņām sistēmas funkcionēšanas laikā. Monitoringa funkcija ļauj novērot sistēmas funkcionēšanas pilnību un ir neatņemama automatizēto sistēmu vadības daļa.

Diagnostikas funkcija nodrošina sistēmas elementu tehniskā stāvokļa novērtēšanu pēc raksturīgajām pazīmēm un to izmaiņām. Diagnostika Dzelzceļa automātikas sistēmās ir labākais veids, kā nodrošināt apkalpojošo personālu ar ticamu informāciju par kontrolējamo elementu parametru raksturīgajām izmaiņām savlaicīgai reakcijai, lai nodrošinātu visas sistēmas nepārtrauktu funkcionēšanu.

1.1.1. Diagnostikas apakšsistēmas uzdevums

Kopumā diagnostikas apakšsistēma pēc diagnostikas informācijas apstrādes nodrošina brīdinājumus par vadības sistēmas nepareizu darbību (Malfunction), kļūmēm (Fault), atteicēm (Failure). Diagnostikas apakšsistēma var arī izdalīt (Detection) iespējamo elementu jeb iekārtu, kas ir augstākminēto notikumu pamatcēlonis [22][24]. Diagnostikas apakšsistēmas pilnībai nepieciešams kontrolēt arī pašas vadības sistēmas ekspluatācijas apstākļus.

Tāda veida diagnostikas apakšsistēmas primārā funkcija ir kontrolēt vadības sistēmas elementu tehniskos rādītājus. Gadījumā, ja kontrolējamie tehniskie rādītāji atrodas atļautās vērtības diapazonā, tad var secināt, ka pati sistēma ir pilnā darbderīguma stāvoklī. Tādējādi elementa tehnisko parametru vērtības noņemšanas precizitātes pakāpe un kontrolējamo parametru skaits (Depth) būtiski ietekmē elementa darbderīguma novērtēšanu. Tādēļ ir jāatdala diagnostikas funkcijas no kontroles funkcijām. Avotā [28] un [34] izskatīta pieeja, kad atteices detektēšana sākas tikai pēc sistēmas funkcionalitātes pārtraukuma. Jāņem vērā, ka diagnostikas apakšsistēmas izveidošanu nosaka vadības sistēmas iekšējā uzbūve (releju, mikroprocesoru). Diagnosticēšanas procesā svarīgi apvienot elementu savstarpējo un funkcionālo atkarību.

Diagnostikas apakšsistēmas minimālais uzdevums – realizēt paņēmieni, kad sistēmas pamatuzdevuma neizpildīšanas laikā tiek savākts informācijas daudzums par raksturīgajiem parametriem, kas kopā ar turpmāk savāktu informāciju sistēmas pamata uzdevumu izpildīšanas laikā būs pietiekošs, lai novērtētu elementa tehnisko rādītāju atbilstību deklarētajām vērtībām.

Diagnostikas apakšsistēmas maksimālais uzdevums – realizēt paņēmieni, kad elements tiek aizvietots sistēmā, pilnībā notestēts un novietots atpakaļ sistēmā, bez ietekmes uz pašas sistēmas pamata uzdevumu izpildi.

Diagnostikas apakšsistēmas vizualizācijas iespējas ir atkarīgas no izmantotā sakaru interfeisa ar vadības sistēmu, no vadības sistēmas hierarhijas līmeņa, kur tiek raidīti diagnostikas paziņojumi, kā arī no vadības sistēmas izmantošanas nozares. DzATS gadījumā gala lietotājs ir gan apkalpojošais personāls (Maintenance Staff), gan tehniskā atbalsta personāls (Support Staff), un ir pietiekoši informācijas par elementa pirmsatteices stāvokli un personāla rīcību, kad ir konstatēts konkrētā elementa pirmsatteices stāvoklis.

Visoptimālākais dažādu dzelzceļa automātikas sistēmu diagnostikas nodrošināšanas problēmas risinājums ir vienas vienotas diagnostikas apakšsistēmas izveide, kas ļautu organizēt diagnostikas uzdevumus daudzveidīgām atšķirīgām sistēmām, ko izmanto drošas vilcienu kustības organizācijā.

Universālais diagnostikas paņēmieni pieprasa:

- izmantot universālo devēju;
- aprakstīt visus procesus ar vienādiem skaitliskiem koeficientiem;
- lai diagnostikas apakšsistēma nebūtu saistīta ar pašas sistēmas funkcionēšanas apstiprināšanu;
- lai apakšsistēma nedublētu ekspertu sistēmas darbību (ja tāda pastāv).

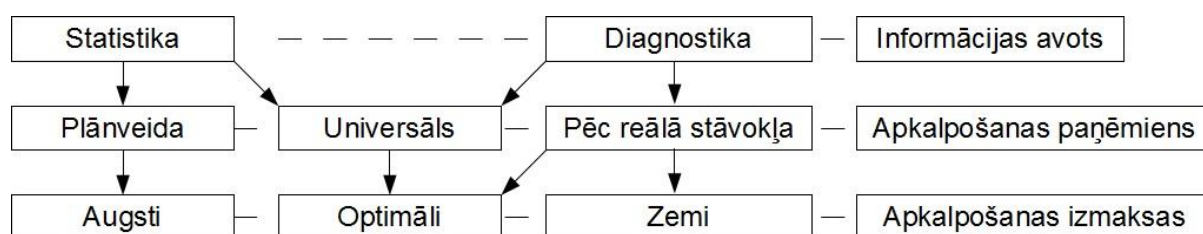
Pastāv vēl viena iespēja, kā realizēt diagnostikas uzdevumu. Ja vadības sistēma uzbūvēta ar elementiem, kuros izmantota iebūvēta testēšanas aprīkojuma tehnoloģija (BITE-Build in Testing Equipment), tad diagnostikas apakšsistēma tiek vienkāršota, jo tā būs sistēma, kas apkopo signālus no iebūvētiem devējiem. Pie tam BITE tehnoloģijas izmantošana samazina papildaprīkojuma komponentu.

Promocijas darbā izanalizēta iespēja izmantot universālo diagnostikas pieeju elementiem dzelzceļa automātikas sistēmā uz releju vai mikroelektronikas bāzes, un izstrādāt papildaprīkojumu esošiem elementiem diagnostikas veikšanai.

1.1.2. Vadības sistēmas apkalpošanas tehnoloģijas

Apkalpošanas tehnoloģijas izvēle ir atkarīga no diagnostikas apakšsistēmas esamības un iespējām. Jebkura paņēmiena uzdevums – atjaunot vai aizvietot elementu pirms kritiskā stāvokļa (Critical State).

Apkalpošanas paņēmienus nosacīti var iedalīt tajos, kas izmanto statistiskus vai aprēķinātus datus par kritiskā stāvokļa sasniegšanu zināmos ekspluatācijas apstākļos (TBM - Time Based Maintenance), un tajos, kas izmanto elementa parametru novērošanu ekspluatācijas laikā (CBM - Condition Based Maintenance) (att. 1.1.). TBM nodrošina elementu aizvietošanu pēc noteikta grafika (According to Schedule), bet CBM nodrošina elementu aizvietošanu atkarībā no stāvokļa (Real State of Condition).



1.1. att. Apkalpošanas paņēmieni

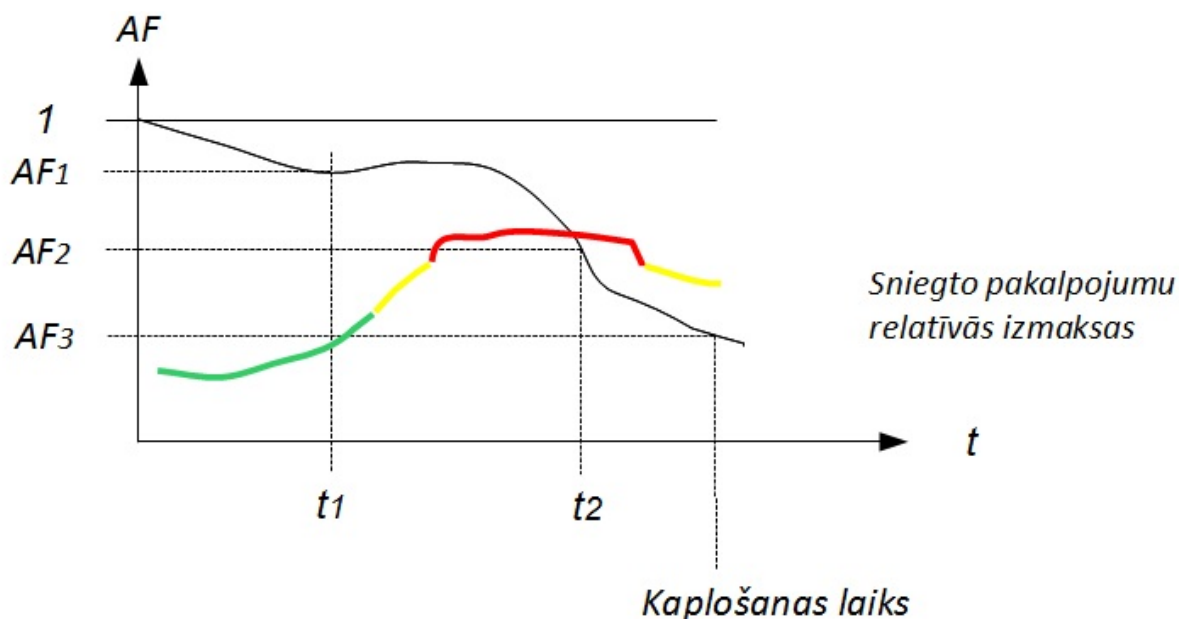
Eksistējošās vilcienu kustības vadības sistēmas specifika neļauj pilnībā izmantot CBM pieeju tādēļ, ka releju ražotāji nenodrošina iebūvētās diagnosticēšanas instrumentus un diagnostikas apakšsistēmas iespējas ir ierobežotas.

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

1.1.3. Vadības sistēmas gatavības koeficients un apkalpošanas izmaksas

Gatavības koeficients - iespēja, ka objekts izrādīsies darbspējīgā stāvoklī izvēlētajā laika brīdī, izņemot plānotos periodus, kuru laikā objekta izmantošana uzdevumam nav paredzēta un apvieno tādas jēdzienus, kā drošums un remontējamība. Gatavību raksturo gatavības funkcija $AF(t)$ un gatavības koeficients AF (Availability Factor) [24][28].

Gatavības koeficients ir gatavības funkcijas (att. 1.2.) robežstāvoklis un ir varbūtība sistēmas darbderīguma laika robežās.



1.2. Att. Gatavības funkcija $AF(t, RCPS)$ un apkalpošanas izmaksas $RCPS$

Gatavības funkcija $AF(t, RCPS)$ un apkalpošanas izmaksas $RCPS$ Gatavības koeficients ir galīgais rādītājs par sistēmas uzbūves un apkalpošanas kvalitāti pēc ekspluatācijas laika izbeigšanās [22]:

$$AF = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}, \quad (1.1)$$

kur: $MTBF$ (Mean Time between Failure) – vidējais laiks bezatteices darbībai;
 $MTTR$ (Mean Time to Repair)- vidējais laiks atjaunošanai vai remontam.

Savukārt vidējais laiks atjaunošanai vai remontam ($MTTR$) pēc avota [28]:

$$MTTR = MTOD + MTTD + MTOR, \quad (1.2)$$

kur: $MTOD$ (Mean Time of Detection) - vidējais laiks atteices detektēšanai;
 $MTTD$ (Mean Time to Defectation) - vidējais laiks atteices vietas noteikšanai;
 $MTOR$ (Mean Time of Replacement) – vidējais laiks elementa aizvietošanai.

Vadības sistēmas izmantošanas laikā notiek sistēmas degradācija, kas saistīta ar elementu nolietošanos. Atjaunošanas remontu laikā dažādi elementi tiek aizvietoti ar jauniem vai atjaunotiem elementiem. Izmantojot līdzīgu sistēmu statistiskus novērojumus izmantošanas laikā, var secināt, ka vidējais bezatteices darbības laiks ir atkarīgs arī no vidējām apkalpošanas izmaksām. Tas noved pie bezatteices darbības vidējā laika samazināšanās.

Sistēmas degradāciju iespējams novērtēt pēc degradācijas koeficienta lieluma.

$$DgF = 1 - \frac{MTBF_{used}}{MTBF_{new}} = 1 - \frac{\lambda_{new}}{\lambda_{used}}, \quad (1.3)$$

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

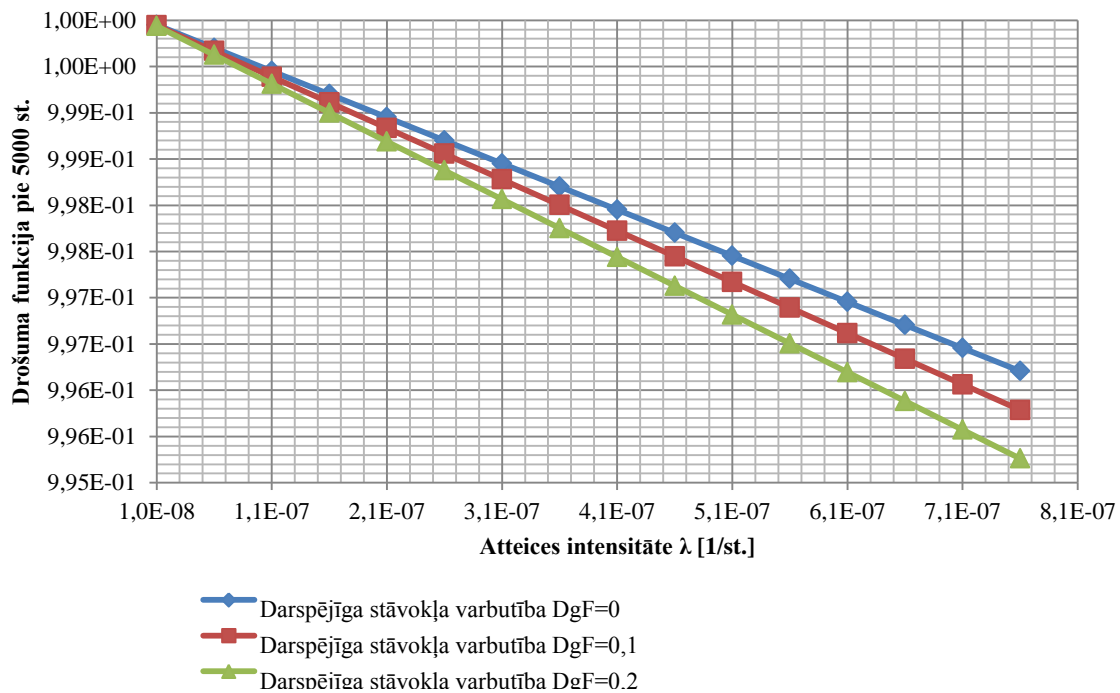
$MTBF_{used}$ – vidējais bezatteices darbības laiks atjaunotai sistēmai;

λ_{new} - atteices intensitāte jaunai sistēmai;

λ_{used} - atteices intensitāte atjaunotai sistēmai.

Tādā veidā, sistēmas drošuma funkcija, jeb darbspējīga stāvokļa varbūtība izmantojot degradācijas koeficientu (1.3. att.):

$$R_{used}(t) = e^{-\lambda_{used} \cdot t} = e^{-\lambda_{new} \cdot t \cdot (1-DgF)^{-1}} \quad (1.4)$$



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 $RCPS \rightarrow min$.

Pārvadājumu procesa nepārtrauktība saistīta ar automātikas un telemātikas sistēmas funkcionēšanu. Vispārīgā gadījumā vilcienu kustības intensitāte ļauj veikt sistēmas

apkalpošanu noteiktos laika momentos, ar mērķi paveikt nepieciešamos atjaunošanas pasākumus un nepārtraukt pārvadājumu procesu kopumā. Tas nozīmē, ka sistēmas novērtēšanai pēc gatavības koeficienta jākorrigē *MTTR* laiks, lai tajā iekļautu tikai negaidītas atteices remonta laiku, kad notiek ietekme uz pārvadājumu procesa nepārtrauktību un kā rezultātā rodas ar kustības aizkavēšanu saistīti zaudējumi.

Gadījumā, ja DzATS tiek izmantota apkalpošana pēc laika - TBM (Time Based Maintenance), kad sistēmas elementi tiek aizvietoti pēc konkrēta laika, lai izsargātos no negaidītām atteicēm, ir iespējams neizmantojot diagnostikas apakšsistēmas, bet tāda veida apkalpošana nav optimāla pēc *RCPS* izmaksām (nosacījums III).

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 atjaunotos nevis jaunus elementus.

Diagnostikas apakšsistēmas izveidošana reālos apstākļos vairāk orientēta uz *MTTR* mazināšanu, izmantojot atteices vietas noteikšanu (Faulty Detection) un uz pirmsatteices stāvokļa prognozēšanu (Faulty Prediction) [22][24].

1.1.4. Lēmuma pieņemšana, izmantojot CBM tehnoloģiju

Diagnostikas apakšsistēma sniedz informāciju par atjaunošanas nepieciešamību, un lēmuma pieņemšana ir apkalpojošā personāla uzdevums. Ekspertu sistēmu izmantošana kopā ar diagnostikas sistēmu dod iespēju noteikt optimālo laika posmu atjaunošanas darba sākumam [1] gadījumos, kad paredzēta sistēmas darbība ar elementiem, kuriem daļēja darba spēja.

Jāatzīmē, ka informācijas apstrādes algoritmu „jaudas” palielināšana ļauj kompensēt informācijas avota nepietiekamu ticamību līdz noteiktai pakāpei. Piemēram, ja informācijas plūsmā pastāv noteiktais trokšņa signāls, tad ar jaudīgajiem informācijas apstrādes algoritmiem tomēr ir iespējams izvilkt nepieciešamo informāciju. Tas nozīmē, ka apakšsistēma var strādāt ar nepārvaramu negatīvu tendenci.

Informācija par elementa stāvokļa neatbilstību noteiktiem tehniskajiem rādītājiem ir sākums iespējamai sistēmas nepareizai funkcionēšanai, atteicei vai bojājumam un nepieciešami atjaunošanas darbi.

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:

$$\mathcal{F}(F_i) \rightarrow S(F_i) \ni \{s_i\}, \quad (1.5)$$

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) [22].

1.2. Diagnostikas apakšsistēmas izstrāde

Lielā daļā literatūras avotu diagnostikas apakšsistēmas izskatītas kā vadības sistēmas daļa, neatklājot visu potenciālu, ko sniedz šīs apakšsistēmas pielietošana [20]. Pārsvārā diagnostikas apakšsistēmu raksturo pēc mērījumu, datu savākšanas un datu pārraides parametru kopuma.

Dzelzceļa automātikas sistēmu un diagnostikas apakšsistēmas darbības analīze rāda, ka diagnostikas apakšsistēma pārsvārā nodrošina noteikto elementu stāvokļu un izmērīto ķēdes parametru saglabāšanu ar iespējamo piekļuvi pie tās tad, kad tiek izmeklēti ārkārtēji incidenti vai notiek statistikas datu apstrāde [18].

Moderna diagnostikas apakšsistēma savā sastāvā ietver aparatūras (Hardware) komponentes un programmatūras (Software) sastāvdaļas. Parasti diagnostikas apakšsistēmu raksturo šīs sistēmas tehniskie rādītāji: analogā-digitālā pārveidotāja ADC izšķirtspēja, pārraides ātrums, darba temperatūra utt., un apraksts par izmērīto parametru reģistrēšanas programmu. Tādējādi parastais lietotājs nevar precīzi noteikt apakšsistēmas diagnostikas atbilstību noteiktām īpašībām no tehniskā viedokļa [20].

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.

1.2.1. Diagnostikas apakšsistēmas skaitliskie kritēriji

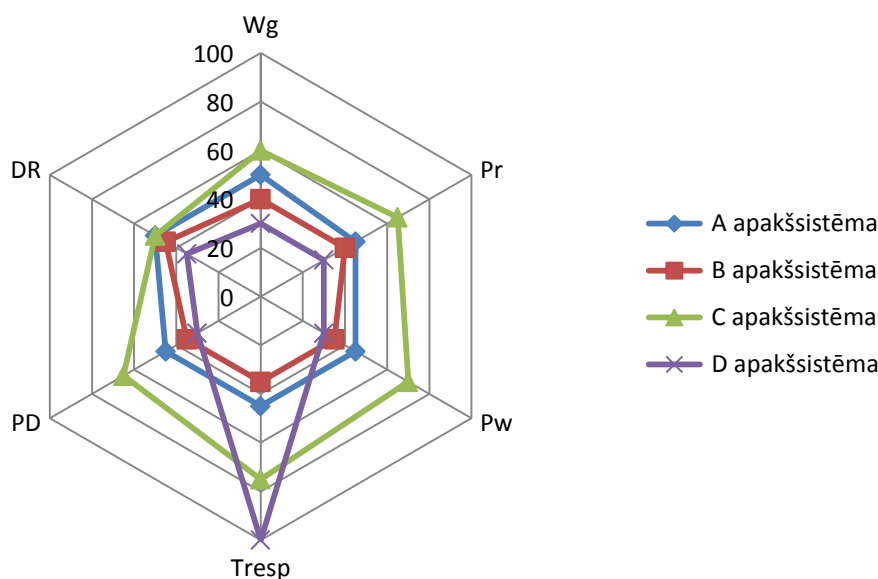
Diagnostikas apakšsistēma var tikt izveidota, pamatojoties uz dažādām informācijas savākšanas un apstrādes tehnoloģijām. Hipotētiski pastāv virkne iespējamo apakšsistēmas uzbūves kopumu, kas spēj nodrošināt izvirzītās prasības. Līdz ar to prasībās pret diagnostikas apakšsistēmu var būt skaidri definēti kritēriji, kas ļauj novērtēt apakšsistēmu:

$$Cr^{DSS} = (Cr^1, Cr^2, \dots, Cr^n, \dots, Cr^N) \quad (1.6)$$

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

Cr^n - n-tais definētais kritērijs.

Šie kritēriji vajadzīgi, lai būtu iespējams izvēlēties diagnostikas apakšsistēmas veidu, novērtējot dažādus piedāvāto diagnostikas apakšsistēmu variantus (1.4. att.).



1.4. att. Kritēriju savstarpējas attiecības grafiskais paskaidrojums

Promocijas darbā izvirzīti sekojoši kritēriji:

1. Wg (Weight) – relatīvs svars, papildus aprīkojuma apjoma raksturojumam. Šis kritērijs var tikt aprēķināts kā pamata un papildaprīkojuma skaita attiecība:

$$Wg = \frac{Q^{DSS}}{Q^S + Q^{DSS}} \cdot 100\% \quad (1.7)$$

kur Q^{DSS} - papildus aprīkojuma aparatūras skaits;

Q^S - pamata aprīkojuma aparatūras skaits.

2. Pr (Productivity) – produktivitāte vai veiktspēja, kas raksturo lēmuma pieņemšanas ātrumu:

$$Pr = \frac{F^{true} + F^{false}}{T^{cycle}} \quad (1.8)$$

kur F^{true} – pareizu lēmumu skaits diagnosticēšanas periodā;

F^{false} – nepareizu lēmumu skaits diagnosticēšanas periodā;

T^{cycle} – diagnosticēšanas periodiskums.

3. Pw (Power) – diagnostikas apakšsistēmas relatīvā jauda, kas parāda attiecību starp ar diagnostikas instrumentiem aprīkoto objektu vai elementu skaitu un sistēmas kopējo objektu vai elementu skaitu:

$$Pw = \frac{V^{into}}{V^S} \cdot 100\% \quad (1.9)$$

kur V^{into} - objektu vai elementu skaits, ko aptver diagnostika;

V^S - kopējais objektu vai elementu skaits sistēmā.

4. $T_{response}^{DSS}$ (Response Time) - atbildes laiks, kas raksturo laiku no elementa stāvokļa izmaiņas momenta līdz informācijas saņemšanai lietotāja interfeisā:

$$T_{response}^{DSS} = t_{response}^{DSS} - t_{state\ change}^{object} \quad (1.10)$$

kur $t_{response}^{DSS}$ – lietotāja interfeisā nofiksētais informācijas saņemšanas laiks;

$t_{state\ change}^{object}$ – objekta vai elementa parametra vai stāvokļa izmaiņas laiks.

5. PD (Penetration Depth) – diagnostikas sasniegšanas dziļums, raksturo objekta vai elementa parametru vai funkciju daudzumu, kurus izmanto stāvokļa noteikšanai. Objekta vai elementa parametru sasniegšanas dziļums:

$$PD(Prm) = \frac{Prm^D}{Prm^\Sigma} \cdot 100\% \quad (1.11)$$

kur Prm^D – parametru skaits, no kontrolējama objekta vai elementa;

Prm^Σ – objekta vai elementa iespējamo parametru skaits.

Objekta vai elementa funkciju sasniegšanas dziļums:

$$PD(Fn) = \frac{Fn^D}{Fn^\Sigma} \cdot 100\% \quad (1.12)$$

kur Fn^D – kontrolējamo funkciju daudzums no kontrolējamā objekta vai elementa;

Fn^Σ – objekta vai elementa iespējamo funkciju skaits.

6. *DR* (Decision Reliability) – lēmuma ticamība, raksturo attiecību starp pareizi nofiksēto objekta vai elementa stāvokļa izmaiņu pret kopējo izmaiņu skaitu:

$$DR = \frac{F_{decision}^{true}}{F_{decision}^{true} + F_{decision}^{false} + F_{decision}^{skip}} \cdot 100\% \quad (1.13)$$

kur $F_{decision}^{true}$ – notikumu skaits ar pareizo nofiksēto izmaiņu par stāvokli;

$F_{decision}^{false}$ – notikumu skaits ar nepareizi nofiksēto izmaiņu par stāvokli;

$F_{decision}^{skip}$ – nenofiksēto notikumu skaits.

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

$$Dir = \begin{cases} 1, & \text{if } Pr^{true} > r^+ \cdot (Pr^{false} + Pr^{skip}) \\ 0, & \text{if } Pr^{true} \cong r^0 \cdot (Pr^{false} + Pr^{skip}) \\ -1, & \text{if } Pr^{true} < r^- \cdot (Pr^{false} + Pr^{skip}) \end{cases} \quad (1.14)$$

kur Pr^{true} – produktivitāte ar pareizo lēmumu par stāvokli;

Pr^{false} - produktivitāte ar nepareizo lēmumu par stāvokli;

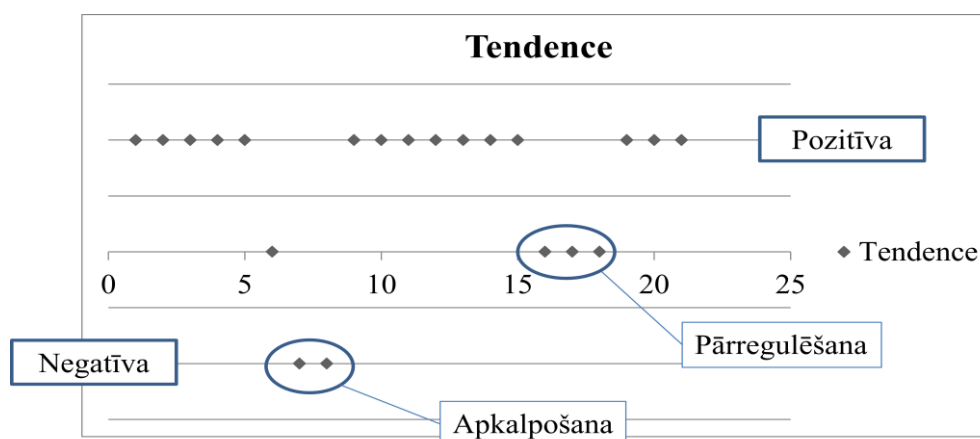
Pr^{skip} - produktivitāte ar izlaisto lēmumu par stāvokli;

r^+ - rezerves koeficients (Reserve Factor) pareizajiem lēmumiem par stāvokli;

r^- - rezerves koeficients (Reserve Factor) nepareizajiem lēmumiem par stāvokli;

r^0 - rezerves koeficients (Reserve Factor) izlaistajiem lēmumiem par stāvokli.

Diagnostikas apakšsistēmas kvalitāti un atbilstību galvenajiem mērķiem var attēlot arī grafiski (1.5. att.).



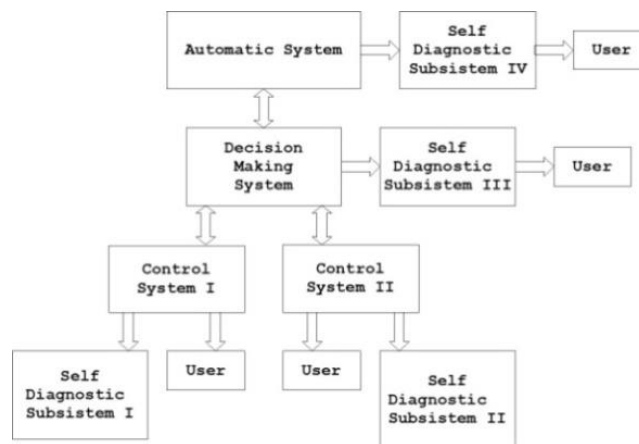
1.5. att. Tendences kritērija izmantošana apakšsistēmas apkalpošanas lēmuma pieņemšanai

Jāatzīmē, ka diagnostikas apakšsistēmai ir nepieciešama atgriezeniskā saite (Feedback, Answerback), kas satur diagnostikas apakšsistēmas lēmuma apstiprināšanu no personāla puses. Virziena kritērijs *Dir* ļauj izstrādātājam analizēt diagnostikas apakšsistēmas funkcionēšanas kvalitāti. Virziena kritērija analīzes rezultāts var arī būt par pamatu pašas diagnostikas apakšsistēmas apkalpošanas nepieciešamībai (1.5. att.). Tas arī ir norāde uz pareizi izvēlēto koncepciju, jo, tāpat kā jebkura sistēma, diagnostikas apakšsistēmas savas darbības laikā pieprasa apkalpošanu un tehnisko apkopi.

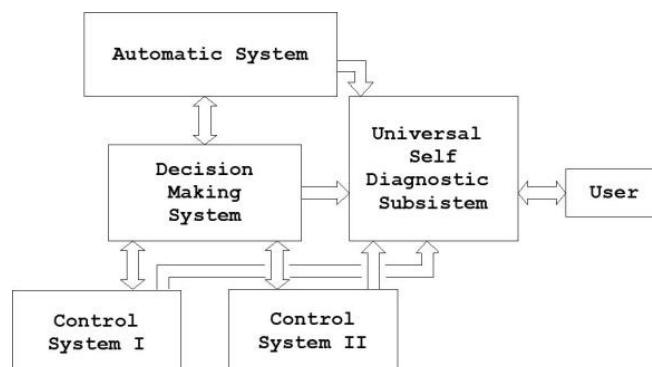
1.2.2. Diagnostikas apakšsistēmas izstrādes koncepcija

Šobrīd tām dzelzceļa automātikas un telemehānikas sistēmām vilcienu kustības vadībā, kurām ir diagnostikas apakšsistēmas, vairumā gadījumu nav automātiskās lēmumu pieņemšanas līdzekļu un algoritmu par kontrolējamā objekta rādītāju atbilstību pieteiktajiem lielumiem; tās tikai reģistrē kontrolējamos lielumus [20].

a)



b)



1.6. att. Mūsdienīga vadības sistēma ar pašdiagnostiku a) un vadības sistēma ar universālu diagnostikas apakšsistēmu b)

Turklāt pasākumi, lai īstenotu kontroles un vadības procesa drošību, prasa dažādus sistēmas izveidošanas paņēmienus.

Ideālajā gadījumā katrai vadības sistēmas daļai (1.6. att. a)), gan kontroles sistēmām I un II, gan lēmuma apstiprināšanas sistēmai (Decision Making System), gan arī automātikas un telemātikas sistēmai (Automatic System) ir nepieciešama sava pašdiagnostikas apakšsistēma (Self Diagnostic Subsystem). Parasti, ja vadības sistēmas daļa un diagnostikas apakšsistēma ir projektētas un izstrādātas neatkarīgi, tad lietotāju interfeisi ir dažādi.

1.2.3. Diagnostikas apakšsistēmas arhitektūras izstrāde

Atšķirībā no [28][34], kur piedāvāti testa un funkcionālās diagnosticēšanas apakšsistēmas modeļi, vislielākā interese ir par iespējām izveidot tādu diagnostikas apakšsistēmas arhitektūru, kura atkārtotu ražotāja vai izstrādātāja izmantoto vadības sistēmas elementu kontroli izgatavošanas laikā, un tad diagnostikas apakšsistēma kopumā būtu atbilstoša ISO (9000, 14000, 45000) standartiem, kuri nosaka validēšanas procedūru kopumu. Tāda pieeja garantē diagnosticēšanas rezultāta maksimāli augstāko ticamību no vienas puses, un metodikas vienotības neatkarību no sistēmas īpašībām no otras puses.

Vispārpieņemts noteikums kvalitātes kontrolē no ražotāja, tehnisko rādītāju atbilstības apstiprinājums pieteiktajiem, ir validācijas procedūra (Validation). Diagnostikas apakšsistēmai tas nozīmē elementa tehniskā stāvokļa novērtējumu, izmantojot tieši ražotāja metodiku vai tai ļoti tuvu. Diagnostika ar validācijas procedūru izmantošanu nav balstīta uz notikuma simptomu gaidīšanu [22], [34].

Promocijas darbā izstrādātā diagnosticēšanas sistēmas arhitektūra nodrošina nepārtrauktu informācijas plūsmu par elementa darbības spējīguma stāvokli un paredz elementa momentānu izņemšanu no vadības sistēmas laika momentā, kad elements neietekmē pašas vadības sistēmas funkcionēšanu, bet atpakaļ sistēmā tikpat momentāni tiek ievietots cits elements, kas izturēja validēšanas procedūras.

Tādēļ, ka praksē momentāni izņemt elementu no sistēmas nav iespējams, jācenšas izpildīt sekojošus nosacījumus:

$$SPEED_{replacement} \rightarrow \infty \quad (1.15)$$

kur $SPEED_{replacement}$ - izņemšanas ātrums.

Tad gala aizvietošanas frekvenci:

$$F_{replacement} = const \quad (1.16)$$

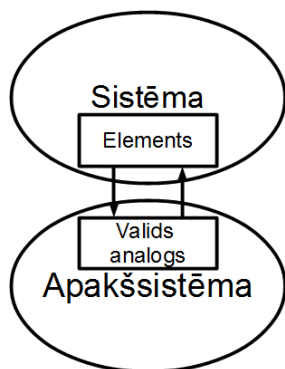
Lai neietekmētu no apakšsistēmas puses validācijas procedūru, testējamais elements tiek aizvietots ar validētu analogu. Tāda veida validācijas periodiskums sasniedz vērtību:

$$T_{validation} = 2 \cdot (F_{replacement})^{-1} \quad (1.17)$$

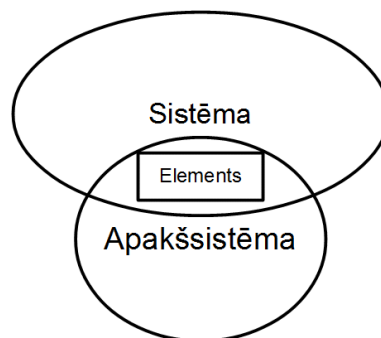
Validācijas periodiskums $T_{validation}$ definē informācijas atjaunošanas plūsmas ātrumu. Pozitīvs validācijas rezultāts ir pamatojums elementa atgriešanai sistēmā, citādi sistēmā paliek analogs.

1.7. a) attēlā parādīts ideālais diagnosticēšanas apakšsistēmas modelis, kad sistēmas funkcionēšanu neietekmē elementa validēšanas procedūras un ir nodrošināts visaugstākais diagnosticēšanas rezultāta drošums.

a)



b)



1.7. att. Ideālais a) un reālais b) apakšsistēmas modelis

Validācijas procedūras rezultāti sakārtoti derīguma pakāpes līmeņos DV (Degree of Validity):

$$DV(Idle) = \begin{cases} 1 & \text{ja elements ir valids} \\ 0 & \text{ja element nav valids} \end{cases} \quad (1.18)$$

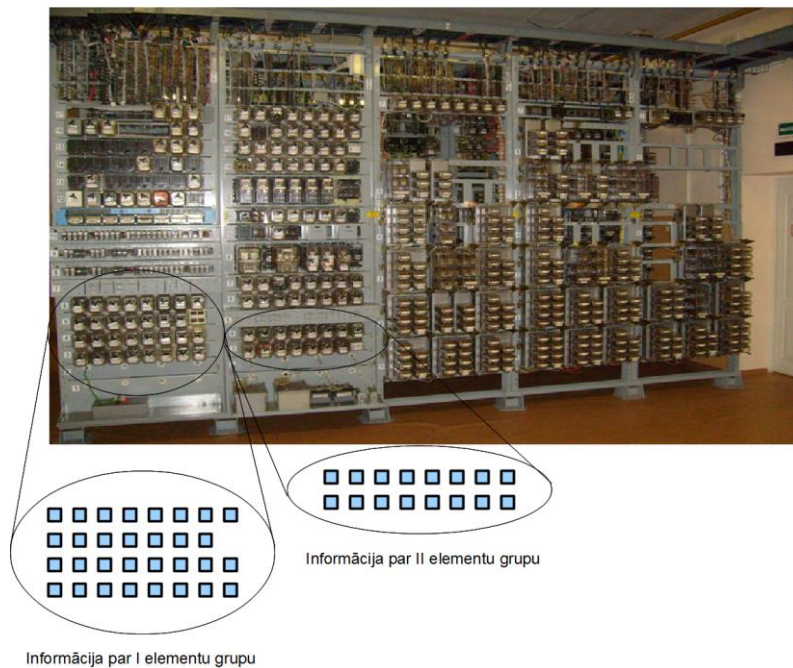
Derīguma pakāpes līmeņu skaits reālā apakšsistēmā (1.7. b) att.) tiek paplašināts ar vērtību atbilstoši gandrīz derīgam stāvoklim un atspoguļo sistēmas funkcionēšanas novirzi (Tolerance) no elementa stāvokļa:

$$DV(\text{Realization}) = \begin{cases} +1 \text{ ja elements ir valids} \\ \pm 0 \text{ ja elements ir kritiskā stāvoklī (kvazi valids)} \\ -1 \text{ ja element nav valids} \end{cases} \quad (1.19)$$

Tādā veidā validācijas procesa gala vērtība ir norādījums uz apkalpošanas nepieciešamību.

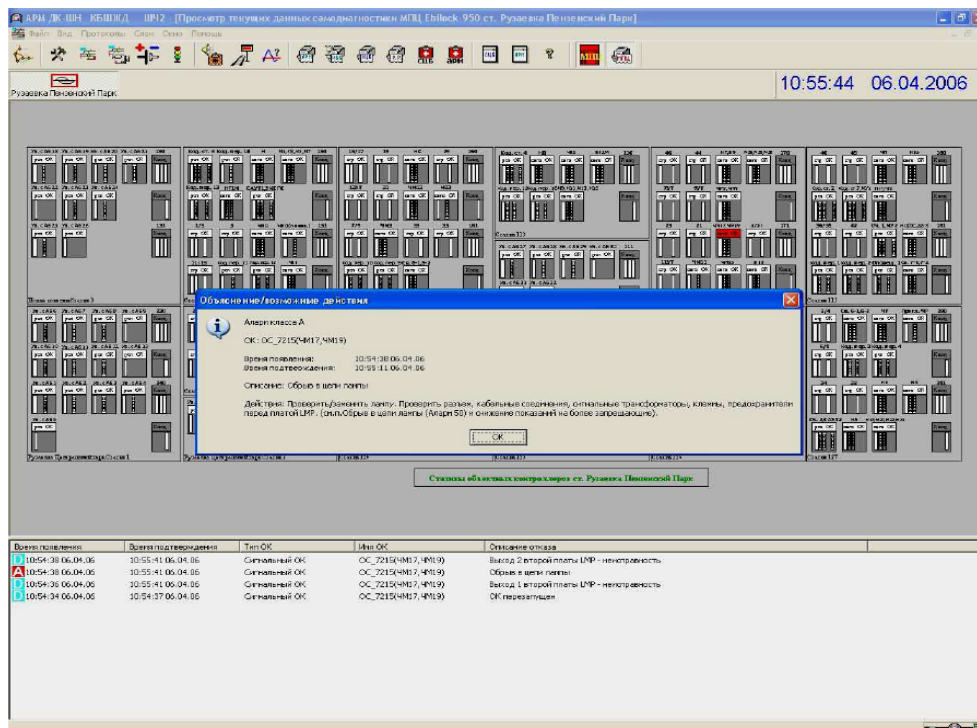
1.2.4. Diagnostikas apakšsistēmas uzbūves metodoloģija

Promocijas darbā izanalizēta iespēja pielietot piedāvāto diagnostikas koncepciju reālas dzelzceļa automātikas sistēmas elementiem. Par diagnostikas elementiem tiek paņemtas aparatūras sastāvdaļas - releji, releju bloki, savienotāji, drošinātāji, transformatori, kondensatori, kabeļi, vadi. Releju aparatūras izvietojums statnē parādīts 1.8. attēlā.



1.8. att. Releju statne

Diagnostikas sistēmas lietotāja iespējamais interfeiss parādīts 1.9. attēlā [21]. Ekrāna centrālajā daļā izvietots releju statīvu shematiskais plāns, bet apakšējā daļā tiek atainoti kārtējie notikumi. Uzpeldošie logi rāda diagnostikas apakšsistēmas darba rezultātu.



1.9. att. Diagnostikas apakšsistēmas darbības piemērs

Releju stātnes montāžas shēmas ir standartizētas un satur elementu tipus, nosaukumus un numurus, elektrisko savienojumu adreses utt. Tāpēc ir lietderīgi prezentēt elementu izvietojumu statnē un montāžu plānā tabulas veidā, kas atvieglo atteices un bojājumu novēršanu, jo uzreiz apvieno virtuālo un fizisko plānu [21].

Avotos [28], [34] ir piedāvāts veidot atteices tabulās, kurās aprakstīti visa veida iespējamie darba nespējas stāvokļi sistēmā (tabula 1.1).

Tabula 1.1

Testēšanas rezultātu prezentācija [29][34]

Pārbaudes veids	S_0	S_1	S_2	...	...	S_i	...	...	S_k
π_1	R_0^1	R_1^1	R_2^1	...	...	R_i^1	...	...	R_k^1
π_2	R_0^2	R_1^2	R_2^2	...	...	R_i^2	...	...	R_k^2
π_3	R_0^3	R_1^3	R_2^3	...	...	R_i^3	...	...	R_k^3
...
π_j	R_0^j	R_1^j	R_2^j	...	...	R_i^j	...	...	R_k^j
...
π_n	R_0^n	R_1^n	R_2^n	...	...	R_i^n	...	...	R_k^n

kur π_j – pārbaude j -veida;

S_i – atteice i -veida;

R_i^j – pārbaudes j -veida uz atteices i -veida rezultāts.

Tabulā 1.1 R_i^j rezultātu apstrāde pieprasa papildus informācijas atšifrēšanu, lai lokalizētu atteices cēloni. Tiešo cēloni ir iespējams atrast, ja ir uzrādīts π_j pārbaudes mērķis. Tāda pieeja atbilst funkcionālai diagnosticēšanai pēc pārbaudes kopuma $\{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_j, \dots, \pi_n\}$ [29][34]. Rezultāts R_i^j nesatur informāciju par konkrēta elementa parametriem un stāvokli, bet ir kopējais novērtējums sistēmai.

Tomēr padziļināta analīze ļauj secināt, ka [29] un [34] aprakstītā pieeja nav optimāla pielietošanai dzelzceļa automātikas un telemātikas releju daļai reālā laikā, kas arī ir minēts [26]. Tāda veida pieeja arī nav paredzēta pirmsatteices stāvokļa noteikšanai.

Tādējādi, zinot lietotāja interfeisa protokolus, var modernizēt konkrēto pieeju, lietojot diagnostikas apakšsistēmas izstrādāto ideoloģiju. Lai pārietu no TBM apkalpošanas uz apkalpošanu pēc stāvokļa ar atteices prognozēšanu, nepieciešams ģenerēt un aizpildīt tehniskā stāvokļa tabulu ar atbilstības koeficientu vērtībām. (Tabula 1.2).

Tabula 1. 2

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	$DV(1,0)$	$DV(1,1)$	$DV(1,2)$	...	...	$DV(1,n)$	...	...	$DV(1,N)$
2	$DV(2,0)$	$DV(2,1)$	$DV(2,2)$	...	...	$DV(2,n)$	...	...	$DV(2,N)$
...
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 Buļļu algebras lielumu „1” nedarbspējīgam stāvoklim, vai „0” darbspējīgam stāvoklim, piedāvāta diagnostikas apakšsistēmas realizācijā tiek izmantota trīszīmju derīguma pakāpes līmeņa $DV(m,n)$ vērtības „+1”, „±0”, „-1”.

Izmantojot izstrādātos diagnostikas algoritmus uz minētās tabulas bāzes, varēs pieņemt lēmumu par sistēmas kritisko stāvokli pēc elementu tehniskā stāvokļa.

1.3. DzATS releju daļas diagnosticēšanas instrumenti

Dzelzceļa automātikas sistēmu kompleksajā apkalpošanā defektu noteikšanai tiek izmantoti divi paņēmieni [4], [5], [12-26].

Pirmais paņēmieni, tā saucamais evrestīskais, balstās uz to, ka ir skaidri zināmas korespondences simptomi – notikumi [22][26] vai notikuma vietā ir pazīmes par elementa kritisko stāvokli, bet apkalpošanas personāls, vadoties no iepriekšējās pieredzes un izanalizējot sākuma simptomus, nosaka atteicošo elementu vai mezglu. Pie otrā paņēmiena apkalpošanas personāls, analizējot mērījumu rezultātus, atrod atteicošo elementu vai mezglu. Šis paņēmieni tiek pielietots gadījumos, kad sistēmas funkcionēšanas pārtraukumu ietekmē vairāku elementu atteikums [16][28]. Avotos [4], [5], [6], [18], [19], [20], [21] ir izmantots otrā veida paņēmieni un tad iespējama automatizācija.

DzATS uzbūves un apkalpošanas specifika nosaka ierobežoto, ar speciālām instrukcijām noteikto mērīšanas līdzekļu izmantošanu [7][21]. DzATS apkalpošanas instrukcijās ir noteikts ne tikai mērīšanas līdzekļa tips, bet arī darba kārtība, veicot dažādus mērījumus. Mērījumu rezultāti, kas iegūti ar cita tipa mērīšanas līdzekļiem, var atšķirties no īstajiem [21]. Tas saistīts ar to, ka jebkurš mērīšanas līdzeklis ietekmē mērāmo ķēdi. Šī ietekme atļautiem mērīšanas līdzekļiem ir zināma un tiek ievērota mērījumu rezultātā, pie tam visā temperatūras diapazonā no - 45°C līdz +65°C.

Lai paātrinātu bojātā elementa vai mezgla noteikšanas procesu, nepieciešams apvienot abu metožu priekšrocības - korespondences simptomi – notikumi izmantošana kopā ar mērījumu rezultātiem ļauj ātrāk atklāt elementu atteices.

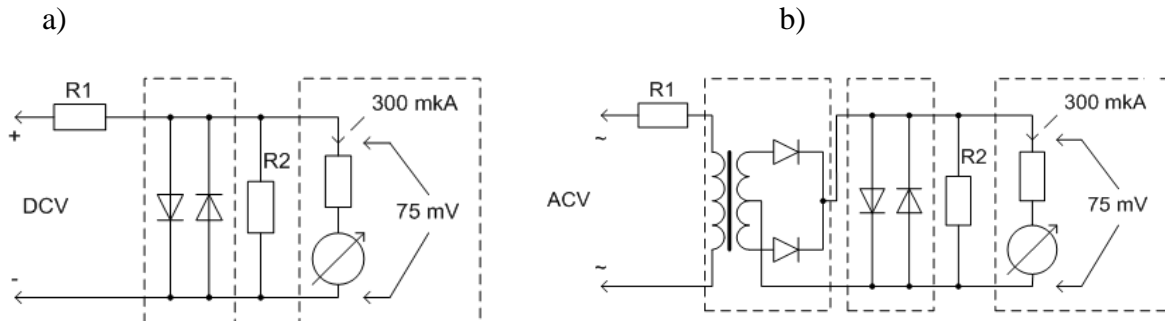
1.3.1. II-tipa kombinēta mērīšanas līdzekļa izmantošanas trūkumi

Latvijas dzelzceļā tiek izmantota liela daļa no Krievijā ražotā mērāpārīkojuma. Viens no atļautajiem un visplašāk pielietotajiem ir II-tipa kombinētais mērīšanas līdzeklis (1.9. att.).



1.10. att. II-tipa kombinētais mērīšanas līdzeklis II4380 un tā iekšējā uzbūve

Ц4380 mērīšanas līdzekļa funkcionēšana balstās uz kalibrēta mērīšanas mehānisma ar jutību $75\text{mV}/300\mu\text{A}$ ar mērīšanas robežas paplašināšanu (1.11. att.). Līdzstrāvas sprieguma mērīšanas robežas paplašina izmantotie papildus rezistori R1-R2.

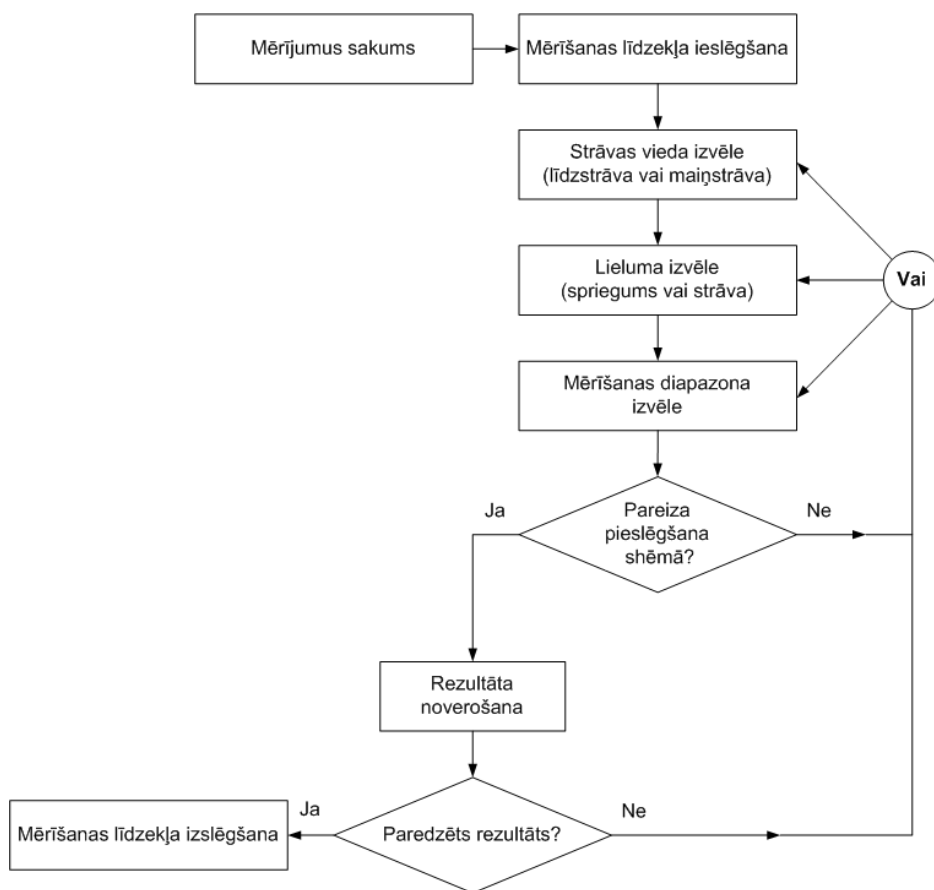


1.11. att. Ц – tipa mērīšanas līdzekļa līdzstrāvas sprieguma a) un maiņstrāvas sprieguma b) principiālās shēmas

Maiņstrāvas sprieguma mērīšana notiek ar maiņstrāvas sprieguma taisngriezi pēc līdzstrāvas sastāvdaļas atdalīšanas ar transformatora palīdzību. Maiņstrāvas sprieguma mērīšana atļautā frekvences diapazonā $12\div 65\ 000\ \text{Hz}$, kurā visas signāla sastāvdaļas tiek integrētas, pateicoties elektromagnētiskās sistēmas īpašībām.

Pēc statistikas datu un mēraparāta konstrukcijas analīzes konstatēts: zema mērījumu precizitāte; zema aizsardzība pret bojājumiem; mēraparāta gabarīti un masa ir lieli; mērījumu drošums ir zemā līmenī; ergonomiski nepilnīgs; nenodrošina specializētus mērījumus.

Vēl viens šī aparāta pielietošanas trūkums ir tas, ka veicot mērījumus ir iespējama lietotāja nepareiza rīcība, kas bieži noved pie mēraparāta un pat vadības sistēmas bojājumiem. Ц- tipa mērīšanas līdzekļa vienkāršotais darbības algoritms, veicot mērījumus parādīts 1.12. attēlā.

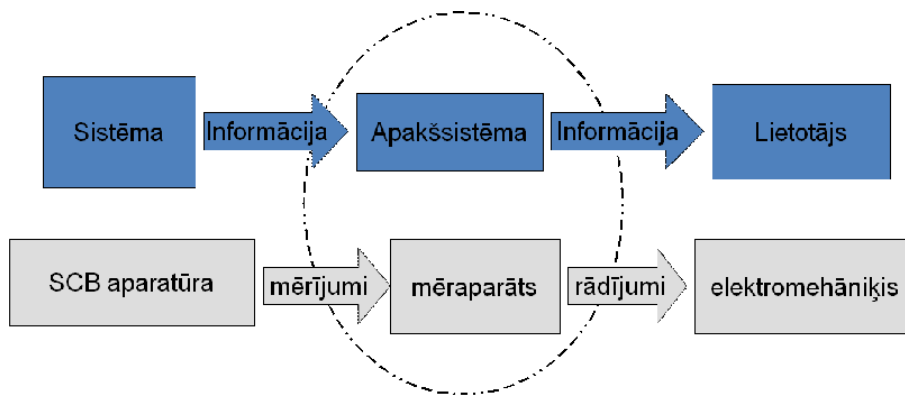


1.12. att. Vienkāršots mērīšanas algoritms

Pēc algoritma analīzes var secināt, ka bojājumi visbiežāk tiek radīti, kad mērīšanas robeža nav izvēlēta pareizi vai mērīšanas līdzeklis pieslēgts ķēdei un izraisa pašas ķēdes bojājumu mērīšanas zemās ieejas pretestības dēļ.

1.3.2. Modernizēta mērīšanas līdzekļa izstrāde

Jauna, dzelzceļa automātikas sistēmu diagnostikai piemērota mērīšanas līdzekļa uzbūvē ir jāņem vērā vairāki faktori. Viens no tiem, neapšaubot mērīšanas līdzekļa nozīmi un pielietojuma specifiku - ir jāveido mērīšanas līdzeklis, kas turpmāk var tikt izmantots kā universālais mērītājs jeb devējs automatizētas diagnostikas apakšsistēmās (1.13. att.).

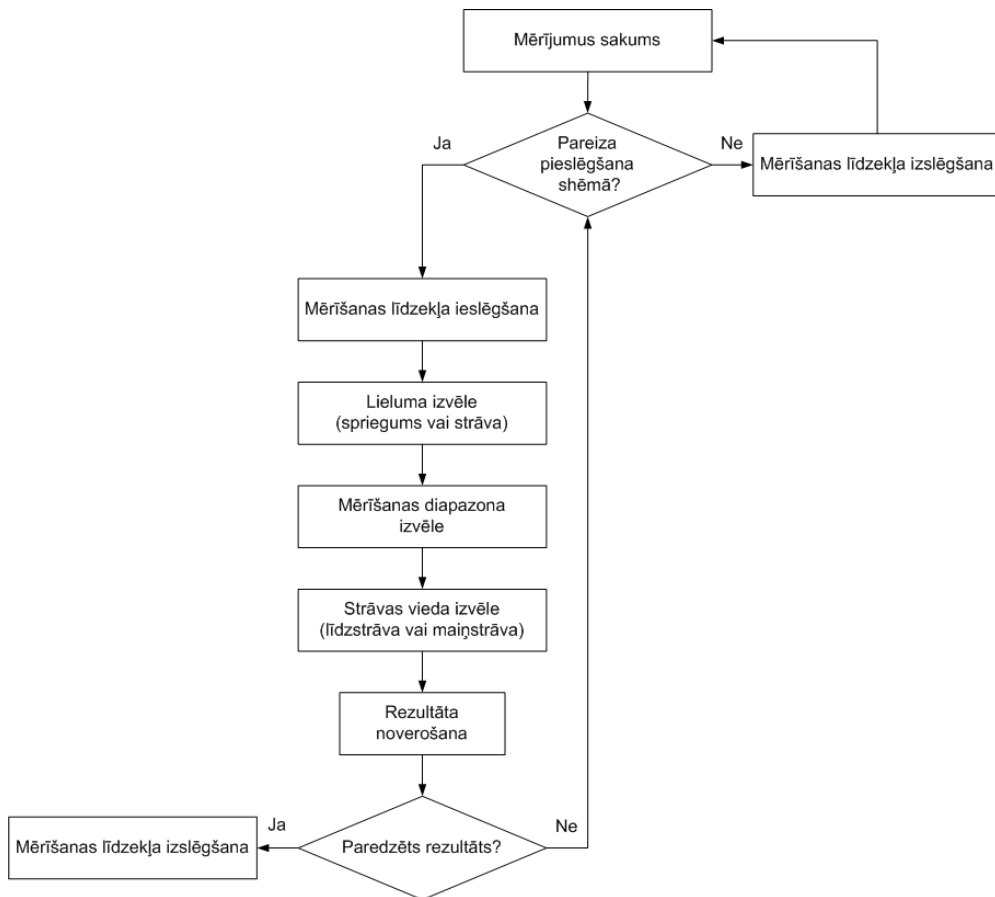


1.13.att. Mērīšanas līdzekļu izveidošanas nosacījumi

Mērīšanas līdzeklīm tiek piemērotas arī sekojošas prasības, kas ļauj samazināt atteices un bojājumu skaitu:

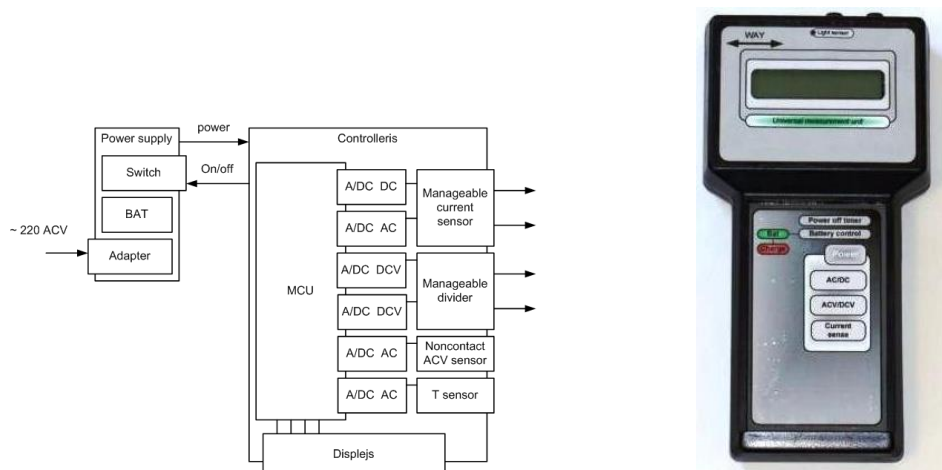
- minimāla operatora rīcība;
- maksimāls informatīvums un operāciju skaits;
- pašdiagnosticēšana;
- industriālas mikroelektronikas bāze, piemērotība izmantošanas apstākļiem.

Modernizēta mērīšanas līdzekļa algoritms parādīts 1.14. attēlā. Algoritma efektivitāte balstās uz testējamo shēmas veidu noteikšanu automātiskajā režīmā, kad mērījuma sākumā notiek signāla analizēšana ar mērķi novērtēt līdzstrāvas un maiņstrāvas sastāvdaļu lielumus, kā arī maiņstrāvas sastāvdaļu frekvenci. Mērījuma rezultātā novērošana notiek ar automātisko mērīšanas robežas noteikšanu, sākot no lielākā un nepārslogojot ieejas ķēdes.



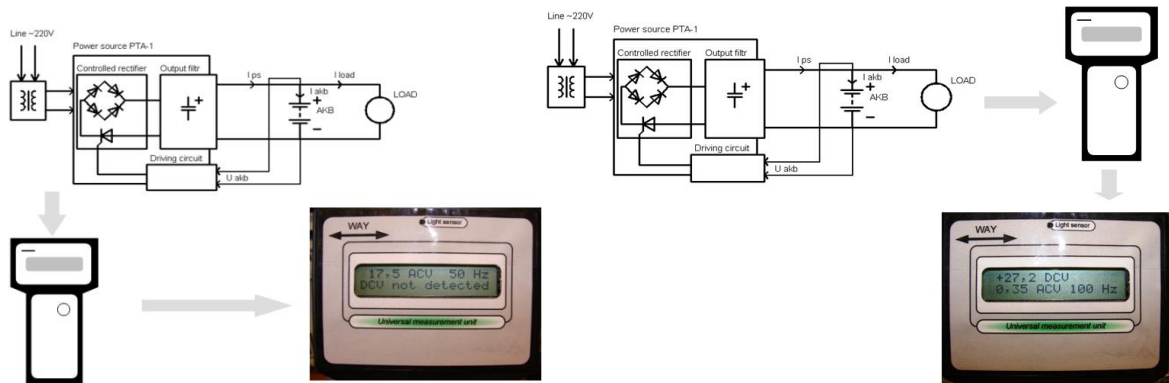
1.14. att. Drošs mērīšanas līdzekļa funkcionēšanas algoritms

1.15. attēlā ir parādīta universāla mērīšanas līdzekļa funkcionālā shēma un eksperimentālā parauga ārējais izskats.



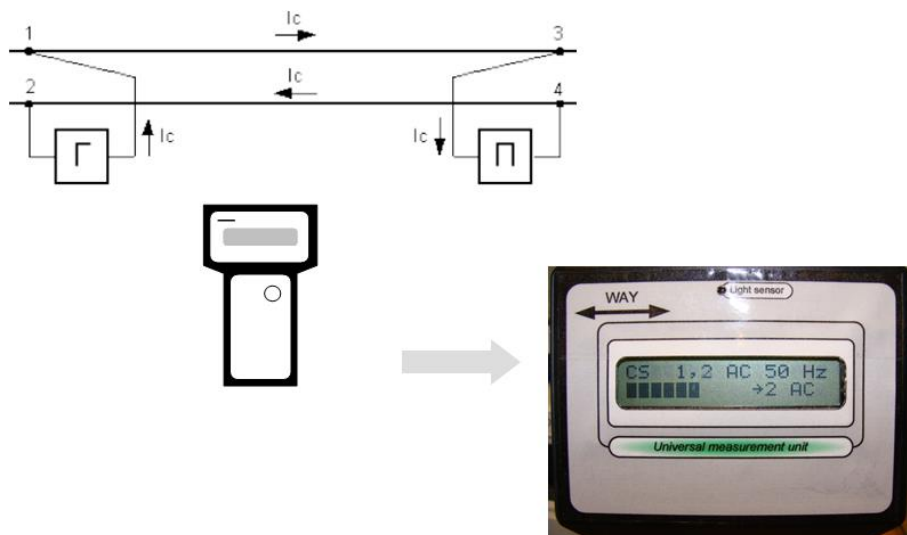
1.15.att. Modernizēta mērīšanas līdzekļa funkcionālā shēma un izskats

Mērīšanas rezultātā mērāparāta displejā atspoguļoti līdzstrāvas sprieguma (DCV - Direct Current Voltage) un maiņstrāvas sprieguma (ACV – Alternating Current Voltage) sastāvdaļu lielumi un maiņstrāvas sastāvdaļu frekvence (1.16. att.).



1.16. att. Transformatora un akumulatora sprieguma mērīšana

Mērāparāts arī ir izstrādāts ar mērķi veikt mērījumus sliežu ķēdēs ar bezkontakta interfeisa palīdzību. Veicot ALS (Automātiskas Lokomotīvu Signalizācija) strāvas vērtību mērīšanu (1.17. att.), mērījuma signāls tiek saņemts no iekšējā bezkontakta elektromagnētiskā lauka (EMF - Electromagnetic Field) devēja un informācija tiek attēlota universālās mērīšanas iekārtas ekrānā. EMF devēju var izmantot arī citiem specializētiem mērījumiem dzelzceļa automātikas shēmās.



1.17.att. Sliežu ķēdes strāvas lieluma mērīšana

1.4. Monitoringa un diagnostikas apakšsistēmas drošuma jēdziens

Drošuma (Reliability) un drošības (Safety) prasības dzelzceļa automātikas sistēmām, kā arī atteices un bojājuma definīcijas noteiktas [57-77] avotos. Drošuma un drošības prasības diagnostikas apakšsistēmai noteiktas ar vadības sistēmas pielietošanas uzdevumu, izpildāmas funkcijas, funkcionēšanas vietas un ar mērķi nodrošināt neapdraudētu vadības procedūras pabeigšanu vai informācijas ticamu apstrādi gadījumos, kad elementu kopumā ir elementi ar daļēju vai pilnīgi zaudētu darbību.

Avotos [4], [5], [6], [18], [19], [20], [21] aparātu-programmēšanas kompleksi nav izvērtēti pēc drošuma un drošības kritērijiem, neskatoties uz to, ka tās ir DzATS apakšsistēmas.

Šajā promocijas darbā bojājums definēts kā sistēmas normālas darbības traucējums, ko izraisa ārējo apstākļu ietekme un kas noved pie kāda vadības sistēmas elementa izmaiņām fiziskā plānā un ir cēlonis daļējai vai pilnīgai vadības sistēmas darbības zaudēšanai.

Šajā promocijas darbā atteice definēta kā vadības sistēmas darbības zaudēšana saistībā ar kādu vadības sistēmas elementu tehnisko rādītāju neatbilstību deklarētajām vērtībām.

Vadības sistēmas, diagnostikas apakšsistēmas, aparatūras un elementu drošuma paaugstināšana pārsvarā balstās uz pretatteices izturības vai pretatteices tolerances īpašībām [22][32], kas ir pasākumu kopums ar mērķi saglabāt normālu vadības sistēmas funkcionēšanu kāda elementa atteices gadījumā. Izturība pret bojājumiem noteikta ar pasākumiem, kas nodrošina visa veida normālu ekspluatācijas apstākļu saglabāšanu.

Pretatteices izturība nodrošināta ar: komponentu pārbagātību (Redundance), stāvokļa noteikšanas līdzekļiem un komponentu speciālo konstrukciju. Izturību pret bojājumiem dzelzceļa automātikas sistēmās nodrošina ar aizsardzības paņēmieniem dažādos līmeņos un komforta līmeņa noturēšanu.

Dažādos uzdevumos drošības pakāpe nosaka, lai vadības sistēma turpina funkcionēt nepārtraukti vai pārslēdzas aizsargstāvoklī (Faulty Management), kad daži sistēmas elementi ir bojāti vai ir atteice (Faulty Masking) [22]. Atteices izturīgas ierīces uzbūve izskatīta dažādos avotos [22], [32].

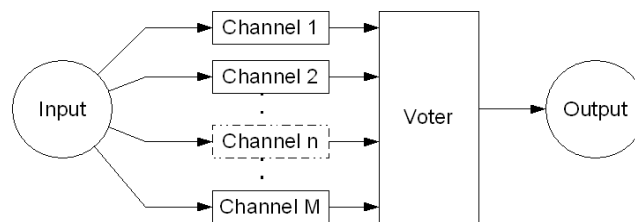
Dzelzceļa automātikas vilcienu kustības vadības sistēmas tiek vērtētas pēc integrēta drošības līmeņa - SIL (Safety Integrity Level) un SEL (Safety External Level) [33].

Avotā [33] secināts, ka statistikas datu ticamība pieaug ar novērošanas ilgumu un novērojamo objektu skaitu. Ja pastāv lielāks statistiskās datu apjoms, ir iespējams pielietot

datu ticamības novērtējumu pēc Bajesa metodes [33]. Statistikas datu ticamība ir visaugstākā, ja novērošana ilgst nepārtraukti līdz sistēmas ekspluatācijas izbeigšanai. Visticamākais rezultāts ir iegūts laikā, kad beidzas objekta ekspluatācijas laiks [21][22].

Jāatzīmē, ka avotos [22], [32], [33] izskatīti triviāli drošuma un pretatteices izturības paaugstināšanas risinājumi, bet avotā [3] dažādi speciālā uzdevuma risinājumi.

Piemēram, vairākas ierīces ar mažoritāru lēmuma pieņemšanu (1.18. att.) savā sastāvā izmanto mezglu „VOTER”, kas salīdzina vairākus signālus no dažādiem izpildkanāliem. Šis mezgls tiek pieņemts par absolūti drošu [32][33], bet reālās ierīcēs „VOTER” arī uzbūvēts kā pretatteices izturīga ierīce.



1.18. att. Mažoritāra lēmuma pieņemšana

Drošuma un drošības rādītāju kvantitatīvajam novērtējumam visur izmanto atteices intensitātes jēdzienu - λ (Faulty Rate) un drošuma funkciju $R(t)$ (Reliability Function).

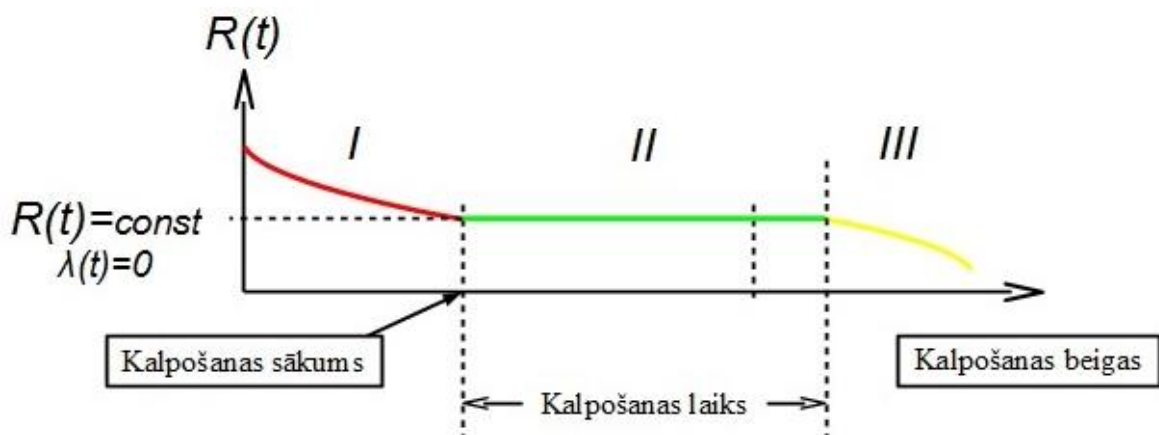
Drošuma funkcija $R(t)$ var tikt noteikta kā darba elementu attiecība pret kopējo elementu skaitu sistēmā:

$$R(t) = \frac{n(t)}{N}, \quad (1.20)$$

kur $n(t)$ – darbaspējīgu elementu daudzums;

N – elementu daudzums eksperimenta sākumā.

Atteices intensitātes vērtības izmaiņai parasti ir 3 raksturīgi apgabali (1.19. att.): lejup krītošas vērtības laika intervālā no 0 līdz sistēmas ekspluatācijas sākumam, nosacīti pieņemama pastāvīga intensitātes vērtība sistēmas ekspluatācijas procesā, līdz ar to nodrošinot const. drošuma funkcijas vērtību, un intensīvi augoša atteices intensitātes vērtība trešajā apgabalā. Sistēmu izmantošana trešajā apgabalā ir tehniski un ekonomiski nerentabla elementu ārkārtīgi augstās novecošanās pakāpes un aizvien pieaugošās atteikumu iespējamības dēļ.



1.19. att. Drošuma funkcija

Atteices intensitāte [28]:

$$\lambda(t) = \frac{1}{R(t)} \cdot \left(\frac{-dR(t)}{dt} \right), \quad (1.21)$$

kur $\frac{-dR(t)}{dt}$ - drošuma funkcijas izmaiņas ātrums.

Vadības sistēmas, diagnostikas apakšsistēmas, aparatūras un elementu drošība (Safety) cieši saistīta ar drošuma (Reliability) rādītājiem. Tas nozīmē, ka par drošību atbildīgajiem elementiem atteices intensitāte arī aprakstīta ar izteiksmi (1.21), un kad drošuma funkcijas izmaiņas ātrums ir $\frac{-dR(t)}{dt} \neq 0$, sistēmas drošības pakāpes noteikšana nav korekta.

Parasti dzelzceļa automātikas sistēmās elementu *MTBF* rādītājs ir mazāks par sistēmas ekspluatācijas laiku *LifeTime*, kas nozīmē $LifeTime \geq MTBF$. Ņemot vērā pastāvīgo tehnoloģiju un ražošanas pilnveidošanos (Perfectness), var apgalvot, ka drīzā nākotnē elementa *MTBF* rādītājs būs lielāks par sistēmas ekspluatācijas laiku [22] un būs jāizstrādā citas drošības koncepcijas.

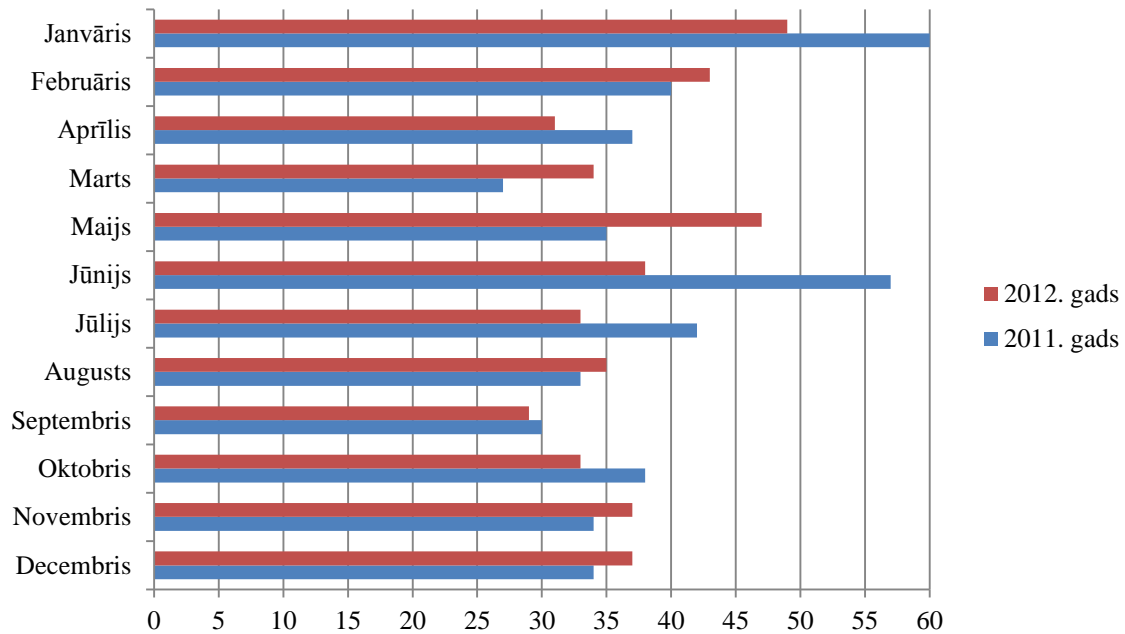
1.4.1. Bezatteices darba varbūtības paaugstināšanas paņēmieni

Izskatītie statistiskie drošuma teorijas skaitliskie parametri ar noteiktu ticamību apraksta konkrētus vai līdzīgus objektus pie nenoteiktiem nosacījumiem. Statistisko parametru analīze neprasa konkretizēt atteices vai bojājumu cēloņus [22][33].

Statistisko datu alternatīva ir eksperimentu un testu veikšana ar reāliem elementiem un ierīcēm, ar mērķi sasniegt rezultāta augstāku ticamību. Tomēr eksperimenta veikšana

prasa dārgus un ilgstošus novērojumus atšķirīgos ekspluatācijas un komforta apstākļos, tādēļ praksē biežāk izmanto statistiskos datus [22].

Latvijas dzelzceļa Rīgas reģionālajā centrā ir statistiskie dati par mikroprocesoru sistēmas elementiem un iekārtas bojājumiem, kas apkopoti tabulas veidā (1.20. att.).



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

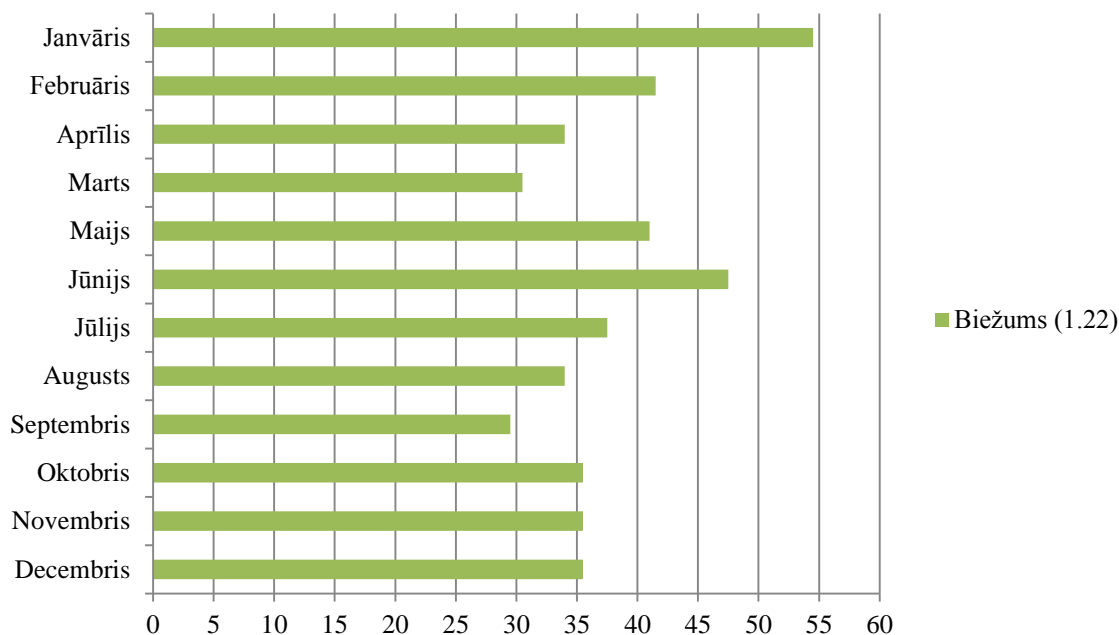
Apkopojot informāciju par vairākiem gadiem, var tikt definēta atteicu varbūtība (procentos) katram mēnesim:

$$Fr_i = 100\% \cdot \sum_{Y=1}^M m_i(Y) \cdot AF_i(Y) / \sum_{Y=1}^M \sum_{i=1}^{12} m_i(Y) \quad (1.22)$$

kur $m_i(Y)$ – atteices skaits i . mēnesī Y . gadā, saistīti ar ekspluatācijas apstākļiem;

M - novērošanas gadu skaits;

$AF_i(Y)$ – gatavības koeficients i . mēnesī Y . gadā.



1.21. att. Negaidītas atteices biežuma sadalījums gada laikā

Analizējot pieejamos statistiskos datus par vairākiem gadiem, var konstatēt, ka atteicu biežums ir mainīgs gada laikā un ir pakļauts sezonālām izmaiņām (1.21. att.). Ja būtu iespējams ierobežot vai atteikties no vadības sistēmas izmantošanas konkrētos mēnešos ar lielāku risku, tad varētu panākt atteices un bojājumu samazināšanu. Vilcienu kustības vadības sistēmas ir reāla laika sistēmas pārsvarā ar nepārtrauktu darbības laiku, un pilna vadības sistēmas neizmantošana ir izslēdzama.

Tomēr, ņemot vērā iespēju neizmantot vadības sistēmu dīkstāves laikā, t.i., neesot reālai vilcienu kustībai, piemēram, nakts laikā vai mazdarbīgos iecirkņos, pastāv iespēja pārcelt sistēmu gaidīšanas vai aizsargrežīmā bez reālas izmantošanas. Tādā veidā tiek mazināts vadības sistēmas gatavības koeficients, bet tiek paaugstināta vadības sistēmas aizsardzība pret negaidītām atteicēm un bojājumiem.

Izmantojot piedāvāto metodiku, gatavības koeficienta aprēķināšanā ir jāņem vērā laika sadalīšana starp funkcionēšanu un gaidīšanas režīmu. Šajā gadījumā vidējais laiks starp atteicēm tiek aprēķināts kā:

$$MTBF = MTIO + MTIW, \quad (1.23)$$

kur *MTIO* (Mean Time in Operation) – vidējais normālas funkcionēšanas laiks;

MTIW (Mean Time in Waiting) – vidējais laiks gaidīšanas režīmā vai aizsardzības stāvoklī.

Vadības sistēmas gatavības koeficients tika nosaukts par adaptēto gatavības koeficientu un var tikt aprēķināts kā:

$$AAF = \frac{MTIO}{(MTBF+MTTR)}, \quad (1.24)$$

Ja pieņem, ka $MTBF \gg MTTR$, tad $AF(t) \approx 1$ (1.1) un līdz ar to:

$$AAF \approx \frac{MTIO}{MTIO+MTIW}, \quad (1.25)$$

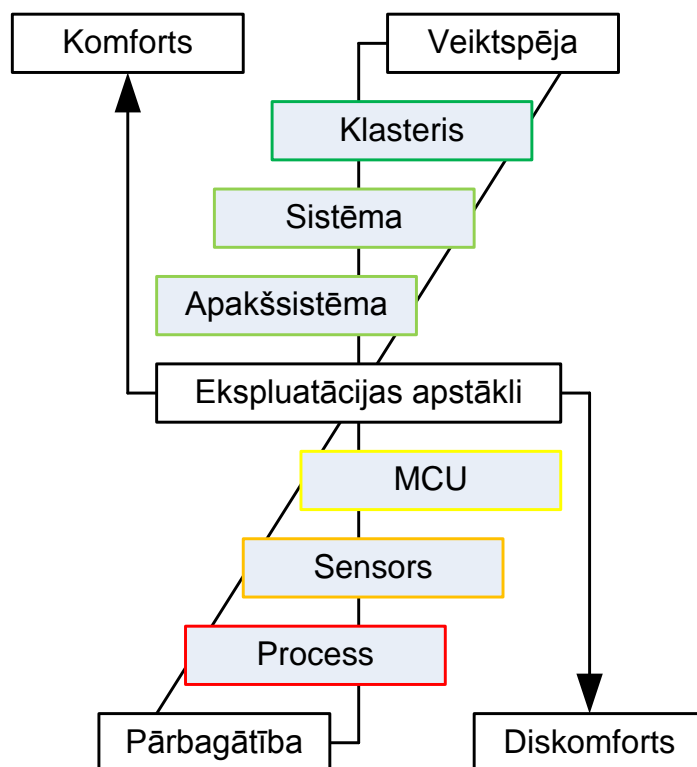
Negaidītas atteices vai bojājumus varbūtība adoptētā sistēmā:

$$P_i^{ADAPT} = \sum_{Y=1}^M m_i(Y) \cdot AAF_i(Y) / \sum_{Y=1}^N \sum_{i=1}^{12} m_i(Y), \quad (1.26)$$

kur $AAF_i(Y)$ – adoptētas sistēmas gatavības koeficients i . mēnesi Y . gadā.

1.5. Dzelzceļa automātikas sistēmu uzbūve pēc klastera arhitektūras

Analizējot mūsdienīgas automātikas un telemātikas sistēmas uzbūvi, jāsecina, ka tā veidojas pēc klastera uzbūves principiem (1.22. att.). Klastera veikspējas jauda lokalizēta vai sadalīta pie tās klastera sastāvdaļas, apvienojot ar attīstīto sakaru kanālu vienā informācijas tīklā.



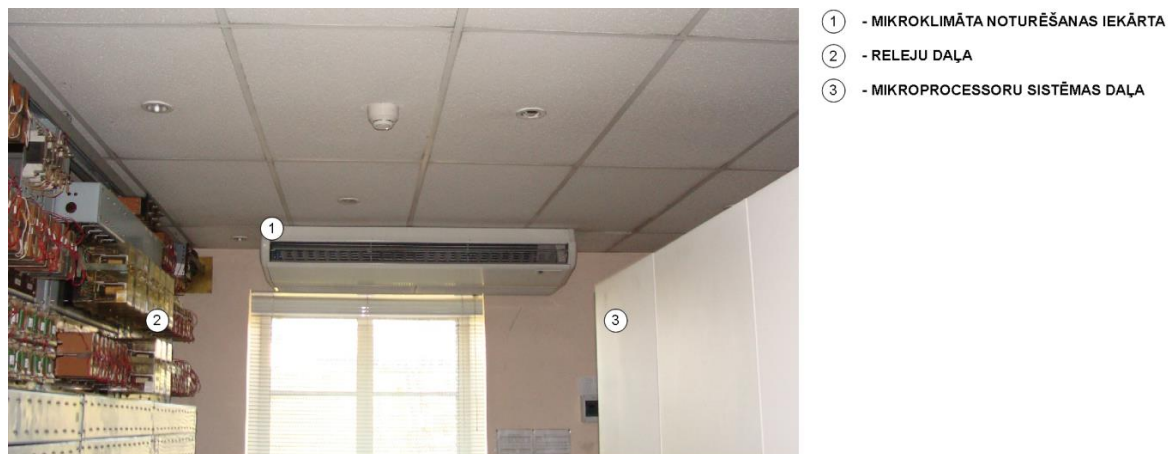
1.22. att. Klastera hierarhija un ekspluatācijas apstākļi

Klastera hierarhija pieprasa augstāk stāvošā slāņa neatkarību no zemāka līmeņa. 1.22. attēlā redzams, ka attālināšana no klastera augšējā slāņa pazemina ekspluatācijas apstākļu komforta līmeni un tam bieži vien seko negaidīto atteižu varbūtības palielināšanās.

Pirmkārt tas nozīme, kā funkcionālo shēmu izvēle nosacīta ar komforta līmeni un vajag veikt visa veida pasākumus, lai paaugstinātu elementu pret bojājumiem aizsardzību un izturību, ja tas funkcionēšana notiek diskomfortā līmenī.

Otrkārt, shematiskie risinājumi klastera slāņa drošuma un drošības līmeņa nodrošināšanai var atšķirties atbilstoši katrā slāņa komforta līmenim.

Viens no piemēriem, kas ir raksturīgs mūsdienīgo mikroprocesoru sistēmas izmantošanai ir noteikto ekspluatācijas parametru (komforta līmeni) nodrošināšana ar ārējiem papildiekārtam (1.23. att.).



1.23. att. Releju telpa ar komforta līmeņa noturēšanu

Komforta prasības nodrošināšana noteiktā līmenī ir vienkāršs un efektīvs veids aizsardzības paaugstināšanai, tomēr tas ir saistīts ar papildus izmaksām. Tādējādi, mākslīgi uzlabojot vadības sistēmas vai elementu darba apstākļus, drošuma un drošības rādītāji kļūst atkarīgi no ārējām iekārtām, pret kurām, savukārt, netiek izvirzītas nekādas drošuma prasības.

1.6. Secinājumi

- Iebūvētu diagnostikas līdzekļu vai diagnostikas apakšsistēmu izmantošana būtiski ietekmē sistēmas gatavības koeficientu AF . Galvenais diagnostikas apakšsistēmas uzdevums rezultātā noved pie atteikušā elementa $MTTD$ meklēšanas laika samazināšanās vai pie sistēmas ziņojuma formēšanas par elementa parametru izmaiņām.

- Pāreja no apkalpošanas tehnoloģijas pēc laika (TMB) uz apkalpošanas tehnoloģiju pēc stāvokļa (CBM) iespējama tikai jaudīga diagnostikas instrumenta gadījumā, kas ar lielu precizitāti spēs atklāt elementu tehnisko rādītāju izmaiņas pirms atteices iestāšanās.
- Lai paaugstinātu diagnosticēšanas precizitāti, ieviests jēdziens - degradācijas koeficients Dg . Šī koeficienta izmantošana ļaus aprēķināt sistēmas nolietojumu, ņemot vērā elementu nomaiņu ne ar jauniem, bet ar atjaunotiem.
- Darbā piedāvāta diagnostikas apakšsistēmas koncepcija, kas operē ar atbilstības koeficientiem DV un ļauj veikt pāreju no funkcionālās diagnostikas uz parametrisko diagnostiku. Tas, savukārt, ļaus pāriet pie CBM apkalpošanas tehnoloģijas. Parametriskās diagnostikas gadījumā uz funkcionēšanas rezultātiem neietekmē sistēmas pretatteices izturības īpašība.
- Darbā konstatēts, ka negaidītas atteices vai bojājuma varbūtība sistēmai atkarīga no gatavības koeficienta AF un pretatteices izturības īpašības sistēmai iespējams sasniegt, izmantojot adaptēto gatavības koeficientu AAF .

2. ELEMENTA STĀVOKĻA SKAITLISKĀ NOVĒRTĒJUMA METODOLOĢIJA

2.1. Vadības sistēmas elementa apraksts no izstrādātās metodoloģijas viedokļa

Kontrolējamā elementa parametru kopums veidojas no dažādām pēc fiziskā rakstura elementus raksturojošām īpašībām vai darba parametriem (strāva, pretestība, temperatūra, pretmagnētiskā tapa un tml.). Vienlīdzīga datu attēlošana nodrošināta ar dažādiem sensoriem, kuros notiek fiziskā parametra pārveidošana elektriskajā lielumā ar turpmāko pārveidošanu analoga signāla ciparu veidā [4][5][6]. Tādējādi, visi parametri diagnostikas apakšsistēmā tiks attēloti ciparu formā, bet dažādu lielumu robežās.

Diagnostikas apakšsistēmas datu apstrādes algoritma rezultāts, kas pielietots robežu pārbaudei, veido informācijas plūsmu par robežlieluma sasniegšanu. Tas nozīmē, ka ir iespējams veikt operācijas ar relatīviem lielumiem.

Vairāk izplatīta ir procesa novērtējuma metode, kad tiek novērots ar procesu saistīts parametra $Y(t)$ lieluma izmaiņas diapazons, izmaiņas virziens vai zīme (+ vai -) un izmaiņas ātrums (Limit Checking Method) [22]. Pie robežlieluma pārsniegšanas, virziena nesakritības vai parametra izmaiņas ātruma kāda lieluma sasniegšanas (2.1. att.) tiek pieņemts lēmums par procesa izmaiņu, un var tikt veikti konkrēti apkalpošanas vai remonta pasākumi.

Augstāk minēto parametru novērojumus var atainot sekojošu sakarību veidā. Parametra lieluma izmaiņas diapazons:

$$Y_{min} < Y(t) < Y_{max}, \quad (2.1)$$

kur Y_{min} - parametra minimuma robeža;

Y_{max} - parametra maksimuma robeža.

Parametra izmaiņas virziens:

$$0 < \dot{Y}(t) \text{ vai } \dot{Y}(t) < 0 \quad (2.2)$$

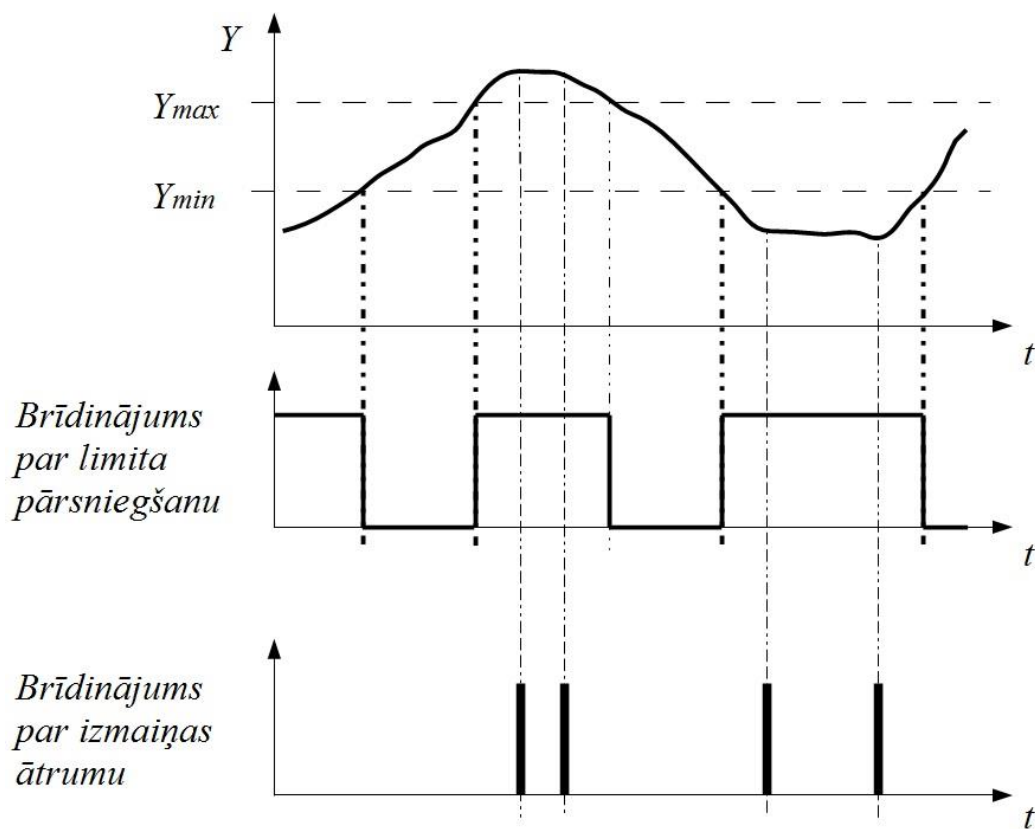
kur $\dot{Y}(t)$ - parametra izmaiņas ātrums.

Parametra izmaiņas ātrums:

$$\dot{Y}_{min} < |\dot{Y}(t)| < \dot{Y}_{max} \quad (2.3)$$

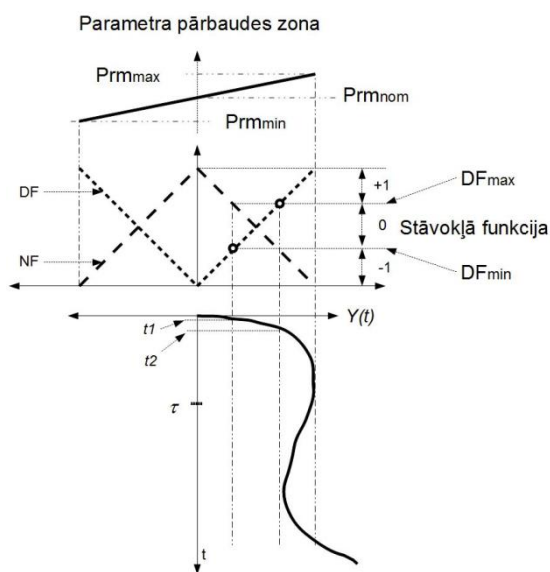
kur \dot{Y}_{min} - parametra izmaiņas ātruma minimums;

\dot{Y}_{max} - parametra izmaiņas ātruma maksimums.



1.2. att. Brīdinājumus izveidošana saistība ar robežu vai ātruma virzienu

2.2. attēlā parādīts stāvokļa funkcijas izveidošanas algoritma grafiskais paskaidrojums.



2.2.att. Stāvokļa funkcijas veidošanas grafiskais paskaidrojums

Aprakstot sistēmas elementa parametru stāvokļus, iespējams izmantot trīszīmju loģikas lielumus:

$$SF(Prm, t, \tau) = \begin{cases} +1 & \text{if } RDF(Prm, t) \leq RDF_{min}. \\ \pm 0 & \text{if } RDF_{max}. > RDF(Prm, t) > RDF_{min}. \\ -1 & \text{if } RDF(Prm, t) \geq RDF_{max}. \end{cases} \quad (2.4)$$

kur $RDF(Prm, t)$ - relatīvas neatbilstības koeficients parametram Prm ;

RDF_{max} - relatīvas neatbilstības koeficients atļautai parametra maksimālai izmaiņai;

RDF_{min} - relatīvas neatbilstības koeficients atļautai parametra minimālai izmaiņai;

τ - laika intervāls parametra RDF izmaiņas klasifikācijai, izmantojot ātruma kritēriju.

Ja piesaista trīszīmju stāvokļa funkciju SF^k elementa konkrētajam k -parametram Prm^k , no parametru kopuma K ir iespējams noteikt objekta derīguma pakāpes līmeni DV pēc $\{SF^k\}$ daudzuma. Objekta DV novērtējuma ticamība palielinās ar diagnostikas apakšsistēmās sasniedzamo dziļumu $PD(Prm) \rightarrow 100\%$ (pēc izteiksmes 1.11).

Elementa stāvokļa diagnostika balstīta uz elementa fizikālo parametru novērtējumu un pieprasa pirmsekspluatācijas parametru mērījumus ar noteikto ticamību, kas turpmāk tiek ņemti par paraugu [21].

Metodes precizitāti iespējams palielināt, izmantojot paņēmienus, kas ļauj atdalīt derīgo signālu no kanāla trokšņa, un signāla ciparu apstrādes algoritmus, kas kopumā uzlabo signāla un trokšņa attiecību [42-46]. Tātad, procesa novērtējuma ticamība palielinās kopā ar signāla parametra mērījuma precizitāti.

Stohastiskiem procesiem, kad kādai mainīgai $Y_i(t)$ piemīt varbūtības iedalīšanas blīvums $p(Y_i)$ ar vidējo lielumu μ_i un dispersiju σ_i , lēmums par procesa izmaiņu tiek pieņemts pēc dažiem noteikumiem. Pēc vidējās lieluma pārbaudes:

$$\mu_0 \pm \Delta\mu, \sigma_0, \quad (2.5)$$

kur μ_0 - procesa vidēja lielums;

$\Delta\mu$ - procesa vidēja lieluma izmaiņa;

σ_0 - procesa dispersija.

Pēc dispersijas pārbaudes:

$$\mu_0, \sigma_0 \pm \Delta\sigma, \quad (2.6)$$

$\Delta\sigma$ – procesa dispersijas izmaiņa.

Pēc vidējas lieluma un dispersijas pārbaudes:

$$\mu_0 \pm \Delta\mu, \sigma_0 \pm \Delta\sigma. \quad (2.7)$$

Lielākajai daļai no vienkāršajiem elektriskajiem elementiem (kontakti, rezistori, drošinātāji utt.) konkrētā detalizēšanas līmenī darbderīguma stāvoklis var tikt novērtēts pēc viena unikāla parametra. Komplicētiem elektriskajiem elementiem (releji, elektriskie dzinēji, transformatori utt.) darbderīguma stāvokli var novērtēt pēc pamatparametru kopuma vai to kombinācijas.

2.1.1. Derīguma pakāpes novērtējums pēc parametru kopuma

Diagnostikas metodes efektivitātes palielināšanai ir vērts nomainīt stāvokļa funkciju piesaistīšanu no parametra uz elementu.

Elementa derīguma pakāpi var noteikt pēc izteiksmes:

$$DV_{element} = \begin{cases} +1 \text{ if } (RDF^1 \leq RDF_{min.} \wedge RDF^2 \leq RDF_{min.} \dots \wedge RDF^k \leq RDF_{min.} \dots \wedge RDF^K \leq RDF_{min.}) \\ \pm 0 \text{ if } \left((RDF_{max.} > RDF^1 > RDF_{min.}) \wedge (RDF_{max.} > RDF^2 > RDF_{min.}) \dots \right. \\ \left. \wedge (RDF_{max.}^k > RDF^k > RDF_{min.}^k) \dots \wedge (RDF_{max.}^K > RDF^K > RDF_{min.}^K) \right) \\ -1 \text{ if } (RDF^1 \geq RDF_{max.}^1 \vee RDF^2 \geq RDF_{max.}^2 \dots \vee RDF^k \geq RDF_{max.}^k \dots \vee RDF^K \geq RDF_{max.}^K) \end{cases} \quad (2.8)$$

Izteiksme (2.8) operatoru formā parametru kopumam izskatīsies sekojoši:

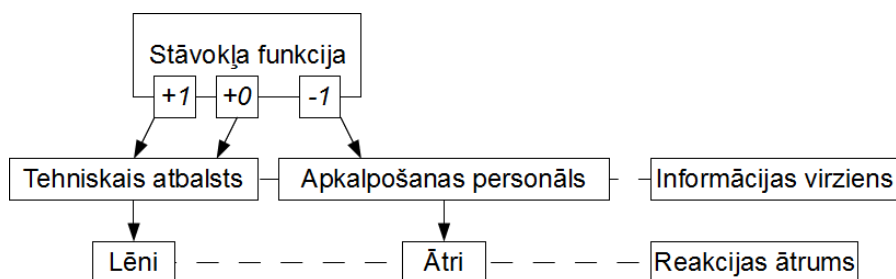
$$DV_{element} = \begin{cases} +1 \text{ if } \sum_{k=1}^K SF^k = K \\ \pm 0 \text{ if } \sum_{k=1}^K SF^k < K \quad \prod_{k=1}^K SF^k \geq 0 \vee SF^K \geq 0 \\ -1 \text{ if } \prod_{k=1}^K SF^k < 0 \end{cases} \quad (2.9)$$

kur RDF^k ir k - parametra relatīvais neatbilstības koeficients;

K - novēroto parametru skaits;

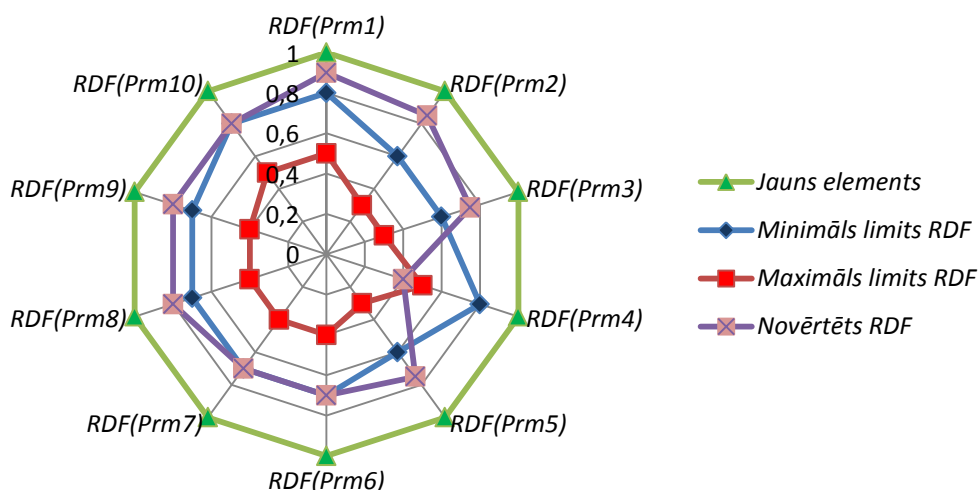
$\prod_{k=1}^K SF^k = SF^1 \cdot SF^2 \cdot \dots \cdot SF^K$ - diagnostikas apakšsistēmas produkts.

Novēroto parametru skaitu K nosaka apakšsistēmas PD sasniegšanas dziļums. Tādā veidā elementa stāvoklis ir aprakstīts relatīvos lielumos un sistēmā izplatīta informācija par konkrēta elementa stāvokli, bet ne par konkrētiem parametriem. Stāvokļa funkcija nosaka informācijas izplatīšanas virzienu un vajadzīgo personāla reakcijas ātrumu (2.3. att.).



2.3. att. Informācijas izplatīšanas virziens

2.4. attēlā piedāvāts grafiskais paskaidrojums par stāvokļa funkcijas atkarību no parametru kopuma. Paskaidrojumam izmantots *RDF* relatīvais atbilstības koeficienta jēdziens. Paskaidrojumā iekļauti 6 parametri *Prm1*, ..., *Prm6*.



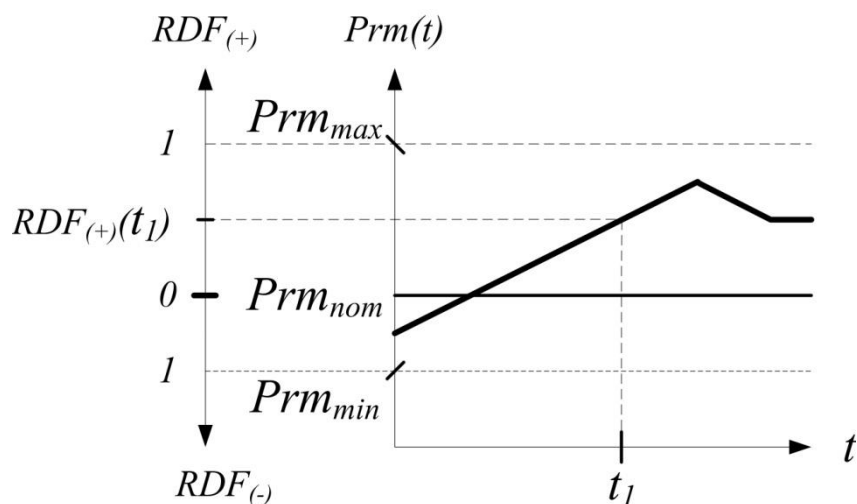
2.4. att. Stāvokļa funkcija pēc parametru kopuma

Jāatzīmē, ka informācija par elementu, izmantojot stāvokļa funkciju, nedublē informāciju par sistēmas funkcionēšanu, bet nodrošina sistēmas elementu monitoringu pēc diagnostikas apakšsistēmas darbības un informācijas par sistēmas stāvokli (Health).

2.2. Relatīvie neatbilstības un atbilstības koeficienti

Lai nodrošinātu informācijas apstrādes algoritma neatkarību no elementa parametru robežlielumiem un būtu iespējams pielietot vienoto lēmuma pieņemšanas algoritmu, ir jānosaka relatīvas neatbilstības koeficienta definīcija (*RDF* - Relative Departure Factor), kas

atbilst Eiklida attāluma jēdzienam (2.5. att.) [24]. Eiklida attāluma jēdziens – parametra lieluma novērtējuma nobīde no nosacīti nomināla uz robežlieluma pusi. RDF ir parametra novērtējums relatīvos lielumos, kas pieņemti sākuma noteikumos.



2.5. att. RDF jēdziena grafiskais paskaidrojums

RDF definīcijas izteiksme izskatīsies sekojoši:

$$\begin{aligned} (Prm_{nom.} - Prm(t) \leq Prm_{nom.} - Prm_{min.}) &\rightarrow (1 \geq RDF_{(-)} \geq 0 \text{ \& } RDF_{(+)} = 0) \\ (Prm(t) - Prm_{nom.} \leq Prm_{max.} - Prm_{nom.}) &\rightarrow (RDF_{(-)} = 0 \text{ \& } 0 \leq RDF_{(+)} \leq 1) \end{aligned} \quad (2.10)$$

kur $Prm_{nom.}$ – parametra nominālais lielums;

$Prm_{min.}$ - parametra minimālais lielums;

$Prm_{max.}$ - parametra maksimālais lielums;

$Prm(t)$ – parametra novērtējums.

Nominālais, minimālais un maksimālais lielums ir sākuma noteikumi parametra pārbaudei [42][44].

Pēc izteiksmes (2.10) RDF pārbaudes izskaitļošana notiks sekojoši:

$$RDF(Prm, t) = \begin{cases} RDF_{(-)}(t) = \left| \frac{Prm_{nom.} - Prm(t)}{Prm_{nom.} - Prm_{min.}} \right| \\ RDF_{(+)}(t) = \left| \frac{Prm(t) - Prm_{nom.}}{Prm_{max.} - Prm_{nom.}} \right| \end{cases} \quad (2.11)$$

kur $RDF_{(-)}$ - relatīvie neatbilstības koeficienti atļautam parametra minimālam lielumam;

$RDF_{(+)}$ - relatīvie neatbilstības koeficienti atļautiem parametra maksimālam lielumam.

RDF zīmes $(-)$ vai $(+)$ - izmaiņas virziena pārbaude ar attiecīga koeficienta $RDF_{(-)} \neq 0$ $RDF_{(+)} \neq 0$.

Objekta parametra apraksts, izmantojot RDF , var tikt uzrakstīts divējādi:

$$Prm = [Prm_{nom}; Prm_{min}; Prm_{max}; RDF_{(-)}; RDF_{(+)}], \quad (2.12)$$

vai

$$Prm = [Prm_{nom}; \Delta Prm_{(-)}; \Delta Prm_{(+)}; RDF_{(-)}; RDF_{(+)}]. \quad (2.13)$$

Apstrādes procesā ir iespējams veikt adaptāciju, izmantojot sākuma noteikumu Prm_{nom} , Prm_{min} , Prm_{max} izmaiņu. Tas nodrošina apstrādes algoritma pielāgojamību.

Ja nepieciešams novērot elementa darba spēju, iespējams izmantot relatīvas atbilstības koeficienta jēdzienu RNF (Relative Normality Factor):

$$RNF(Prm, t) = \begin{cases} RNF_{(-)} = 1 - \frac{|Prm_{nom} - Prm(t)|}{|Prm_{nom} - Prm_{min}|} \\ RNF_{(+)} = 1 - \frac{|Prm_{nom} - Prm(t)|}{|Prm_{max} - Prm_{nom}|} \end{cases} \quad (2.14)$$

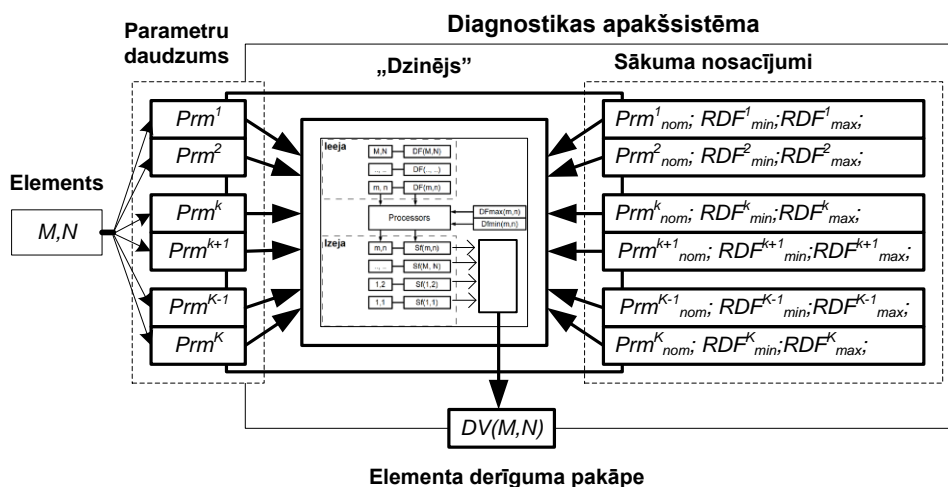
Objekta parametra apraksts, izmantojot RNF , arī var tikt uzrakstīts divējādi:

$$Prm = [Prm_{nom}; Prm_{min}; Prm_{max}; RNF_{(-)}; RNF_{(+)}], \quad (2.15)$$

vai

$$Prm = [Prm_{nom}; \Delta Prm_{(-)}; \Delta Prm_{(+)}; RNF_{(-)}; RNF_{(+)}]. \quad (2.16)$$

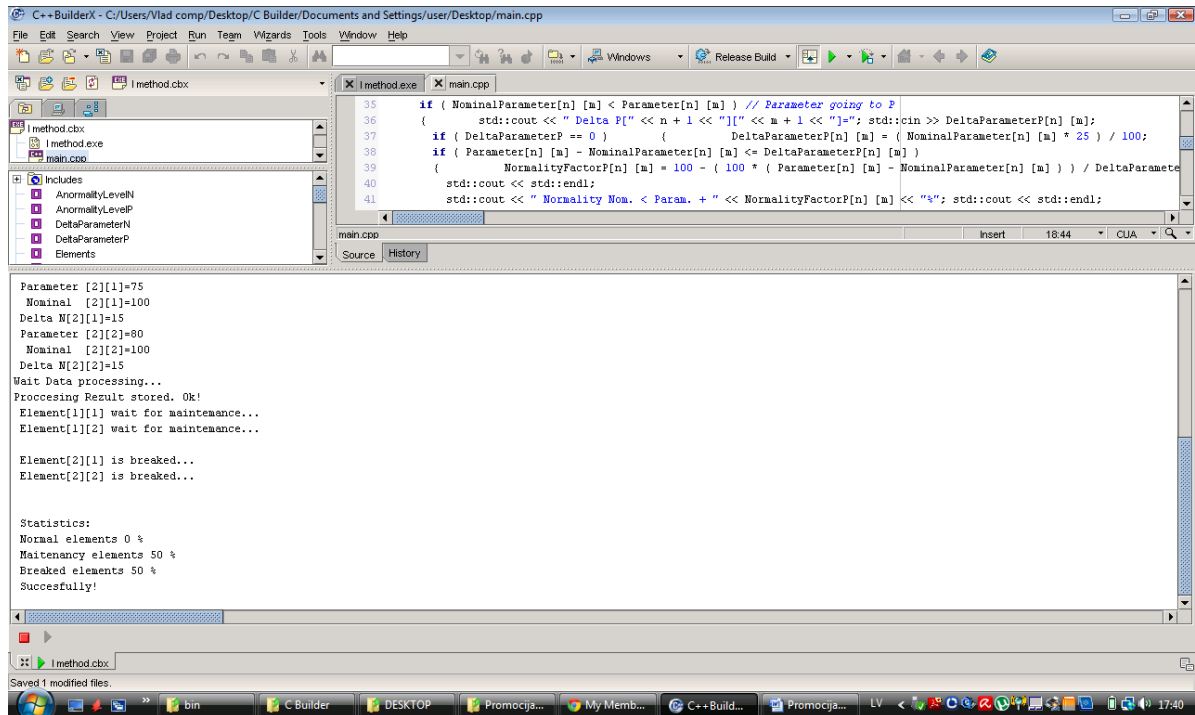
Izmantojot parametra aprakstu relatīvos lielumus (2.12), (2.13) un izteiksmes (2.15), (2.16), ir izveidots konveijera veida lēmuma pieņemšanas „dzinējs” (2.6. att.).



2.6. att. Lēmuma pieņemšanas „dzinējs”

„Dzinēja” realizācijā ir iespējams izmantot uz fāzi loģikas balstītas vai tabulveida kontrollerus. Tāda pieeja ļauj noteikt elementu kopumam datu apstrādes procesa izpildīšanas laiku.

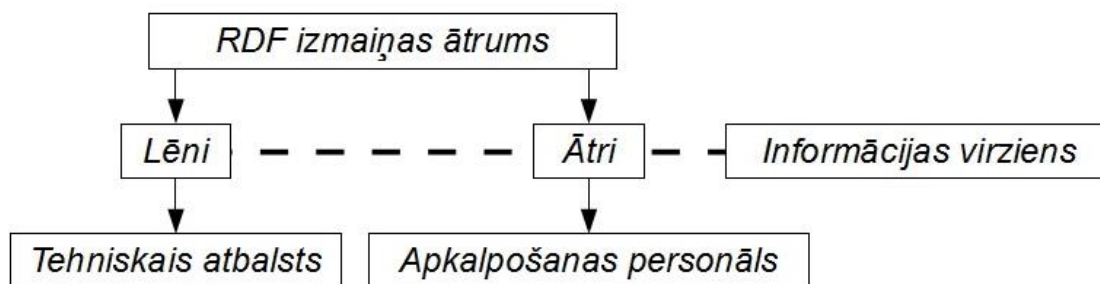
Pielikumā 6.1. piedāvāta programmatūra *RNF* reizināšanai un lēmuma pieņemšanai automātiskajā režīmā. Programmas funkcionēšanas gala rezultāts tiek saglabāts failā *Test_parameters.txt*. 2.7. attēlā ir parādīts programmas izpildes rezultāts.



2.7.att. Programmas izpildes rezultāts

2.3. Apkalpošanas optimālā sākuma momenta noteikšana

Lai paaugstinātu apkalpošanas kvalitāti un efektivitāti, *RDF* izmaiņas ātrums var būt par kritēriju, pēc kura jānosaka vajadzīgā apkalpošana vai remonts un ar to saistītais apkalpošanas personāls (2.8. att.), kā arī vajadzīgais personāla reaģēšanas ātrums uz notikumu.

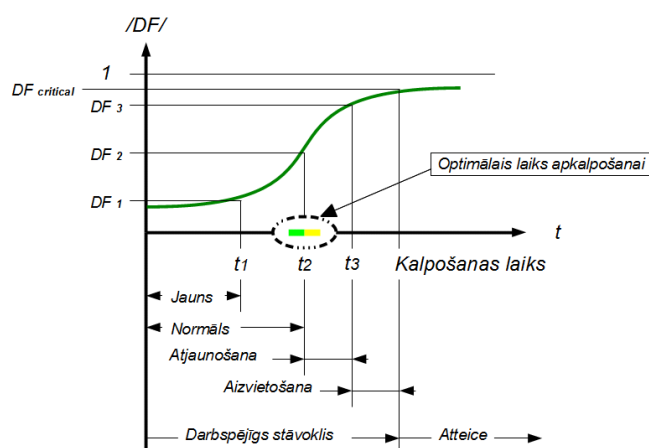


2.8. att. Informācijas izplatīšanas virziens

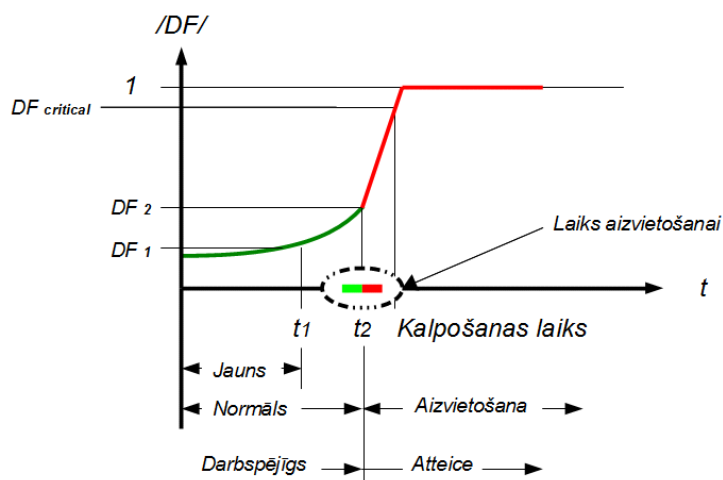
Pēc elementa parametru ātruma izmaiņas ir iespējams sagrupēt atteices pēc vajadzīgā novēršanas laika - ātrajās un pakāpeniskajās.

Negaidītajām atteicēm ir raksturīgas *RDF* koeficienta ātras izmaiņas (2.9. att. a)), bet *RDF* koeficienta pakāpeniskas izmaiņas – normālam nolietojumam (2.9. att. b)).

a)



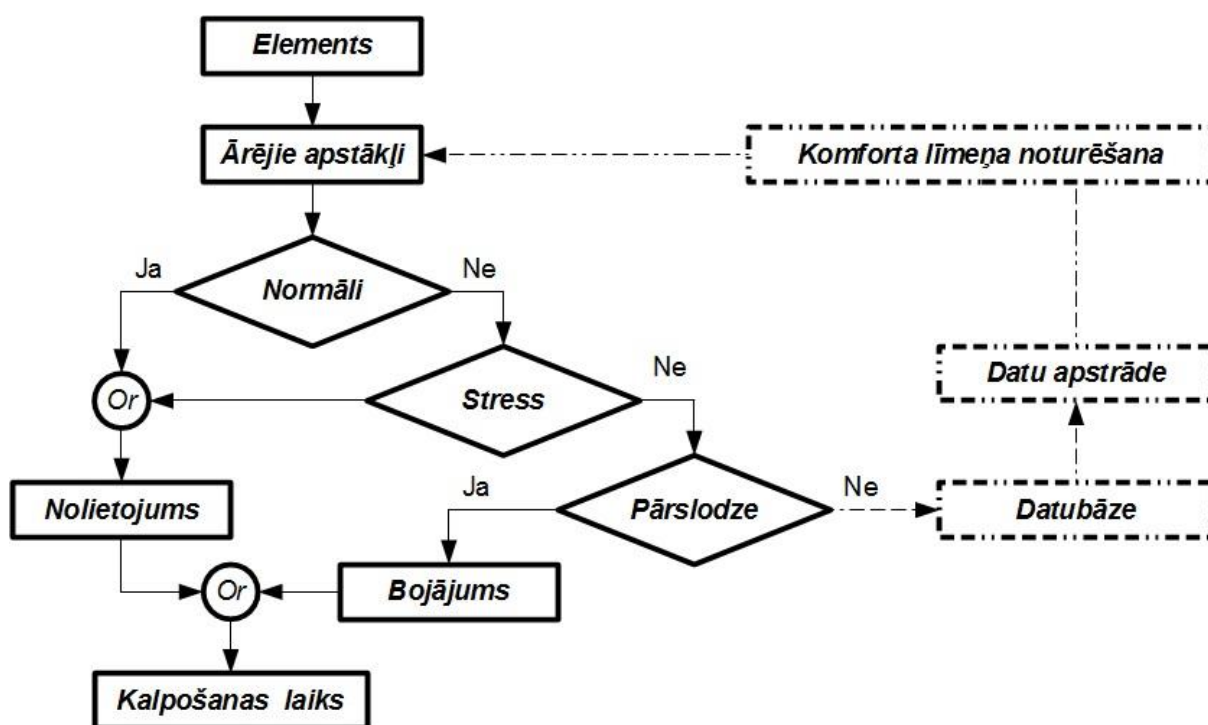
b)



2.9. att. Apkalpošanas optimālā momenta noteikšana un atteices klasifikācija

2.3.1. Atteices un bojājumu cēloņu analīze

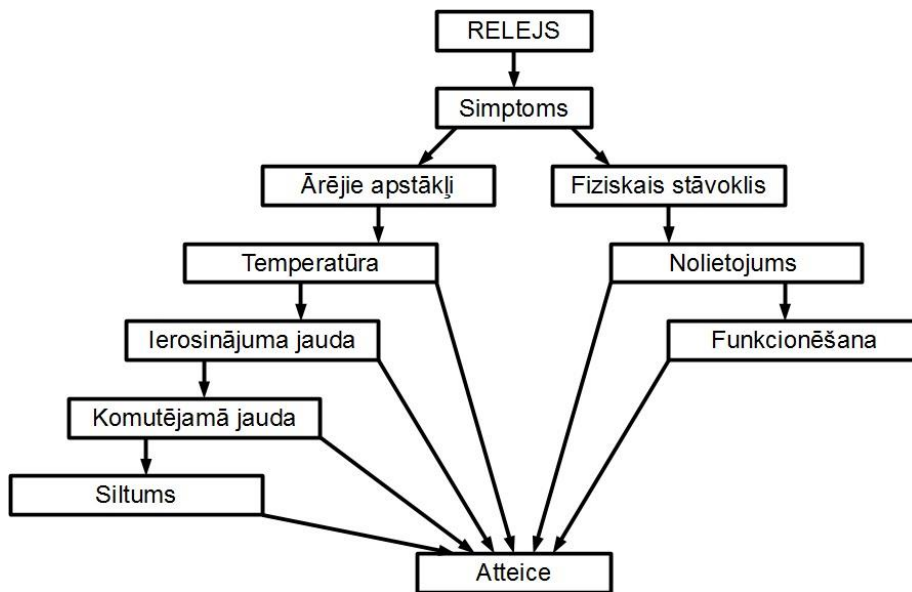
Analizējot dzelzceļa sakaru centralizācijas un bloķēšanas (SCB) sistēmu ierīču bojājumus, dažos gadījumos bojāto elementu iespējams noteikt pat vizuāli, kas ir viens no heuristiskiem paņēmieniem [26]. Lai noteiktu īsto bojājuma cēloni, nepieciešams veikt ekspluatācijas apstākļu monitoringu un nodrošināt saistīto simptomu novērošanu (2.10.att.).



2.10. att. Ekspluatācijas apstākļu novērošana

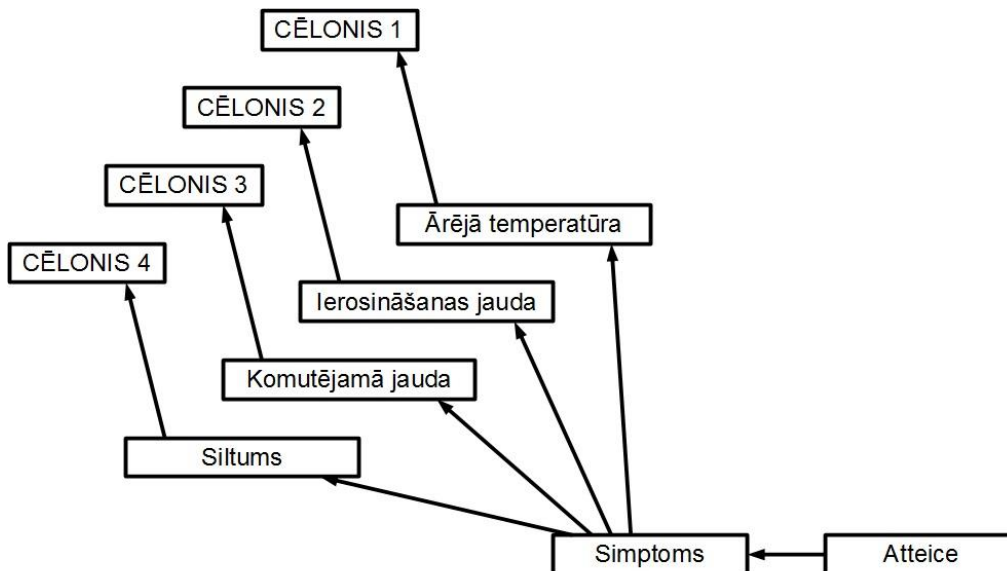
Elementu atteices un bojājumus pēc izraisīšanas cēloņa iespējams sagrupēt divās kategorijās. Tie ir ekspluatācijas stresa apstākļu radītie (pārspriegumi, pārslodzes, pārkarsēšana) un fiziska plāna ierobežojumu izraisītie (nolietojums, materiālu kvalitāte).

Elektromehāniskajam relejam izveidotajā simptomu sadalīšanas grafā (FTA - Faulty Tree Analyze) [22] (2.11. att.) redzams, ka ekspluatācijas apstākļu novērošana krietni paaugstina prasības papildu aparatūras daudzumam, līdz ar to palielinās diagnostikas apakšsistēmas jauda P_w .



2.11. att. FTA (Fault Tree Analyze) grafs

Ekspluatācijas apstākļu neievērošana var novest pie reālas atteices vai bojājuma cēloņa „maskošanas” (Causes Masking). Tādā gadījumā nav iespējams noteikt ietekmīgākus riska faktoros un aparatūras nedrošās vietas.



2.12. att. Cēloņu atmaskošana (Causes Unmasking)

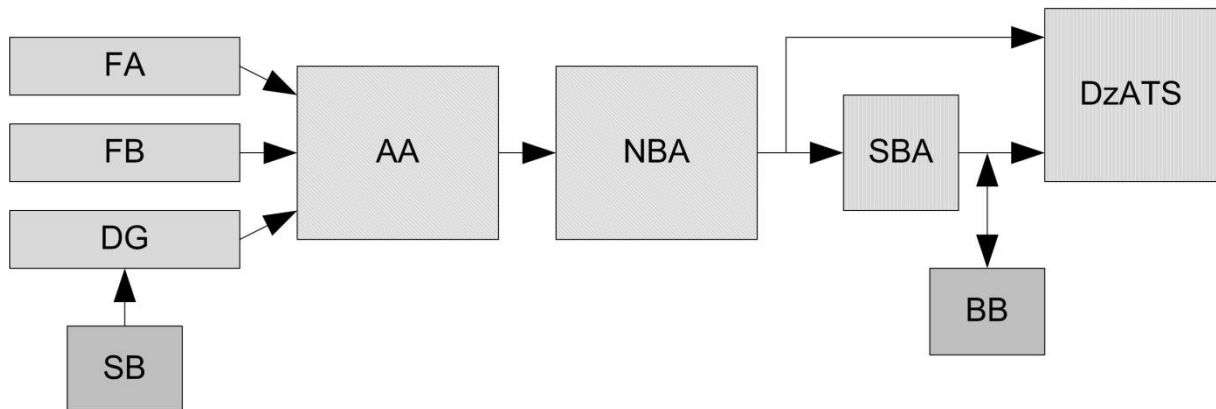
2.4. Secinājumi

- objekta apraksts, izmantojot derīguma pakāpes daudzumu $\{DV\}$, nodrošina informāciju par sistēmas stāvokli (Health);
- atspoguļotā sistēmas stāvokļa izmaiņa $\{DV\}$ satur informāciju par notikuma vietu (Faulty Detection);
- izmantojot *RDF* vai *RNF*, sasniedzam iespēju izmantot universālu lēmuma pieņemšanas algoritmu;
- lēmuma pieņemšana notiek ar vienādu ātrumu, neatkarīgi no analizētā parametra;
- apstākļu novērošana dod iespēju paaugstināt nolietojuma novērtējuma ticamību, izmantojot *RDF* palielināšanu gadījumos, kad fiksēti ekspluatācijas apstākļu traucējumi;
- sistēmas drošuma paaugstināšanai nepieciešami uz komforta līmeņa nodrošināšanu specializēti elementi;
- sistēmas drošuma paaugstināšanai nepieciešama rekonfigurācija, kurā elementu attālināšana no riska faktoriem ir preventīva pieeja sistēmas aizsargātības paaugstināšanai;
- sistēmas drošuma paaugstināšanai nepieciešama adaptīvas gatavības izveidošana.

3. AKUMULATORA PADZIĻINĀTAS DIAGNOSTICĒŠANAS METODES IZSTRĀDE

3.1. DzATS energoapgāde sistēma

3.1. attēlā parādīta dzelzceļa automātika sistēmu vienkāršotā energoapgādes shēma.



3.1. att. DzATS energoapgādes shēma

kur

- „FA” – maiņstrāvas sprieguma ~220V pamatbarošanas līnija;
- „FB” – maiņstrāvas sprieguma ~220V rezerves barošanas līnija;
- „DG” – elektriskais dīzeļu ģenerators;
- „SB” – startera akumulators;
- „AA” – vadības automātika;
- „NBA” - nepārtrauktais barošanas avots;
- „SBA” – specializēts barošanas avots;
- „BB” – bufera akumulatoru baterija.

Barošanas drošums ietekme uz automātikas un telemātikas sistēmas nepārtrauktu darbību. Pastāv automātikas un telemātikas sistēmas elementi (impulsu relejs) un mezgli (līdzstrāvas sliežu ķēde), ar parametriem atkarīgajiem no barošanas sprieguma vai strāvas, un elementi (akumulatora baterija) ar kalpošanas laika atkarību no barošanas avota sprieguma precizitāte noturēšanas režīmā.

Ka redzams no 5.1. attēla akumulators ir neatņemama energoapgādes sistēmu sastāvdaļa, kura darbība un drošuma rādītāji ietekmē uz visās dzelzceļa automātikas

sistēma bezatzeices darba rādītājiem. Atkarīgi no izmantošanas veida, akumulatori dalās uz startera „SB” un bufera „BB” akumulatoriem.

„DG” avārijas automātikā ir iekļauts startera baterijas „SB” diagnostikas līdzeklis, bet tajā pašā laikā bufera baterija „BB”, neskatoties uz to, ka ir neapkalpojamā, pakļauta periodiskai tehniskā stāvokļa kontrolei no personāla puses. Bufera baterijas „BB” kontroles automatizācija prasa izpētīt eksistējošo un izstrādāt jaunu tehniskā stāvokļa diagnostikas metodi.

3.2. Bufera akumulatoru baterija

Bufera akumulatoru baterijas standarti parametri ir:

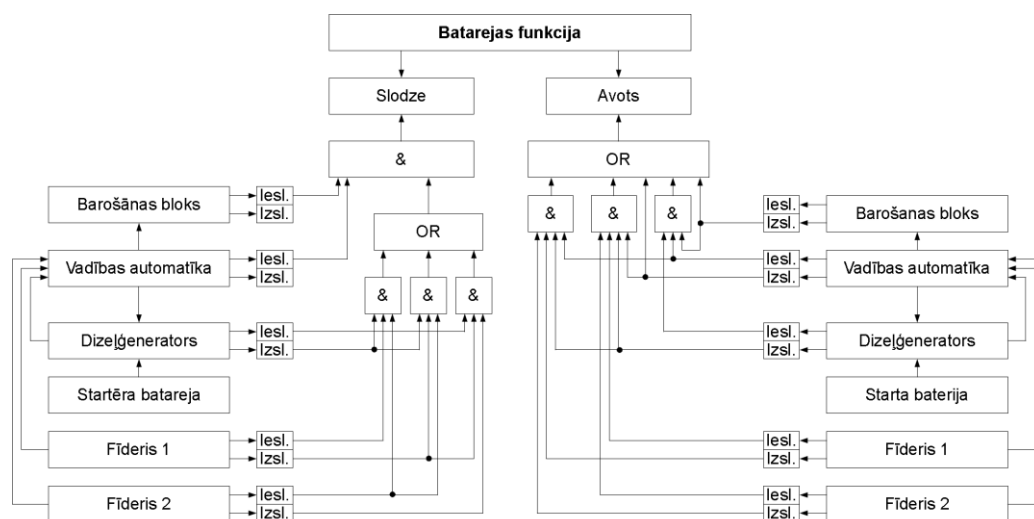
$Type_{Battery}$ - akumulatora tips (A400, BAE, ABH-72);

$U_{nom}^{Battery}$ - akumulatora spriegums normālā noslogošanas režīmā (12V, 14V, 24V, 28V);

$C_{Battery}$ - akumulatora kapacitātes stāvoklis, kas ietekme uz barošanas bloka režīmu;

T – gaisa temperatūra pie kura jāizmanto akumulatoru.

Atteicu analīzes gaitā tika konstatēts, ka pastāv situācijas kad barošanas avots „SBA” nenodrošina nepieciešamu jaudu pamatu slodzei, kas ietekme uz sprieguma precizitātes noturēšanas režīmā. Loģiskas diagrammā (3.2. att.) dots paskaidrojums „BB” funkcijas maiņai atkarīgi no energoapgādes shēmas stāvokļa.



Barošanas shēmas stāvokļa logiska diagramma

lesl. – loģiskais 1
izsl. – loģiskais 0

3.2. att. Loģiskais paskaidrojums akumulatora funkcijas maiņai

Pirmajā gadījumā, „BB” ir specifiskas slodzes funkcija, kas ir saistīta ar elektriskas enerģijas uzkrāšanu. Otrajā gadījumā, „BB” ir līdzstrāvas sprieguma avots, kas nodrošina pamatu slodzei papildu vai visu nepieciešamu jaudu.

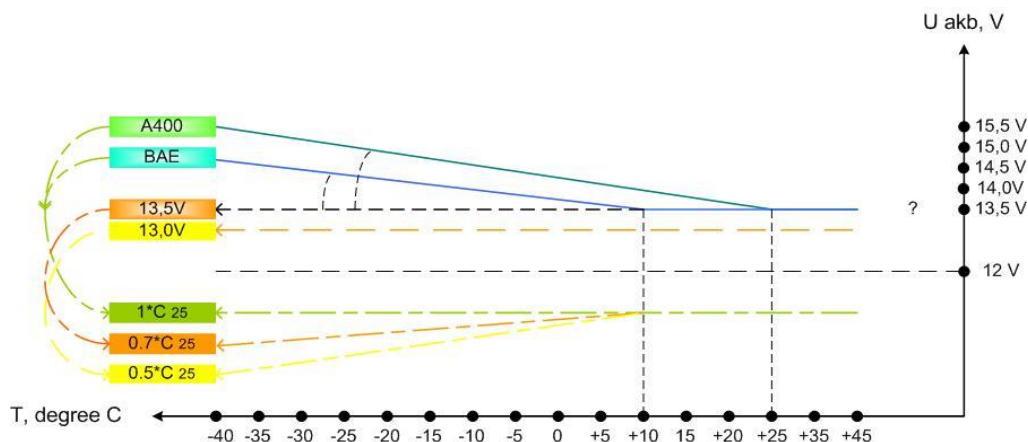
Prasības pret „SBA” no pamatu slodzes un akumulatora baterijas nav līdzīgas un tas tiek sakopoti 3.1. tabulā.

Tabula 3.1.

Prasības uz elektriskiem parametriem barošanas avotam

Lielums	Akumulators	Pamatu slodze
Spriegums	$f(\text{Type}_{\text{Battery}}, U_{\text{nom.}}^{\text{Battery}}, C_{\text{Battery}}, T)$	const
Izejas sprieguma precizitāte	$\pm 1\%$	$\pm 10\%$
Sprieguma pulsācijas	$\pm 1,5\%$	$\leq 10\%$
Strāva	$\leq (0,1 \div 0,15) * C_{\text{Battery}}$	$\leq I_{\text{Load max.}}$

Akumulatoru izmantošana zemas temperatūras diapazonā pieprasa rēķināties ar ķīmisko procesu atkarību no temperatūras, kā rezultātā samazinās akumulatora kapacitāte, ko kompensē noturēšanas sprieguma temperatūras korekcijas (3.3. att.), kas palielina uzlādēšanas strāvu.



3.3. att. Noturēšanas sprieguma temperatūras korekcija A400 un BAE tipa baterijām

Pēc ražotāja datiem ir iespēja nodrošināt noturēšanas režīmā sprieguma korekciju atkarīgi no arējas temperatūras, ko ļauj saglabāt akumulatora kapacitāte visā temperatūras diapazonā:

$$\text{if } T < T_{(-)}, \text{ then } U_{\text{Storage}}^{\text{Battery}}(T) = N_{\text{cells}} \cdot \left(U_{\text{Cell}}^{\text{Battery}}(T_0) + k_{T(+\Delta U)}^{\text{TypeBattery}} \cdot (T_{(+\Delta U)} - T) \right) \quad (3.1)$$

$$\text{if } T = T_0, \text{ then } U_{\text{Storage}}^{\text{Battery}}(T_0) = N_{\text{cells}} \cdot \left(U_{\text{Cell}}^{\text{Battery}}(\text{TypeBattery}, T_0) \right) \quad (3.2)$$

$$\text{if } T > T_{(+)} , \text{ then } U_{Storage}^{Battery}(T) = N_{cells} \cdot \left(U_{Cell}^{Battery}(T_0) - k_{T(-\Delta U)}^{TypeBattery} \cdot (T_{(-\Delta U)} - T) \right), \quad (3.3)$$

kur $U_{Storage}^{Battery}(T)$ - akumulatoru spriegums noturēšanas režīmā;

T_0 - ārēja gaisa temperatūra pie kura ražotājs normējis akumulatora parametrus;

N_{cells} - akumulatora elementu skaits;

$U_{Cell}^{Battery}(TypeBattery, T_0)$ - akumulatora elementa noturēšanas režīmā nominālais spriegums normāla temperatūra T_0 ;

$T_{(+\Delta U)}$ - temperatūra pēc kura sākas noturēšanas režīma nomināla sprieguma palielināšana;

$T_{(-\Delta U)}$ - temperatūra pēc kura sakas noturēšanas režīma nomināla sprieguma pazemināšana;

$k_{T(+\Delta U)}^{TypeBattery}$ - sprieguma korekcijas koeficients kas ir saistīts ar temperatūras pazemināšanu;

$k_{T(-\Delta U)}^{TypeBattery}$ - sprieguma korekcijas koeficients kas ir saistīts ar temperatūras palielināšanu.

Tabulā 3.2 sakopti elektriskie pamatparametri izplatītākiem Latvijas Dzelzceļa neapkalpojamiem A400/A412 un BAE baterijām.

Tabula 3.2.

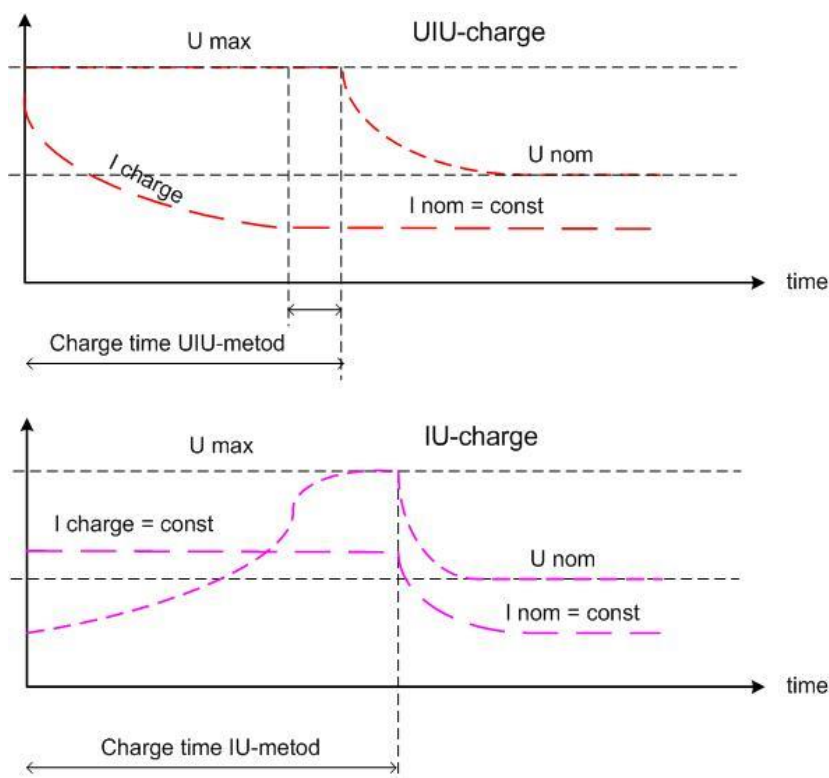
Pamatparametri A400/A412, BAE baterijām

$Type_{Battery}$	A400	BAE
N_{cells}	6	7
$U_{Cell}^{Battery}, [V]$	2,25	
$C_{Battery}, [A \cdot st]$	80	120
$T_0, [^{\circ}C]$	+25	
$T_{min.}, [^{\circ}C]$	-30	
$T_{max.}, [^{\circ}C]$	+45	
$T_{(+\Delta U)}, [^{\circ}C]$	+25	+10
$T_{(-\Delta U)}, [^{\circ}C]$	+25	+10
$k_{T(-\Delta U)}^{TypeBattery}, [mV/^{\circ}C]$	5	4
$k_{T(+\Delta U)}^{TypeBattery}, [mV/^{\circ}C]$	5	0
$U_{Storage}^{Battery}(Type_{Battery}, T_0), [V]$	13,50	15,75
$U_{Storage}^{Battery}(Type_{Battery}, T_{max.}), [V]$	12,90	15,75
$U_{Storage}^{Battery}(Type_{Battery}, T_{min.}), [V]$	15,15	16,87

DzATS „BB” pamatu ir avota funkcija. Izvēlētā „BB” kapacitāte nosacīta ar slodzes nepieciešamu jaudu в 8 stundās laikā, bet arī ar barošanas avota „SBA” nominālu jaudu un temperatūras korekcijas iespējam . Ja „SBA” nav iekļauta izejas sprieguma korekcijas

funkcija, kas ir saistīta ar temperatūras izmaiņām (3.3.att.), vai izejas spriegums ir mazāks nekā nomināls spriegums saturēšanas režīmā, tad lai saglabātu aparātūras normālu darbību nepieciešama akumulatora kapacitātes rezervēšana ar koeficientu $1.2 \div 1.5$.

Kā specifiskā slodze „BB” pieprasa nodrošināt ātru enerģijas uzkrāšanu baterijas kapacitātes līdz nominālai pēc avota funkcijas izpildīšanas. Tas saistīts ar uzlādēšanas režīma kontroli, izmantojot vienu no metodēm (3.4.att.).



3.4. att. Ātrā akumulatora uzlādēšana

Tas ir „spriegums – strāva – spriegums” (UIU) un „strāva-spriegums-spriegums” (IUU) metodes.

3.2.1 Akumulatora stāvokļa diagnosticēšana

Akumulatora stāvoklis nosacīts ar iekšējās elementu ķīmisko un fizisko stāvokli [81]. Akumulatora stāvoklis ietekme uz pamatu funkcijas izpildīšanu, kas ir nepieciešamas līdzstrāvas enerģijas nodrošināšana noteikta laikā periodā.

Viena no plašāk izmantotajam pieejam ir akumulatora stāvokļa raksturošana pēc iekšējās pretestības lieluma:

$$R_{int} = \frac{\partial U}{\partial I}, \quad (3.4)$$

kur ∂U - akumulatora sprieguma izmaiņa ka ir ierosināta ar akumulatora strāvas ∂I izmaiņu.

Akumulatoru stāvoklis pieņemts par normālu ja:

$$R_{int\ min.} \leq R_{int}^{measured} \leq R_{int\ max.}, \quad (3.5)$$

kur $R_{int}^{measured}$ – iekšēja akumulatora pretestība pēc mērījumiem;

$(R_{int\ min.} \div R_{int\ max.})$ - iekšējas pretestības diapazons normāla stāvoklī esošam akumulatoram.

Vēl viena zināma pieeja ir veikt slodzes noturēšanas testu, kura laikā tiek novērtēta reakcija uz slodzes strāvu:

$$Testa\ nosacījumi : \begin{cases} I_{load} = (0.1 \div 0.15) * C * st.^{-1} \\ U_{battery} \geq U_{battery\ nom.} \\ t_{load} \geq T_{load\ min.} \end{cases}, \quad (3.6)$$

kur I_{load} [A]- akumulatora slodzes strāva;

C [A · st.]- akumulatora kapacitāte;

t_{load} [s] - slodzes pieslēgšanas laiks;

$T_{load\ min.}$ [s] - minimālais slodzes pieslēgšanas laiks.

Akumulatoru stāvoklis pieņemts par normālu ja:

$$U_{battery}(I_{load}, t_{load}) \geq U_{battery\ nom.} \quad (3.7)$$

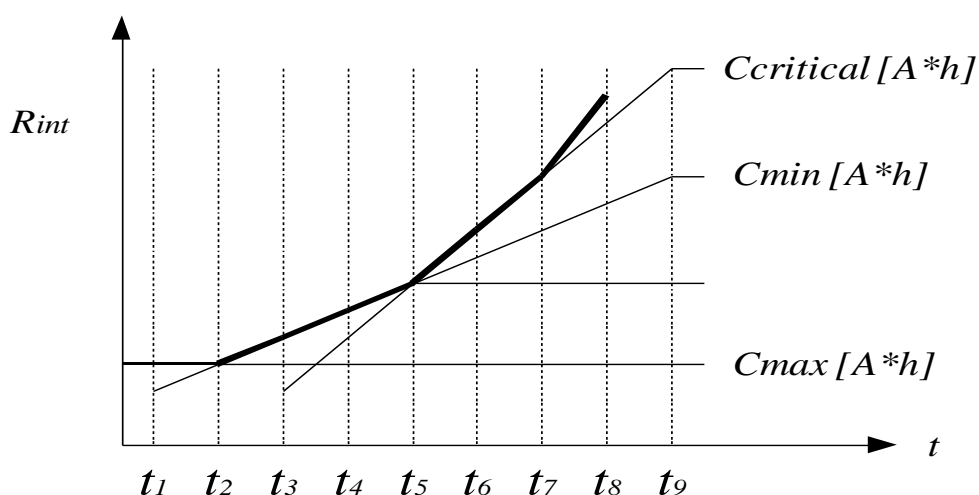
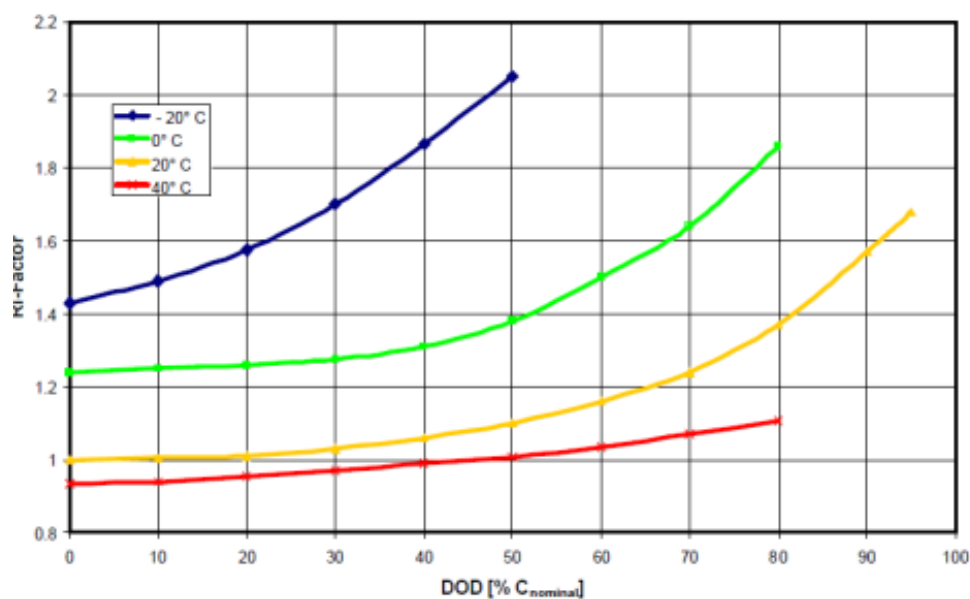
Tāda veida esošās akumulatora stāvokļa noteikšanas veidus var sadalīt uz tiem kas balstās uz iekšējas pretestības aprēķināšanu (3.4) ar novērtējumu pēc (3.5), un balstītas uz akumulatora slodzes noturēšanas testu (3.6) kas tiek novērtēts pēc (3.7) [80]. Akumulatora baterijas tehniskus parametrus novērtējums noteikts ar IEC512 un IEC896. Tādā veidā, mēraparātus arī var sadalīt uz divām grupām: iekšējas pretestības mērītāji (IEC512) un slodzes testerus (IEC896).

Piemēram, A400 (12V/80A*st.) neapkalpojama akumulatora stāvoklis ir iespējams noteikt ka normāls, kad iekšējas pretestības lielums pēc (3.5) ir $8 \div 12\text{m}\Omega$ vai kad akumulatora spriegums $U_{battery} \cong 12\text{V}$ pie 10A slodzes strāvas 60 sekundes laikā pēc (3.7).

Akumulatora stāvokļa diagnosticēšanas īpašības ir saistītas no vienas puses ar baterijas vietu DzATS barošanas shēmā, un no otras puses ar rekomendēto diagnosticēšanas metodes pielietošanas iespējam [84]. Lai izmantotu iekšējas pretestības novērtējuma algoritmu, kā akumulatora stāvokļa kritēriju ir nepieciešama kvalificēta personāla rīcība un speciālas mērīšanas līdzekļu izmantošana [81]. Akumulators ir viens no elementiem, kurš

neskatoties uz to, ka ir pieskaitīts pie neapkalpojamiem elementiem, piemērota periodiska iekšējās pretestības mērīšanas procedūra.

Paaugstināt aparātūras gatavību ir iespējams ja veikt akumulatora stāvokļa diagnosticēšanu pēc slodzes noturēšanas testa izpildīšanu (3.7) ar iekšējās pretestības novērtējumu (3.5) automātiskajā režīmā. Izmantojot iekšējās pretestības lielumu un tas izmaiņas ātrumu, ir iespējams novērtēt akumulatora atlikušo kapacitāti (Residual Capacitate) vai izlādēšanas dziļumu (DOD – Depht of Discharge) (3.5. att.). Tas ļauj noteikt laika momentu pēc kuras rezerves akumulators nevarēs nodrošināt nepieciešamu izejas jaudu dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmu normālai funkcionēšanai.



3.5. att. Akumulatora izlādēšanās pareģošana, izmantojot iekšējās pretestības novērtējumu

3.2.3. Akumulatora enerģijas tilpums un kapacitāte

Akumulatorā iekrauta elektriskās enerģijas lielums saistīts ar elektriskās enerģijas pārveidošanu aktīvās ķīmiski masas (elektrolīts) enerģijā. Ķīmiski aktīvas masas enerģija pārveidojas elektriskajā enerģijā akumulatora izlādēšanas laikā [80].

Pārveidošanas efektivitāte akumulatora ielādēšanas laikā T ir iespējams aprēķināt izmantojot Gibbsona-Gejmgoļca vienādojumu (2.1 [80]):

$$E_{useful}[W \cdot s] = \int_0^T I_{charge}(t) \cdot HE_{mase}^{active}(t) \cdot dt, \quad (3.8)$$

kur E_{useful} - lietderīga iekrauta enerģija;

$I_{charge}(t)$ – akumulatora ielādēšanas strāva;

HE_{mase}^{active} - termiskais efekts no aktīvas ķīmiskas masas termiska reakcijas.

Enerģija, kas nodrošināta akumulatoram ielādēšanas laikā T :

$$E_{charge}[W \cdot s] = E_{initial} + \int_0^T I_{charge}(t) \cdot U_{battery}^{charge}(t) \cdot dt. \quad (3.9)$$

kur $E_{initial}$ – akumulatora iekrauta enerģija ielādēšanas sākumā;

$U_{battery}^{charge}(t)$ - spriegums uz akumulatora ielādēšanas procesa laikā.

Iekrauta akumulatora enerģija izmantojot kapacitātes jēdzienu $C_{battery}$ [$A \cdot s$] :

$$E_{battery} \cong U_{battery}^{nom} \cdot C_{battery} = U_{battery}^{nom} \cdot I_{discharge}^{possible} \cdot t_{discharge}^{possible}(U_{battery}^{min}), \quad (3.10)$$

kur $I_{discharge}^{possible}$ - izlādēšanas strāva;

$t_{discharge}^{possible}$ - izlādēšanas laiks, kas ierobežots ar $U_{battery}^{min}$;

$U_{battery}^{min}$ - minimālais atļauts spriegums uz akumulatora.

Akumulatora atlikuša kapacitāte $C_{battery}^{residual}(t)$ atkarīga no sākotnējās kapacitātes $C_{battery}^{initial}$, izlādēšanas $I_{discharge}^{load}(t)$ un pašas izlādēšanas strāvas $I_{discharge}^{self}(t, T)$, aktīvās ķīmiski masas temperatūras T :

$$C_{battery}^{residual}(t) = C_{battery}^{initial} - \int_0^{t_{discharge}^{possible}} (I_{discharge}^{load}(t) + I_{discharge}^{self}(t, T)) \cdot dt. \quad (3.11)$$

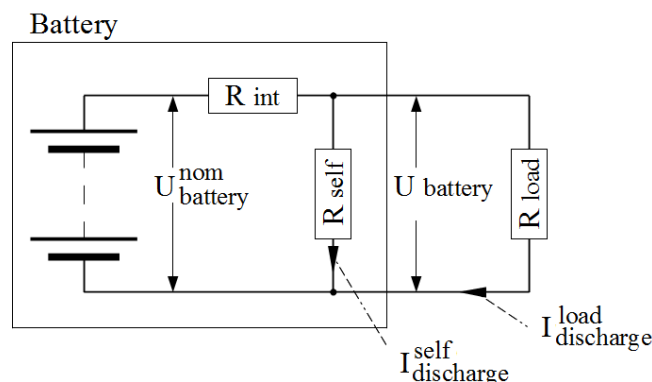
Akumulatora izlādētā enerģija laikā intervālā $\tau_1 \div \tau_2$:

$$E_{discharge} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (I_{discharge}^{load}(t) + I_{discharge}^{self}(t, T)) \cdot U_{battery}(t) \cdot dt. \quad (3.12)$$

Spriegums akumulatora:

$$U_{battery}(t) = U_{battery}^{nom} - (I_{discharge}^{load}(t) + I_{discharge}^{self}(t, T)) \cdot R_{int}(t), \quad (3.13)$$

Attēlā 3.6. uzrādīta akumulatora ekvivalenta shēma ar pašizlādēšanās strāvu ietekmi, $R_{int}(t)$ – iekšēja pretestība.



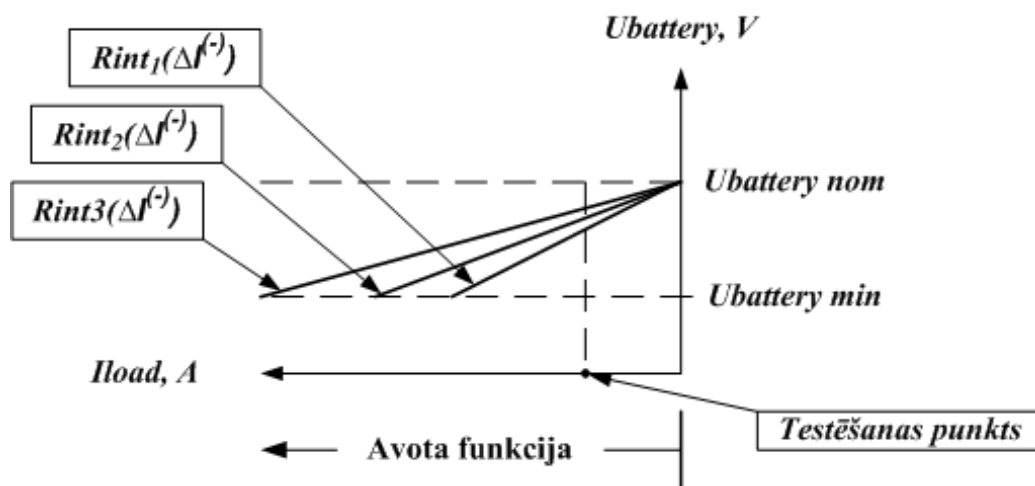
3.6. att. Akumulatora ekvivalenta shēma

3.2.3. Iekšējās pretestības novērtējums

Nepieciešams secināt, ka baterijas un mērīšanas ierīces ražotāji izmanto akumulatoru iekšējās pretestības novērtēšanu pēc atšķirīgiem standartiem [81]. Akumulatoru ražotāji izmanto kopīgo R_{int} (baterijas iekšēja pretestība) ar īss savienojuma strāvas novērtējumu pēc IEC896 standarta.

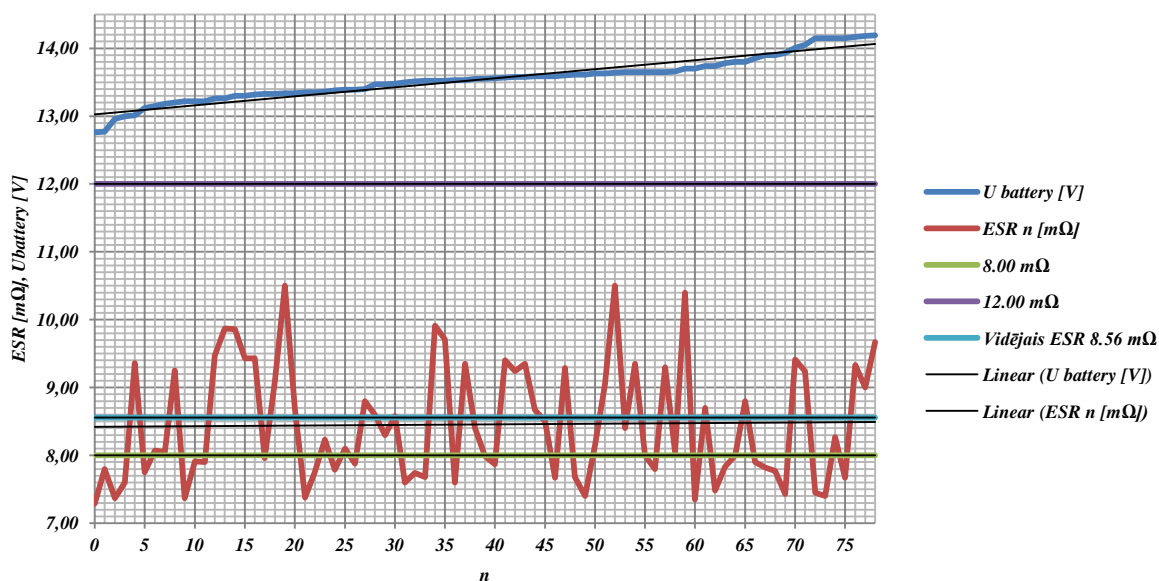
Lietotājs izmanto baterijas R_{int} (3.6. att.) novērtējuma tehnoloģiju, līdzīgu efektīvas secīgas pretestības mērīšanai (*ESR*-Effective Serial Resistance), un to realizē testēšanas ierīču ražotāji, sekojot IEC512 standartam [81]. Novērtējumu, izmantojot IEC512 standartu, ir iespējams veikt neatslēdzot bateriju no shēmas, kas, savukārt, pieprasa rēķināties ar strāvas pulsācijas ietekmi uz mērīšanas rezultātu.

Tādā veidā ir nepieciešams noteikts testēšanas punkts, par kuru varam pieņemt izlādēšanas vai lādēšanas līdzstrāvu ar lielumu, kādu nosaka baterijas nominālu kapacitāte un kurā ir iespējams nodrošināt strāvas pulsācijas noteikto minimālo lielumu (3.7. att.). Tas kopumā prasa izpētīt izlādēšanas vai lādēšanas režīma ietekmi uz *ESR* novērtējumu un izstrādāt diagnostikas aprīkojumu testēšanas punkta sasniegšanai.



3.7. att. Baterijas testēšanas punkts

Baterijas testēšanas ierīce „HiTESTER HIOKI 3550” [81] ir pielietojama SCB akumulatora stāvokļa noteikšanai pēc efektīvā *ESR* novērtējuma. 6. pielikumā ir apkopti dati, kuri savākti A400 «Sonnenschein» 12V /80A*st. baterijām, VAS „LDz” Signalizācijas un sakaru distancē. Datus grafiskais attēlojums piedāvāts 3.8. attēla.



3.8. att. *ESR* novērtējumi A400 baterijām

Analizējot iegūtos mērījumu rezultātus (3.8. att.) var secināt ka *ESR* novērtējums baterijai, kas atrodas в noturēšanas režīmā ar sprieguma temperatūras korekciju, laika gaitā pietiekošu lai ielādēties līdz nominālai kapacitātei $C_{battery}^{nominal}$, nav atkarīgs no sprieguma lieluma un $ESR \neq f(U_{battery}^{storage})$ noturēšanas režīmā.

Apstrādājot mērījumus datus ir aprēķināts ESR novērtējuma vidējais lielums ESR^{mean} , mērījumus deviācija un izveidots grafiskais mērījumus piedāvājums $ESR, U_{battery}^{storage}, n$. (3.8. att.).

ESR novērtējuma vidējais lielums pēc mērījumus kopuma:

$$ESR^{mean} = \frac{\sum_{n=1}^N ESR_n}{N}, \quad (3.14)$$

kur ESR_n - ESR mērījums n -tam akumulatoram;

N - akumulatoru skaits.

$$ESR^{mean} = \frac{\sum_{n=1}^N ESR_n}{N} = 8,56 \text{ m}\Omega$$

$$\Delta ESR^{measured} = \frac{ESR^{max} - ESR^{min}}{2} = \frac{10.5 - 7.39}{2} = 1.56 \text{ m}\Omega,$$

Mērījumus kopumam deviācija vienmērīgam sadalījumam:

$$\Delta ESR^{measured} = \frac{ESR^{max} - ESR^{min}}{2}, \quad (3.15)$$

kur ESR^{max} - ESR maksimālais mērījuma rezultāts;

ESR^{min} - ESR minimālais mērījuma rezultāts.

Tādā veidā, izmantojot 3.14 un 3.15 ESR :

$$ESR^{mean} = 8,56 \text{ m}\Omega \text{ un } \Delta ESR^{measured} = 1.56 \text{ m}\Omega.$$

ESR novērtējums ir:

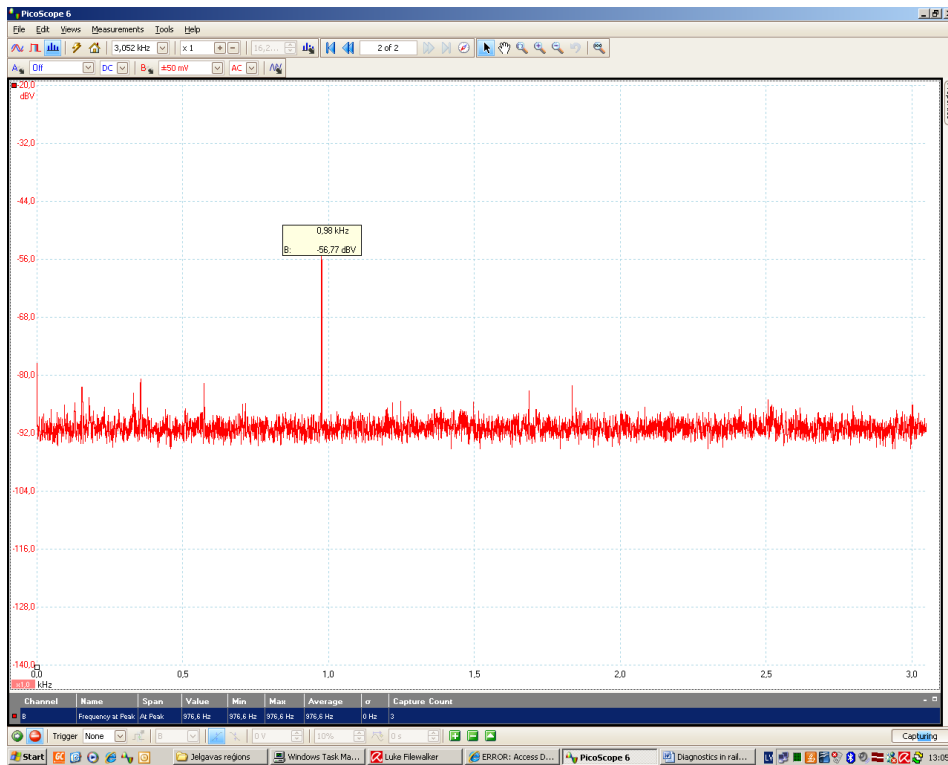
$$ESR^{estimated} = 8.56 \text{ m}\Omega \pm 18.75\%.$$

Liela mērījuma rezultātu deviācija (3.8. att.), kas sasniedz pat $\pm 18.75\%$, saistītā ar mērīšanas metodoloģiju nepietiekamību un mēraparāta uzbūves principu.

Analizējot mērīšanas tehnoloģiju, konstatēts, ka: testēšanas laikā slodze vai barošanas avots pieslēgti pie akumulatora un ir trokšņa avoti ar joslu, kurā ietilpst HiTESTERa testēšanas signāls (3.9. att.); mērīšanas shēmā netika izmantotas noteiktas pieslēgšanas vietas HiTESTERa mērīšanas vadu pieslēgšanai pie baterijas.

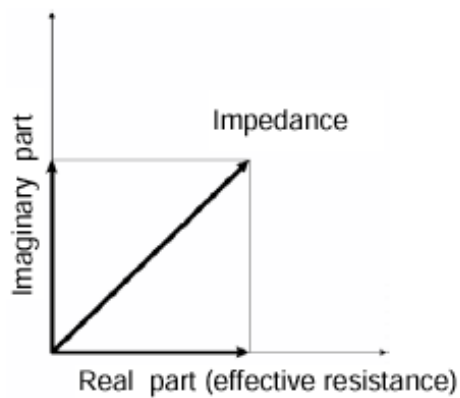
Mēraparāts „HiTESTER” pēc [81] ir līdzīgs kontaktu pretestības maiņstrāvas mērītājam, kas atbilst IEC512- 2, JIS C5402 un JIS C5441 standartiem.

3.9. attēlā ir redzams mēraparāta „HiTESTER HIOKI 3550” testēšanas signāls, kas noņemts uz A412 tipa akumulatora, kas savukārt atvienots no slodzes un no barošanas avota.



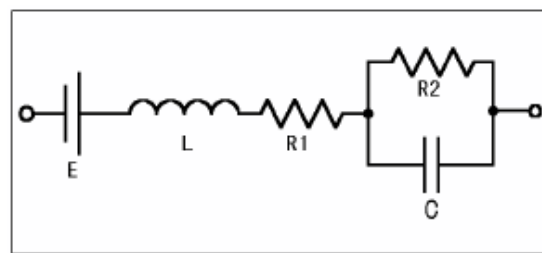
3.9. att. Mēraparāta „HiTESTERa HIOKI3550” testēšanas signāls

a)



Relationship between the real and false components of the impedance

b)



Equivalent circuit for a battery

3.10. att. Baterijas impedance a) un ekvivalenta shēma b)

Pēc [81] baterija tehniskais stāvoklis novērtēts pēc efektīvas (Real Part of Impedance) *ESR* pretestības (3.10. att. a)). Mēraparāts izmanto sinhronizēto maza lieluma signāla detektēšanas metodi, kas paaugstina signāla pret trokšņa attiecības lielumu.

3.2.4. Akumulatora iekšējās pretestības novērtēšanas metodes ar paaugstināto precizitāti izstrāde

Ņemot vērā mērījumu rezultātu analīzi, „HiTESTER HIOKI3550” mēraparāta darbības principu un tas īpašības, promocijas darbā ir izstrādāta jauna oriģināla iekšējās pretestības novērtēšanas metode, ar augstāku precizitāti.

Jauna iekšējās pretestības novērtēšanas metode izpaužas sekojoši. Pamatojoties uz reālā aprīkojuma iespējam, vienādojums (3.4) tiek pārveidojams izteiksmē:

$$R_{int} = \frac{\partial U}{\partial I} \cong \frac{\Delta U}{\Delta I}, \quad (3.16)$$

kur ΔU - mērīšanas shēmas jutības robeža;

ΔI - mērīšanas shēmas strāvas avota realizējama izmaiņa ΔU sasniegšanai.

Pamatojoties uz akumulatora elektroķīmiskas īpašības, pieļaujams ka pozitīva ΔI^+ strāvas izmaiņa dod akumulatora atlikušas kapacitātes $\Delta C_{battery}^+$ pieaugumu:

$$\Delta C_{battery}^+ = \Delta I^+ \cdot \Delta t, \quad (3.17)$$

kur Δt – izmaiņām fiksētājs laika intervāls;

ΔI^+ - strāvas izmaiņa.

Negatīva ΔI^- strāvas izmaiņa dod akumulatora atlikušas kapacitātes $\Delta C_{battery}^-$ zudumu:

$$\Delta C_{battery}^- = \Delta I^- \cdot \Delta t, \quad (3.18)$$

kur Δt – izmaiņām fiksētājs laika intervāls;

ΔI^- - strāvas izmaiņa.

Metodes īstenošanai ir pieļauts, kā akumulatora raksturojošā slodzes funkcija un avota funkcija laikā ir atšķirīgi (3.11. att.):

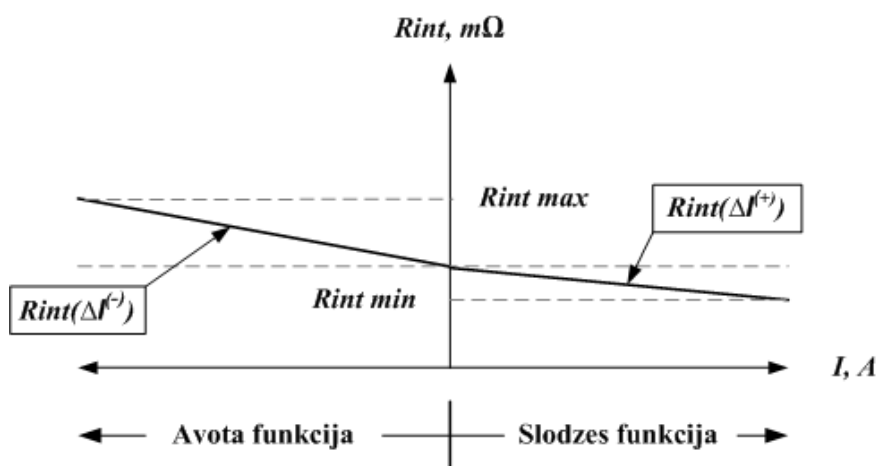
$$|\Delta C_{battery}^-| \neq |\Delta C_{battery}^+|, \quad (3.19)$$

un kā secinājums:

$$R_{int}(\Delta I^-) \neq R_{int}(\Delta I^+), \quad (3.20)$$

kur $R_{int}(\Delta I^-)$ - akumulatora iekšēja pretestība avota funkcijas laikā;

$R_{int}(\Delta I^+)$ - akumulatora iekšēja pretestība slodzes funkcijas laikā.



3.11. att. Akumulatora dualitāte

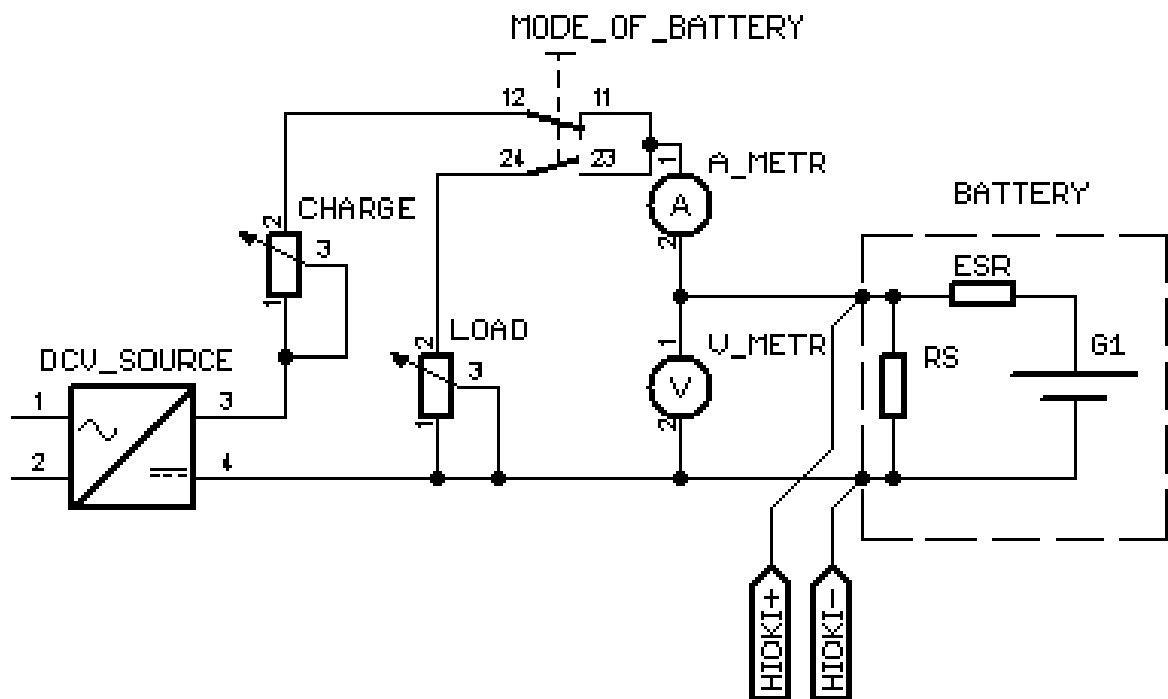
Ar mērķi paaugstināt testēšanas metodes precizitāti tika ievadītas stāvokļa noteikšanas noteikumi:

1. Testēšanas laikā baterija izpilda avota funkciju (3.18);
2. Baterijai izvēlēts noteikts testēšanas punkts $(0.1 \div 0.15) \cdot C_{battery}$ [A];
3. Iekšējās pretestības novērtēšana notiek pēc slodzes noturēšanas testa (3.5), (3.7) pozitīviem rezultātiem;
4. Akumulatora stāvoklis novērtēts pēc $R_{int}(\Delta I^-)$, tas izslēdz kļūdu, kas saistīta ar baterijas funkcijas dualitātes (3.20);
5. Izmantošanās laikā akumulators tiek izvēlēts ar nosacījumu:

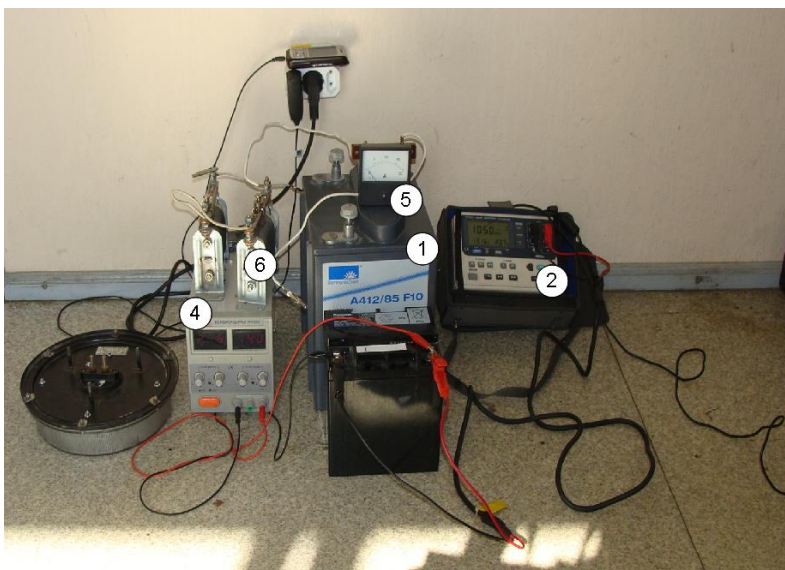
$$I_{discharge}^{load}(t) \gg I_{discharge}^{self}(t).$$

Promocija darba laikā tika paveikts eksperiments ar mērķi pārbaudīt akumulatora dualitātes ietekmi uz iekšējās pretestības novērtēšanu. Eksperimenta gaitā tiek veikti mērījumi pieciem LC-X1224APG „Panasonic” 12V/24A*st. baterijām. Mērījumi nodrošināti ar mērāparāta „HiTESTER HIOKI3551” palīdzību izmantojot eksperimenta shēmu kas parādīta 3.12. attēlā.

a)



b)



- ① - AKUMULATORS A400
- ② - AKUMULATORS LC-X1224APG
- ③ - HITESTERS HIOKI 3550
- ④ - BAROŠANAS AVOTS
- ⑤ - AMPERMETRS
- ⑥ - SLODZE

3.12. att. Eksperimenta elektriskā shēma a) un stenda fotoattēls b)

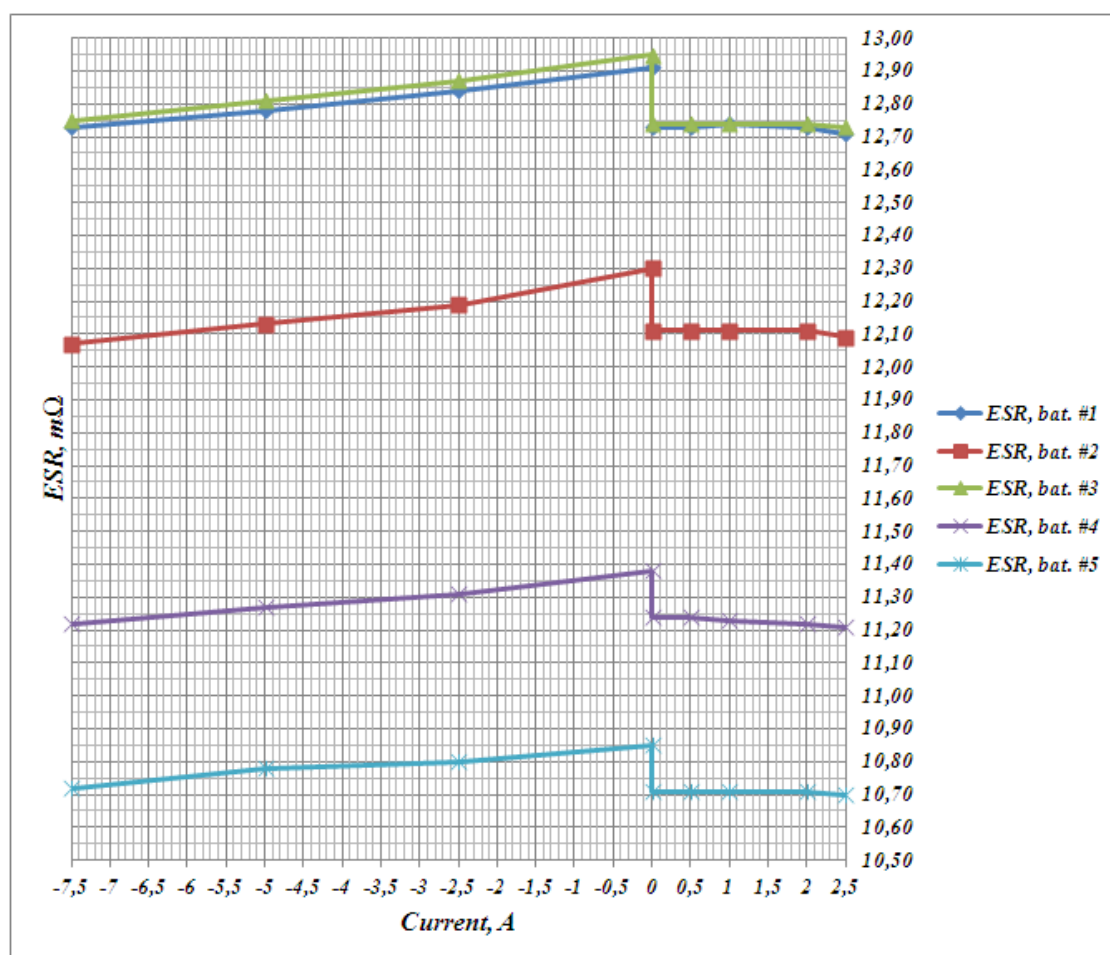
Mērījumus rezultāti sakopoti 3.3. tabulā.

Tabula 3.3.

Iekšējas pretestības 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

3.13. attēlā parādīti eksperimenta rezultāti grafiskā veidā.



3.13. att. Iekšējas pretestības atkarība no akumulatora funkcijas

ESR novērtējums normalizēts pie lieluma, kad baterijas funkcija ir noteikta tikai ar pašu izlādēšanas strāvu $ESR(0)$ (Self Discharge) (3.14. att. a)):

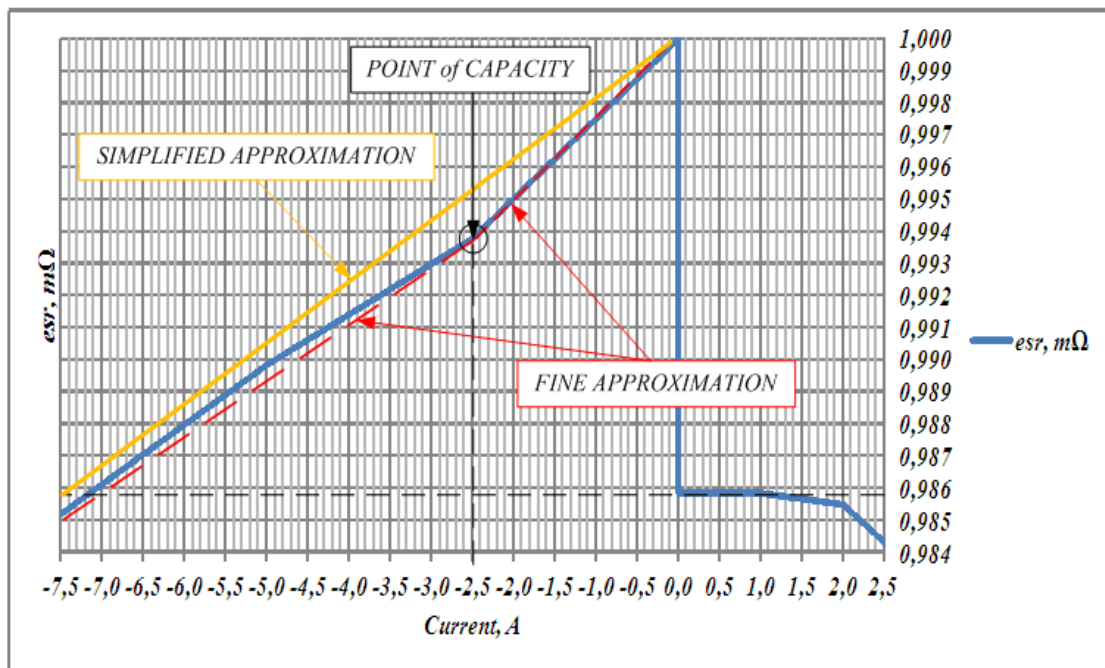
$$\overline{esr}(I) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N \frac{ESR_n(I)}{ESR(0)}, \quad (3.21)$$

kur n - baterijas numurs;

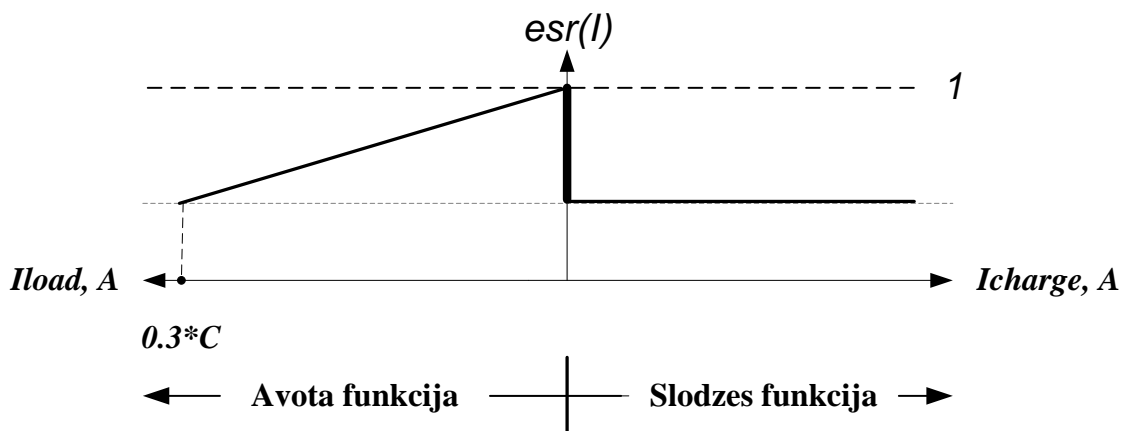
$ESR(0)$ - ESR lielums pie $I_{load} = 0$ un $I_{charge} = 0$ n -ai baterijai;

$ESR_n(I)$ - ESR lielums pie konkrētas strāvas n -ai baterijai.

a)



b)



3.14. att. Normalizētā ESR atkarība: a) eksperimentālā; b) idealizētā

Izmantojot izteiksme (2.9) un baterijas funkcijas ietekmi uz ESR var noteikt baterijas stāvokļa funkciju pēc izteiksmes testēšanas punktā $\sim 0.3 \cdot C$, kurā ESR novērtējumam nav atkarības no baterijas režīma:

$$SF_{battery} = \begin{cases} +1 & \text{if } esr(0.3 \cdot C) > esr_{max} \\ \pm 0 & \text{if } esr_{max} \leq esr(0.3 \cdot C) < esr_{min} \\ -1 & \text{if } esr(0.3 \cdot C) \leq esr_{min} \end{cases}, \quad (3.22)$$

kur $esr(0.3 \cdot C)$ – ESR normalizēts lielums testēšanas punktā $0.3 \cdot C$;

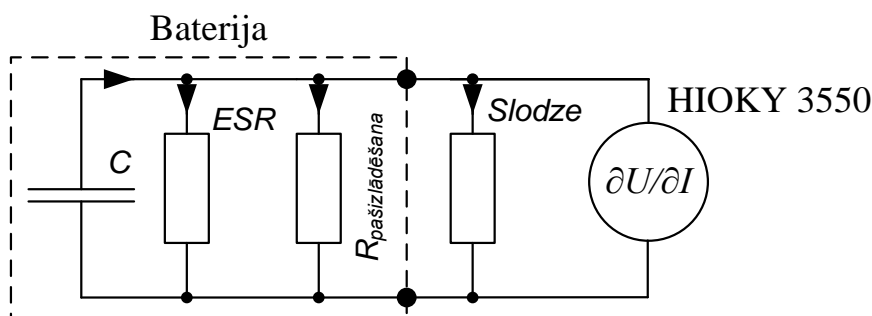
esr_{min} – ESR lieluma normalizētā minimālā robežvērtība baterijas normāla stāvokļa;

esr_{max} – ESR lieluma normalizētā maksimālā vērtība baterijas normāla stāvokļa.

Gadījumā, kad testēšanas punkts nav noteikts, bet ir noteikta avota funkcijas strāva $I_{discharge}$ un $0 > I_{discharge} \geq -(0.3 \cdot C)$, izmantojot izteiksme (3.23) iespējams pievēst $esr(I) \rightarrow esr(0.3 \cdot C)$ un izmantot izteiksme (3.22) baterijas stāvokļa funkcijas noteikšanai:

$$esr(I) \cong \frac{(ESR_{min} + \frac{|I_{discharge}|}{0.3 \cdot C} (ESR_{min} - ESR_{max}))}{ESR_{max}}. \quad (3.23)$$

Analizējot eksperimentā iegūtos rezultātus, konstatēta izlādēšanās strāvas lieluma ietekme uz ESR novērtējumu līdz pat 1%, pie HiTESTER HIOKI mērījuma precizitātes $\pm 0,8\%$ [81]. 3.12. attēlā piedāvāta ekvivalenta shēma koriģētam, bez slodzes pretestības ietekmes uz mērījumu, ESR novērtējumam.

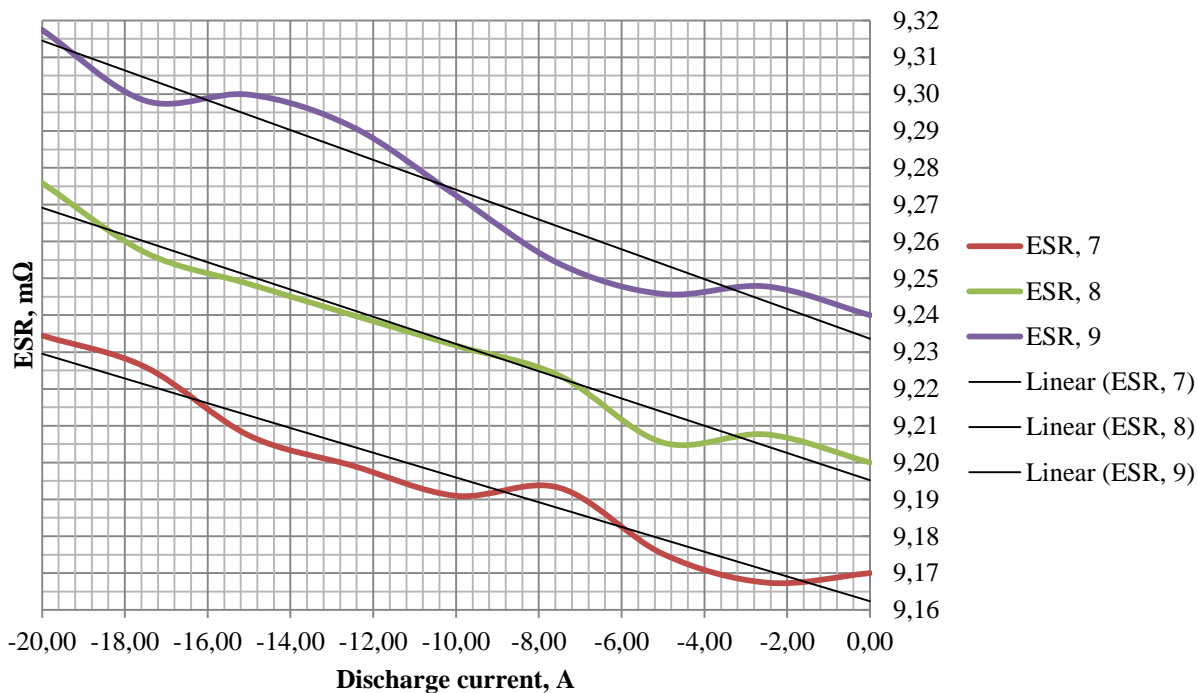


3.15. Att. ESR koriģētā novērtējuma ekvivalenta shēma

Koriģēts ESR novērtējums ir:

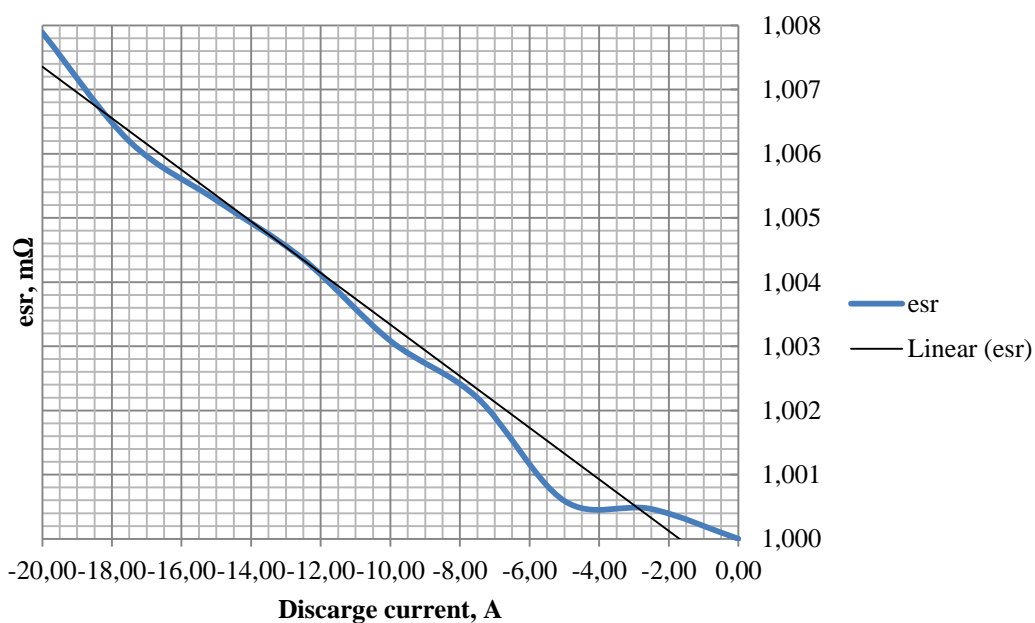
$$ESR^{corrected}(I) = \frac{ESR(I) \cdot U_{battery}(t) / I_{discharge}^{load}(t)}{U_{battery}(t) / I_{discharge}^{load}(t) - ESR(I)} = \frac{ESR(I) \cdot R_{load}(t)}{R_{load}(t) - ESR(I)}. \quad (3.24)$$

3.16. attēlā uzrādīta koriģēta ESR atkarība no izlādēšanās strāvas (3.24) A412 /80A*st. baterijai pēc 7, 8, 9 izlādēšanās cikliem, likme 7, 8, 9 atbilstoši.



3.16. Koriģēta *ESR* novērtējuma atkarība no izlādēšanās strāvas

3.17. attēlā izveidota normalizēta, pēc formulas (3.12) koriģēta *ESR* novērtējuma atkarība no izlādēšanās strāvas.



3.17. att. Normalizēta, koriģēta *ESR* novērtējuma atkarība no izlādēšanās strāvas

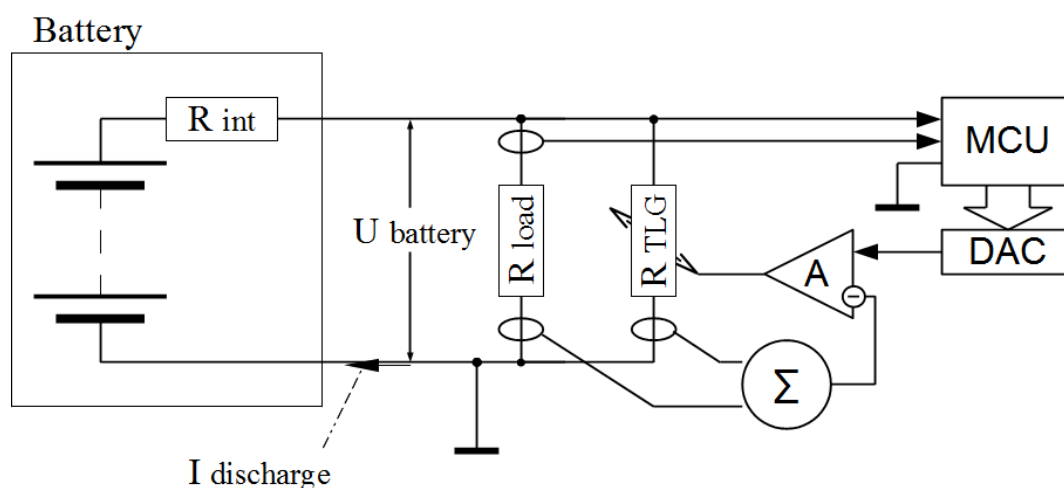
Īsa analīze ļauj secināt, ka 3.17. attēlā uzrādītā lineārā aproksimācija *Linear(esr)* un 3.11. attēlā izveidotā hipotētiskā likme pēc rakstura sakrīt, kas dod iespēju konstatēt

hipotētiskas atkarības un praktiska rakstura sakritību.

3.2.5. Iekšējās pretestības novērtēšanas algoritms

Izmantojot (3.5) un (3.7) akumulatora stāvokļa novērtēšanai ir nepieciešams, lai testēšanas punkts atrodas akumulatora avota funkcijas laikā (3.14. att.). Tāda veida tiek izslēgta barošanas avota ietekme uz mērījuma rezultātiem.

Lai sasniegtu testēšanas punktu $0.3 \cdot C$, un izmantot izteiksmi (3.23), ņemot ietekmi no pamatu slodzes mainīga rakstura $R_{load} \neq const$ ($I_{discharge}^{load}(t) \neq const$) un pašas baterijas izlādēšanas $I_{discharge}^{self}$, kā arī lai nodrošinātu slodzes strāvas ΔI^- ģenerāciju, testēšanas iekārtai nepieciešams izveidot papildu aprīkojumu, kura shēma parādīta 3.18. attēlā.



3.18. att. Papildu aprīkojuma funkcionāla shēma

Papildu aprīkojuma realizācijas funkcionālajā shēmā iekļauti:

- „Battery” – testējama baterija;
- „ R_{int} ” - testējamās baterijas iekšēja pretestība;
- „ R_{load} ” - pamatu slodze;
- „ R_{TGL} ” - adaptīvā vadāma slodze;
- „ Σ ” - pamatu un adaptīvas slodzes sensoru signālu summētājs;
- „A” - kļūdas pastiprinātājs;
- „DAC” - ciparu analogu pārveidotājs;
- „MCU” - mikrokontrolers.

- Testēšanas nosacījumi:

$$t_{battery}^{Testing} = \tau_2 + \tau_1, \quad (3.25)$$

kur τ_1 - laika intervāls pirmajā testēšanas punktā;

τ_2 – laika intervāls otrajā testēšanas punktā.

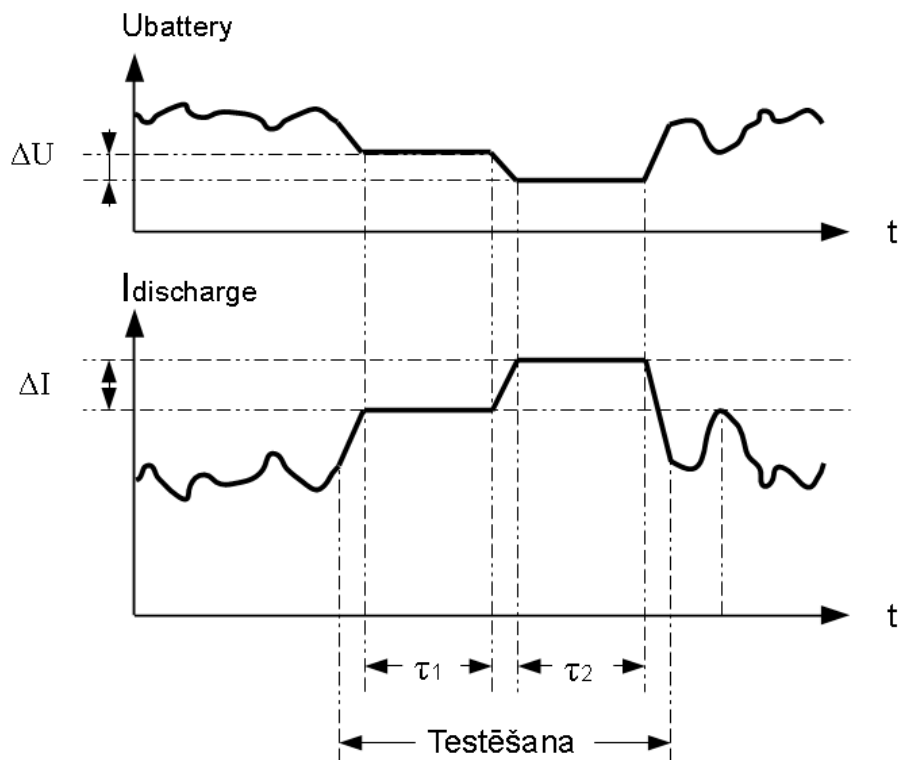
Un testēšanas laikā (3.19. att.):

$$\Delta t = \tau_2 = \tau_1. \quad (3.26)$$

$$R_{int}(\tau_2) \approx R_{int}(\tau_1), \quad (3.27)$$

kur $R_{int}(\tau_1)$ - akumulatora iekšējā pretestība laika intervālā τ_1 ;

$R_{int}(\tau_2)$ - akumulatora iekšējā pretestība laika intervālā τ_2 .



3.19. att. Testēšanas nosacījumu izpildīšanas grafiskais paskaidrojums

Papildu aprīkojuma darbība izveido analogu skaitļošanas automātu, ko ļauj izvairīties no dalīšanas operācijas mikrokontrollerī ja tiek izvēlēta strāvas izmaiņa:

$$\Delta I \ni 10^m [A], \quad (3.28)$$

kur m – multiplikācijas skaitlis.

Piemēram, $\Delta I \in (0.001, 0.01, 0.1, 1, 10)[A]$, un $m \in [-3, -2, -1, 0, +1]$. Tādā veidā, skaitliskais lielums $\Delta V [V]$ un multiplikācijas koeficients $MF [A^{-1}]$ kas atbilst $(\Delta I)^{-1}$ dod iekšējas pretestības novērtējumu:

$$R_{int}[\Omega] = \Delta V / \Delta I = \Delta V \cdot MF, \quad (3.29)$$

kur ΔV - akumulatora sprieguma izmaiņa, [V];

ΔI – slodzes strāvas izmaiņa, [A];

MF - multiplikācijas koeficients, [A^{-1}].

Multiplikācijas koeficientam MF nav fiziskas jēdziena un testēšanas rezultāts aprakstīts kā:

$$R_{int} = f(\Delta V; m). \quad (3.30)$$

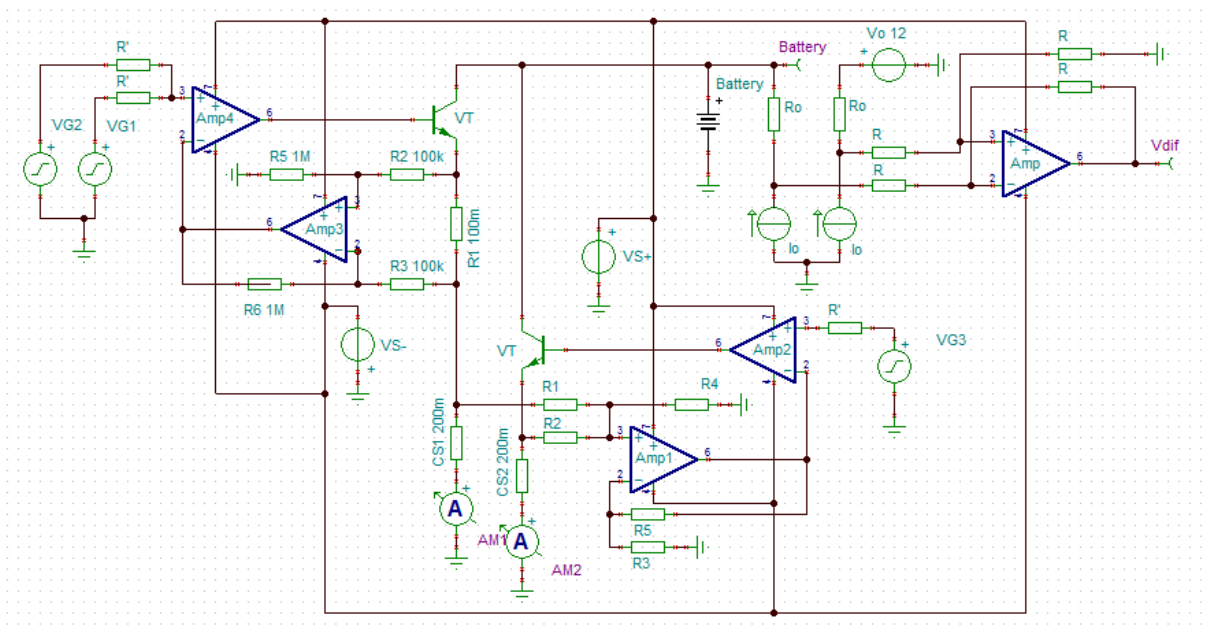
3.2.6. Papildu aprīkojuma darbības simulācija

Pilna papildu aprīkojuma simulācijas shēma piedāvātā 3.20. attēlā. Simulācijas izveidošana vide ir Texas Instruments TINA-TI V9 12V akumulatoram ar 10m Ω iekšēju pretestību.

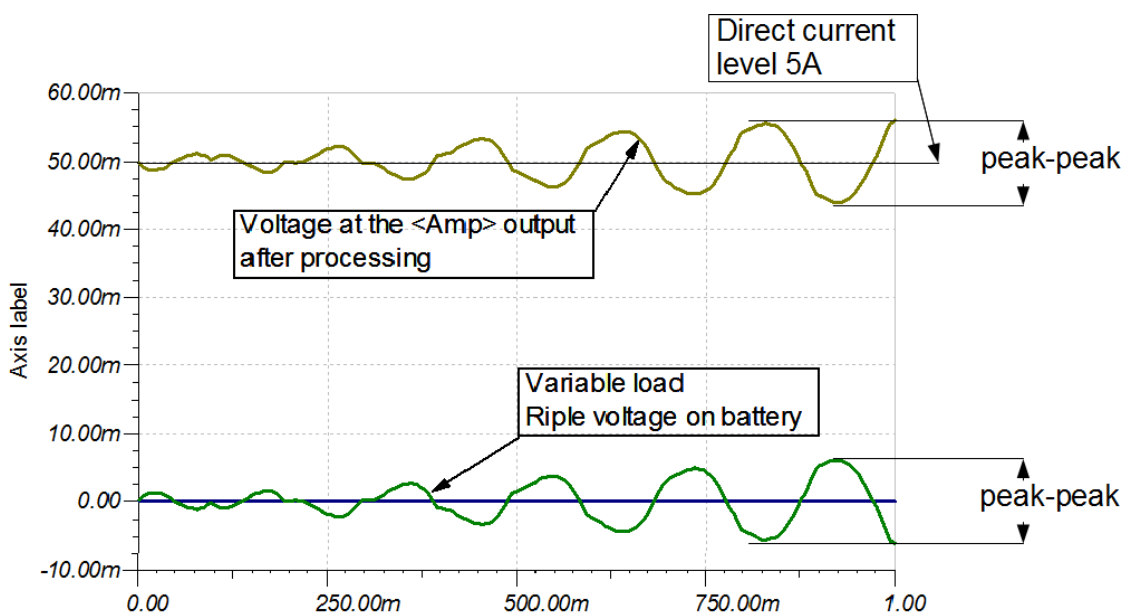
Simulācijas shēmā iekļauti:

- „Battery” - testējamais akumulators;
- „VLG” - mainīgas slodzes ģenerators (Variable Load Generator), kas sastāv no elementiem VG1, VG2, R01, R02, Amp4, Amp3, VT0, R03, R04, R05, R06, R07.
- „TLG” - sekojošs slodzes ģenerators (Tracing Load Generator), kas sastāv no elementiem CS1, CS2, VT1, R, R1, R2, R3, R4, R5, Amp1, Amp2.
- „VDA” - sprieguma izmaiņas pastiprinātājs (Voltage Differential Amplifier), kas sastāv no elementiem R0', R0'', I0', I0'', Amp, R11, R12, R13, R14.

Mainīgas slodzes ģenerators „VLG” darbības rezultāts piedāvāts 3.21. attēlā. Slodzes strāva satur līdzstrāvas 5A un pulsācijas komponentus ar maksimālu amplitūdu 1A (Peak-to-Peak). Signāls novērots sprieguma diferenciālā pastiprinātāja „VDA” izejā Vdif.

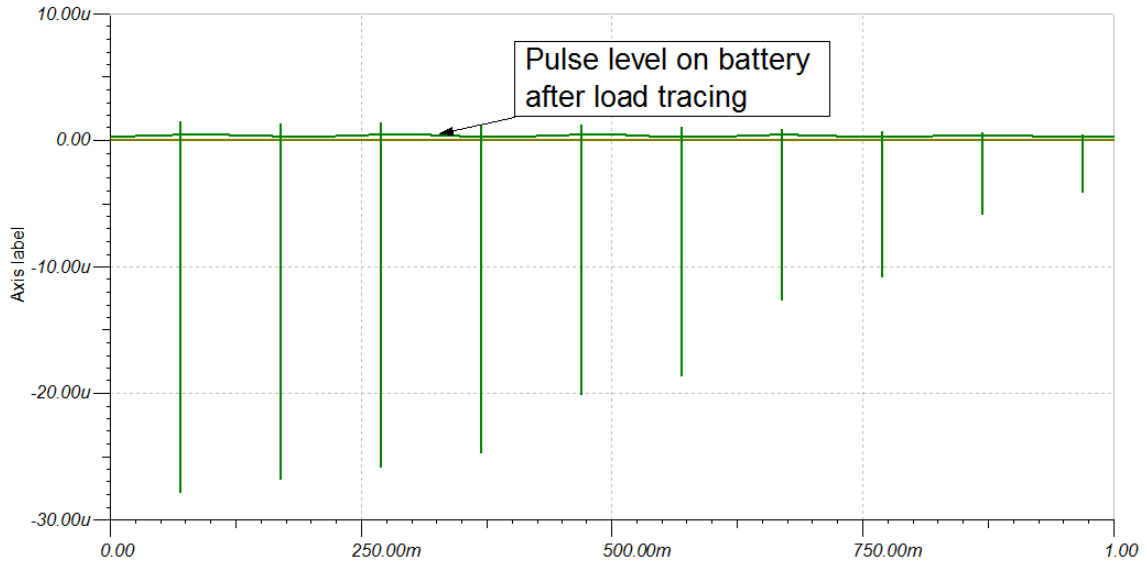


3.20. att. Simulācijas shēma



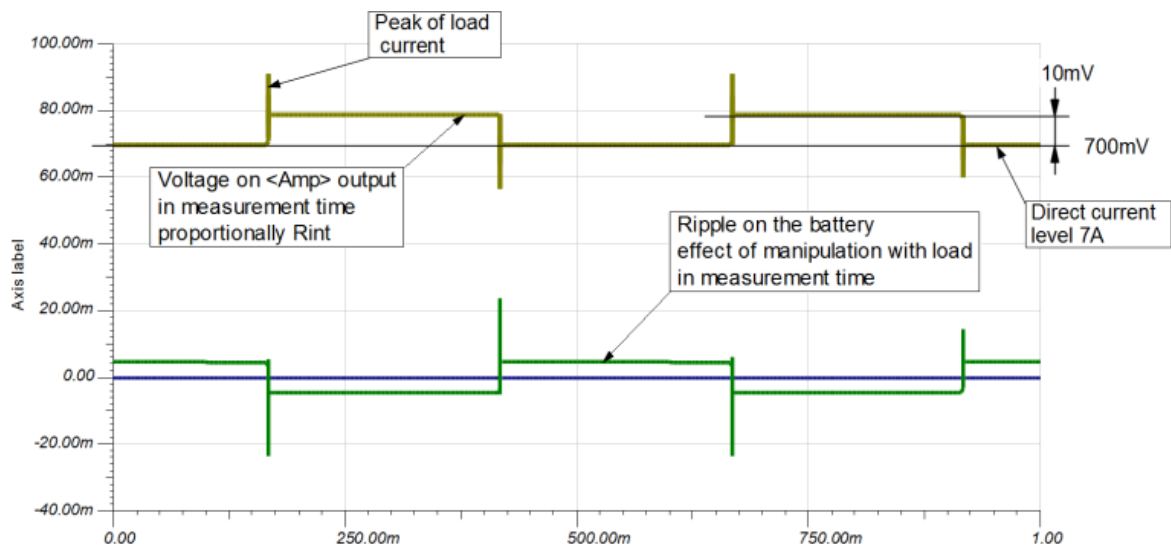
3.21. att. Mainīga slodze uz akumulatora

Pēc sekojošs slodzes ģenerators „TLG” iedarbināšanas notiek slodzes līdzstrāvas palielināšana līdz 7A un maiņstrāvas komponenta aktīva pavājināšana (Rejection) (3.22. att.). Tādā veidā, akumulatoram nodrošināts pirmais testēšanas punkts.



3.22. att. „TLG” sekojošs slodzes ģenerators darbība

Otrais testēšanas punkts nodrošināts izmantojot multiplikācijas skaitli $m=0$, kas dod multiplikācijas koeficienta $MF=1$ vērtību un slodzes strāvas pieaugumu uz 1A (3.20. att.) līdz 8A, kas ir (3.29) noteikuma izpildīšana.

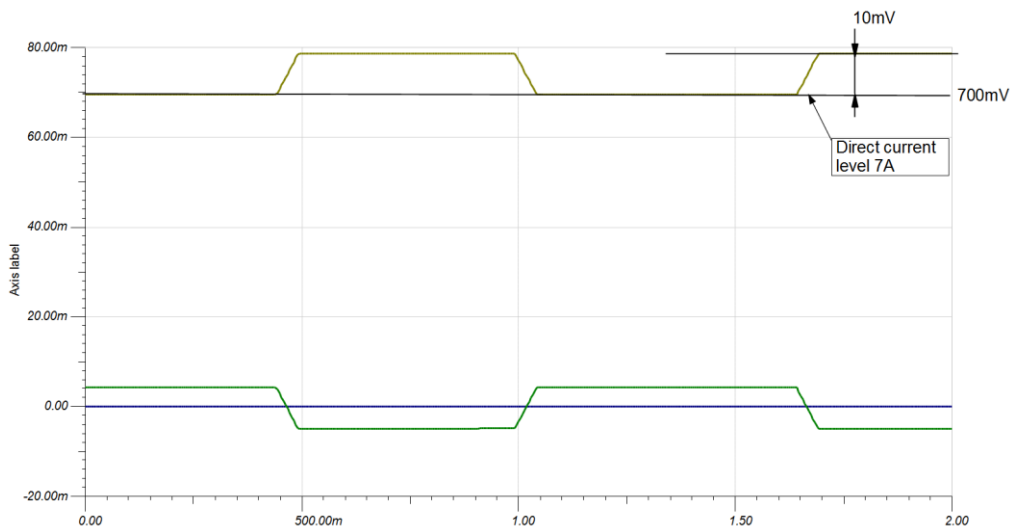


3.23. att. Iekšējas pretestības novērtējums izmantojot slodzes manipulāciju

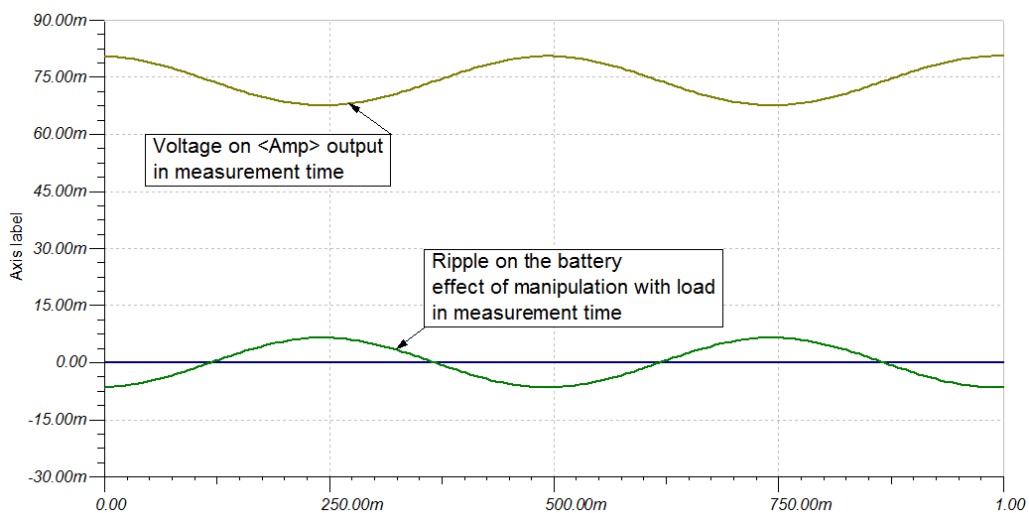
Pēc (3.29): $R_{int} = \Delta V \cdot MF = 10[m\Omega]$, un pēc (3.30.) iekšējas pretestības novērtēšanas rezultāts ir $R_{int} = f(10mV; 0)$.

3.23. attēlā diagrammas analīze rada, ka lēcienā viedīga manipulēšana ar slodzi testēšanas laikā veido nekontrolējamus slodzes strāvas piķus testēšanas punktos maiņas momentos. Tas saistīts ar signālā izmaiņas ātruma ierobežojumiem operacionālajos pastiprinātajos, kas pārtrauc atgriezeniskas regulējošās saites darbību (Control Loop).

Simulācijas laikā pierādīts, ka izmantojot trapeces veida (3.24. att.) vai harmonisko likumu (3.25. att.) slodzes manipulēšanai abos gadījumos nekontrolējamie pīki nav novēroti.



3.24. att. Trapeces veida likums slodzes manipulēšanai



3.25. att. Harmoniskai likums slodzes manipulēšanai

3.3. Secinājumi

- bufera baterijas izmantošanas īpašības pieprasa instrumentus un metodes, kas ļauj kontrolēt darbospējīgu stāvokli slodzes funkcijas un avota funkcijas laikā;
- akumulatora dualitāte nosaka veidot slodzes noturēšanas testēšanu vienlaicīgi ar iekšējas pretestības novērtējumu un pieprasa akumulatora ievēšanu testēšanas punktā un funkcijas ietekme uz iekšējas pretestības novērtējumu;
- IEC896 un IEC512 standartos iekšējas pretestības fiziskais jēdziens nav vienlīdzīgs un diagnosticēšanas metodes abos gadījumos ir atšķirīgi;
- atlikuša kapacitātes novērtēšana $C_{battery}^{residual}$ pieprasa sākotnējās kapacitātes novērtējumu $C_{battery}^{initial}$;
- iekšējas pretestības R_{int} (3.16.) novērtējums pieprasa $I_{discharge}^{load}$ un $U_{battery}$ izmaiņas mērīšanu;
- praktiski, R_{int} vai ESR novērtējums ir universāls unikāls parametrs akumulatora stāvokļa novērtēšanai, ja ir zināma savstarpēja saiknē $C_{battery}^{residual} = f(R_{int})$.

4. JAUNĀ PIEEJA DZATS PAMATELEMENTU PARAMETRISKAJĀ DIAGNOSTICĒŠANĀ

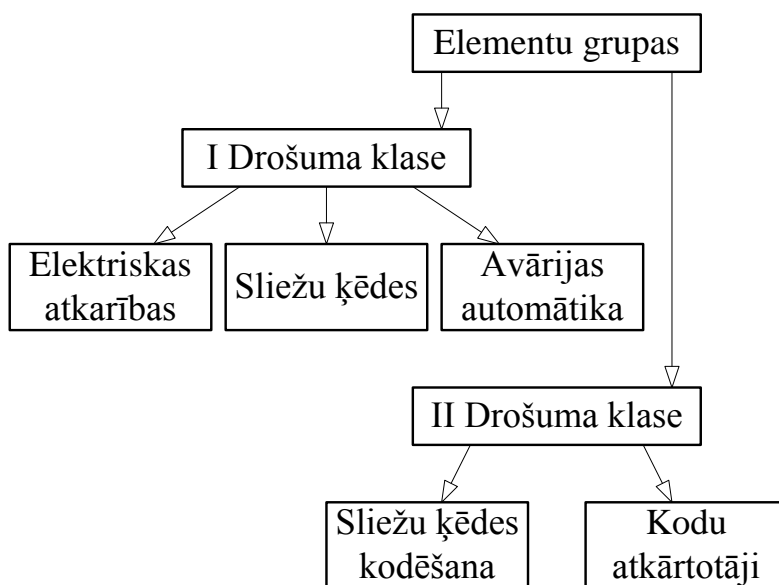
4.1. Dzelzceļa automātikas un telemātikas pamatelementi

Dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmas nodrošina nepārtrauktu pārvadājumu procesu, garantējot augstu kustības drošību. Neskatoties uz strauju mikroelektronikas un mikroprocesoru tehnikas attīstību un izmantošanas tendencēm, pārsvarā visas pagājušās paaudzes sistēmas un liela daļa jaunās paaudzes sistēmu savā shematiskajā risinājumā pielieto dažāda tipa relejus kā izpildelementus.

Relejs kā pārslēdzošais elements pastāv jau vairākus simtus gadu un pa šo laiku ir attīstījies gan konstruktīvā līmenī, gan drošuma ziņā. Pāreja uz mikroprocesoru vadības sistēmām ar pusvadītāju elementiem (spēka tranzistori, tiristori, optroni utt.) kā spēka komutācijas ierīcēm ir saistīta ar dažādiem apgrūtinājumiem, it īpaši drošuma ziņā, kas ir primārais dzelzceļa kustības vadības sistēmām.

Dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmās izmantotos relejus pēc drošības rādītājiem var sadalīt divās grupās (4.1. att.):

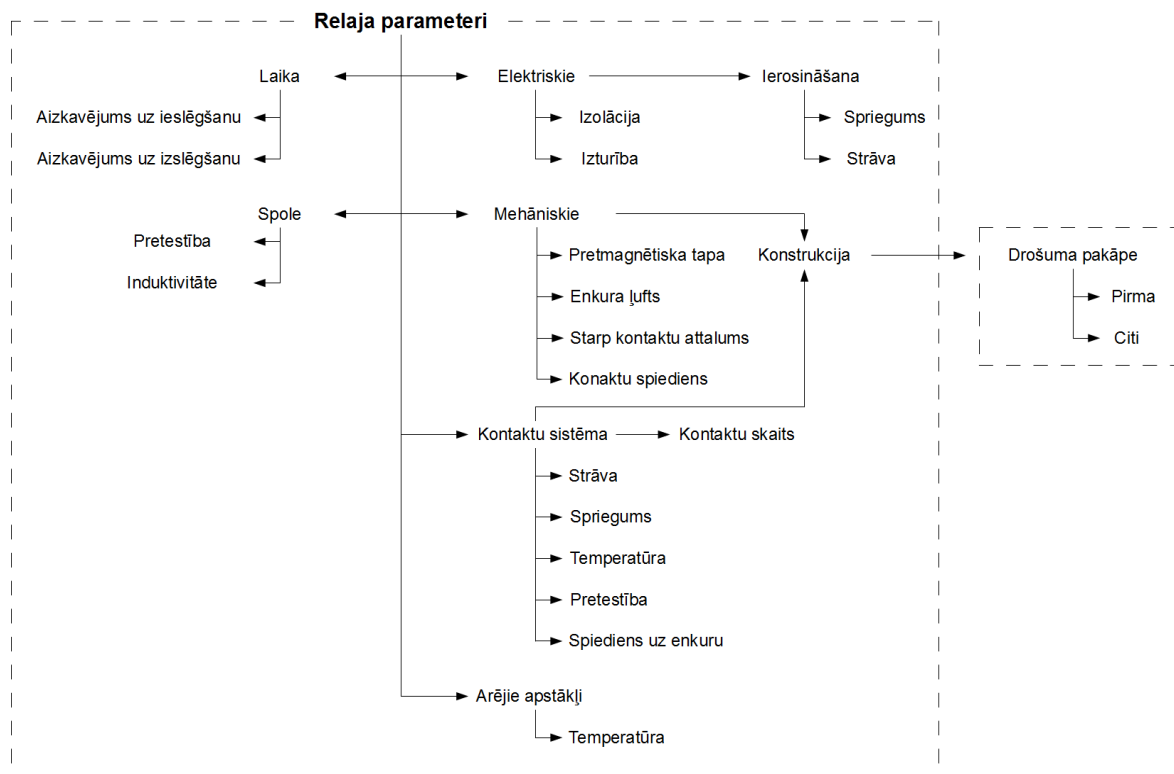
1. Pirmās drošuma klases releji (First Class of Safety – I);
2. Otra drošuma klases (Second Class of Safety – II).



4.1. att. Releju klasifikācija un pielietojums atbilstoši drošuma pakāpei

Pie pārējiem relejiem tiek pieskaitīti visu citu tipu un konstrukcijas releji, kas nevar nodrošināt $10^{-10} > \lambda_{B.AT.} > 10^{-12}$. Viens no visplašāk izmantotajiem releju tipiem ir impulsvēda relejs, kas nodrošina ļoti svarīgas funkcijas dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmās.

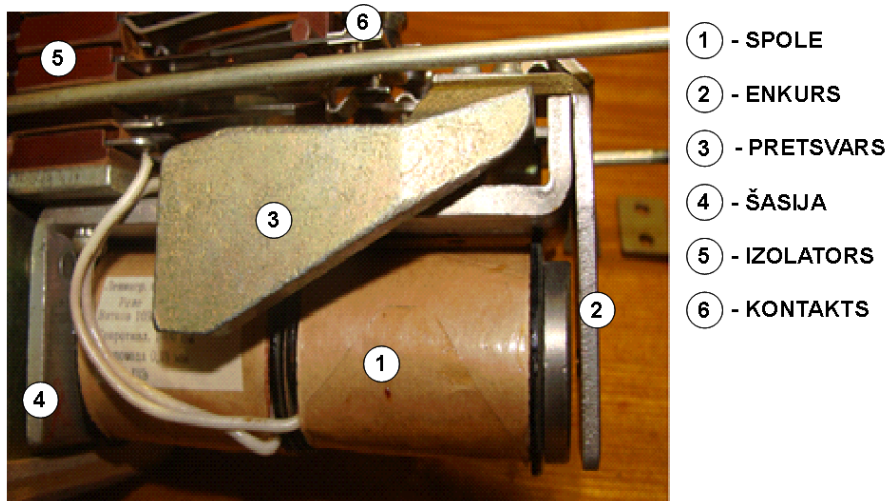
Releja parametrus (4.2. att.) nosaka pielietojanas sfēra [79]. Pirmās drošuma klases relejam drošums ir primārais parametrs, bet ātrdarbība ir otrais pēc nozīmes parametrs. Savukārt specializētiem impulsvēda relejiem tas ir viens no svarīgākajiem parametriem.



4.2. att. Releju parametri

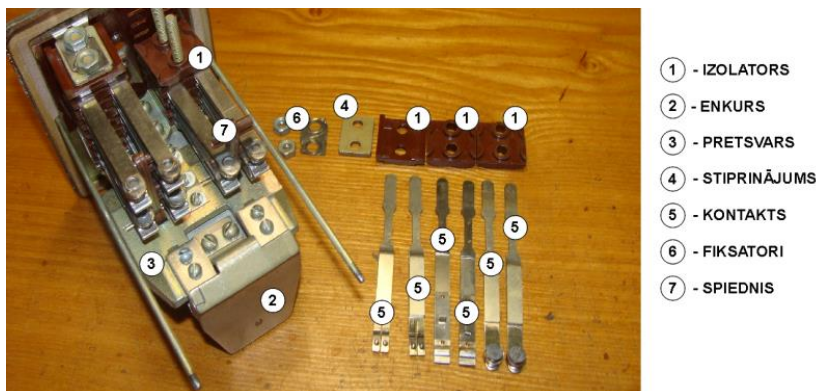
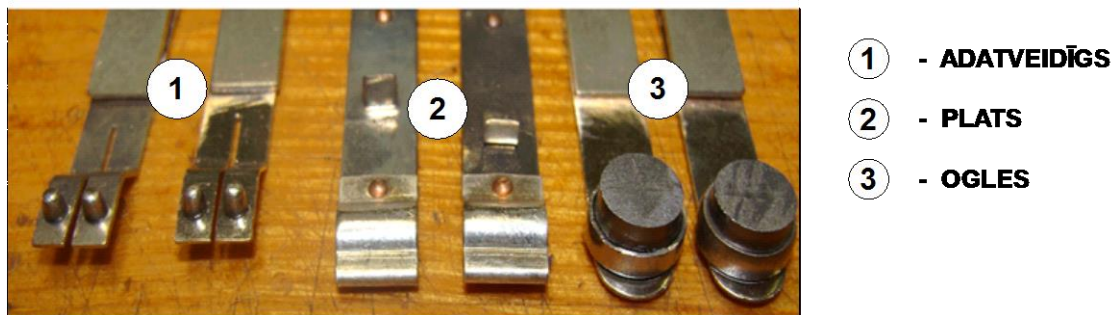
4.2. Pirmās drošuma klases releju diagnosticēšana

Pirmās drošuma klases releji tiek izmantoti kā bāzes elementi elektriskās centralizācijas atbildīgo shēmu veidošanai [30]. Drošuma pakāpe tiek sasniegta kontaktu sistēmā ar aizsardzību pret sametināšanos, bet elektromehāniskā sistēmā ar garantēto enkura atkrišanu, pateicoties atsvaram (Counterweight) (4.3. att.). Drošuma prasība ir garantēta kontakta stāvokļa maiņa (On -> Off) pie vadības signāla izslēgšanas jebkādos ekspluatācijas apstākļos un tai jābūt nodrošinātai ar konstrukciju.



4.3. att. Elektromehāniskā sistēma

I drošuma klases relejiem noteikta TBM apkalošanas tehnoloģija ar periodiskumu reizi 10 gados. Tādējādi, gan izmantošanas sfēra, gan konstruktīvās īpašības (4.4. att.), gan ilgstošs garantētais darbības laiks ierobežo diagnosticēšanas papildaprīkojuma izveidošanu DzATS vadības aparātūras daļā. Tādā veidā ir arī ierobežota CBM tehnoloģiju izmantošana šajos elementos.



4.4. att. Kontaktu sistēma un tās konstrukcija

I drošuma klases releju tehnisko parametru pārbaude tiek nodrošināta ar specializēto datorizēto pārbaudes aprīkojumu (4.5. att.) [28][79]. Šis aprīkojums ir paredzēts izejas kontroles procedūras automatizēšanai.



4.5. att. Datorizēts pārbaudes aprīkojums

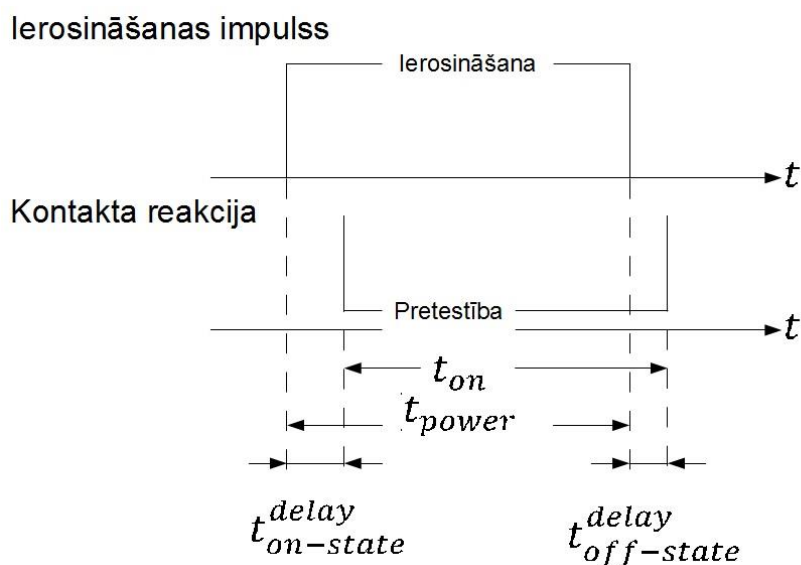
Autors ir iepazinies ar augstāk minēto aprīkojumu un tā izmantošanu remonta-tehnoloģiskajā iecirknī un ir secinājis, ka to iespējams izmantot rūpnieciskos apstākļos releju ražošanas etapā un tas nav paredzēts masveida mobilās diagnostikas apakšsistēmas izveidošanai.

4.3. Impulsu releju darbības īpašības

Impulsu relejs, kā jau iepriekš tika minēts, tiek pieskaitīts pie citas drošības klases relejiem, tomēr tam piemīt konstruktīva īpašība - releju konstrukcijā izmantoti daži I drošuma klases risinājumi drošuma paaugstināšanai.

Impulsu relejam svarīgākais parametrs ir ātrdarbība un translētā impulsa saīsināšana [37]. Impulsa saīsināšana saistīta ar impulsu releja inerciālajām īpašībām (4.6. att.). Lai saglabātu shēmas kopējo stabilitāti, saīsināšana ir normēts parametrs. Impulsa saīsināšana atkarīga no diviem laika aizkavēšanas lielumiem: aizkavēšana uz enkura pacelšanu un

aizkavēšana uz enkura atlaišanu. Jāmin, ka eksistē releji ar speciāli izveidotu konstrukciju impulsa pagarināšanai.



4.6. att. Inerciālas īpašības ietekme uz kontakta reakciju

Impulsa saīsināšana tiek aprēķināta kā:

$$\Delta t = (t_{power} - t_{on}^{delay} + t_{off}^{delay}) - t_{on}, \quad (4.1)$$

kur t_{on} – kontakta saslēgta stāvokļa laiks;

t_{power} – vadības signāla laiks;

t_{on}^{delay} – laika aizkavēšana uz enkura pacelšanu;

t_{off}^{delay} – laika aizkavēšana uz enkura atlaišanu.

Gadījumā, kad $\Delta t \rightarrow 0$ impulsa translācija notiek bez kropļojumiem.

Laika raksturojumu stabilitātes nosacījums:

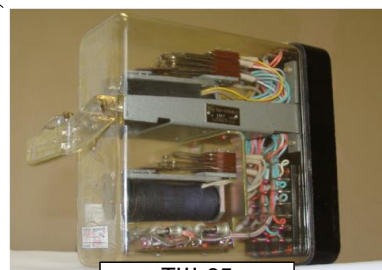
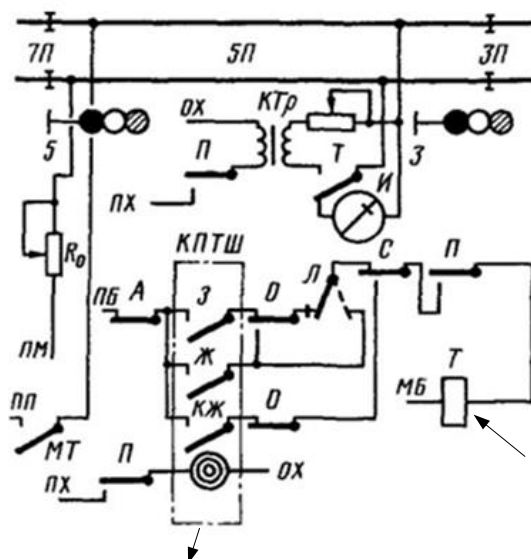
$$t_{on}^{delay} = const \ \& \ t_{off}^{delay} = const \quad (4.2)$$

Saistībā ar izmantošanas sfēru, impulsu releju kontakti un elektromehāniskā daļa tiek pakļauti „ātrām” nolietojumam (Wearing).

Piemērām, impulsu relejs-atkārtotājs TIII-65B (att. 4.7.) ar vidēju iedarbes intensitāti, kods „Z”, 3 reizes 1.6 sekundē frontu kontakti, ar komutējumu jaudu $300V \cdot A$, sasniedz galējo stāvokli jeb 42 000 000 iedarbes pēc 243 dienām. Reālajos apstākļos releja iedarbes

intensitāte ir mazāka. Latvijas dzelzceļā ТШ-65B tiek mainīta uz atjaunotu 1 reizi gadā (TBM). Rēķinoties ar daļējo atjaunošanās remontu, releju resurss tiek samazināts reiz pa reizi (RUL).

Konstatēts, ka saistībā ar pielietojšanas sfēru impulsu releju kontakti un elektromehāniskā daļa pakļauti „ātram” nolietojumam (Wearing). Piemēram, impulsu relejs-atkārtotājs ТШ-65B (4.7. att.) ar maksimālo iedarbes intensitāti 2 reizes vienā sekundē, ar darba kontaktiem, kas nodrošina 300V*A komutējamu jaudu, sasniedz galējā nolietojuma stāvokli pēc 42 000 000 ieslēgšanas/izslēgšanas reizēm, jeb pēc 243 dienām. Latvijas dzelzceļā ТШ-65B tiek mainīts uz atjaunojamu vienu reizi gadā (TBM tehnoloģija). Rēķinoties ar daļējas atjaunošanas remontu, releju resurss no reizes uz reizi tiek mazināts (Remain Usefull Life - RUL).



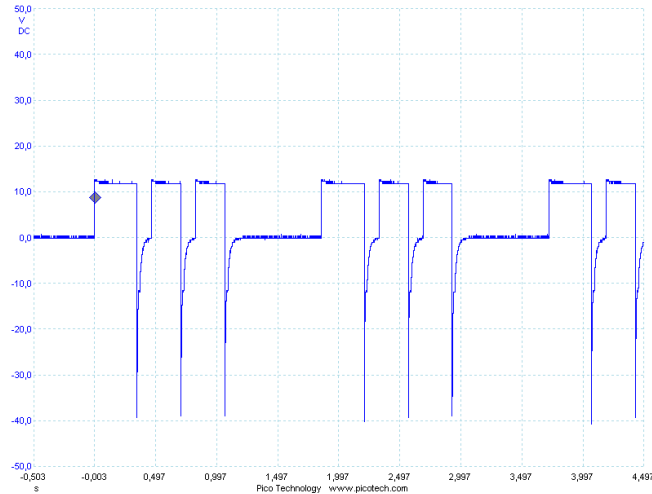
Kodu devēja tips	I		II		III		Secības periods
	Impulss	Intervāls	Impulss	Intervāls	Impulss	Intervāls	
515 «Sk.Dz.»	230 msec	570 msec	-----	-----	-----	-----	1600 msec
515 «Dz.»	380 msec	120 msec	380 msec	720 msec	-----	-----	
515 «Z.»	350 msec	120 msec	220 msec	120 msec	220 msec	570 msec	
715 «Sk.Dz.»	300 msec	630 msec	-----	-----	-----	-----	1860 msec
715 «Dz.»	350 msec	120 msec	600 msec	790 msec	-----	-----	
715 «Z.»	350 msec	120 msec	240 msec	120 msec	240 msec	790 msec	

4.7. att. Relejs-atkārtotājs ТШ-65

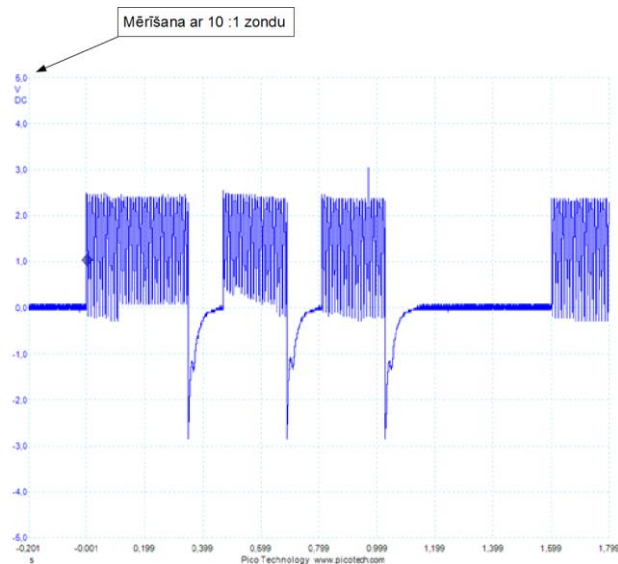
Tādēļ funkcionālās diagnostikas paņēmieni izmantošana tāda veida releja diagnosticēšanai nevarēs nodrošināt informāciju par elementa kritisko stāvokli un nedos iespēju pāriet pie CBM apkalpošanas tehnoloģijas.

4.4. Pārejas procesi releja tinumā

Pēc releja uzbūves un darbības principa ir zināms, ka vislabvēlīgākais režīms ir pie līdzstrāvas barošanas. 4.8. attēlā un 4.9. attēlā ir parādīti osciloskopa ekrāni, analizējot sprieguma līkni releja spolē darbības laikā.



4.8. att. TIII-65 releja ierosināšana ar līdzstrāvu

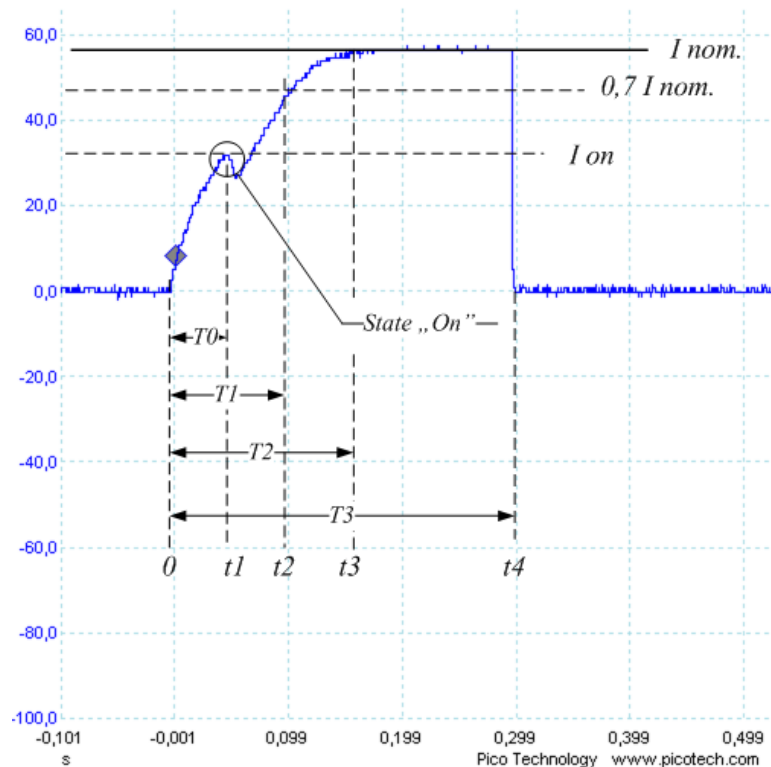


4.9. att. TIII-65 releja ierosināšana no divarpus periodu taisngrieža

4.10. attēlā ir parādīts osciloskopa ekrāns, analizējot strāvas līkni uz 2.2Ω strāvas sensora. Analizējot iegūto oscilogrammu, var pamanīt, ka pēc ierosinājuma spoles strāvas I

pieaugšana notiek tuvu eksponenciālajam līkumam laika intervālā $T2$, izņemot laika momentu $t1$. Enkura pievilkšana notiek pa $T0$ intervāla laiku.

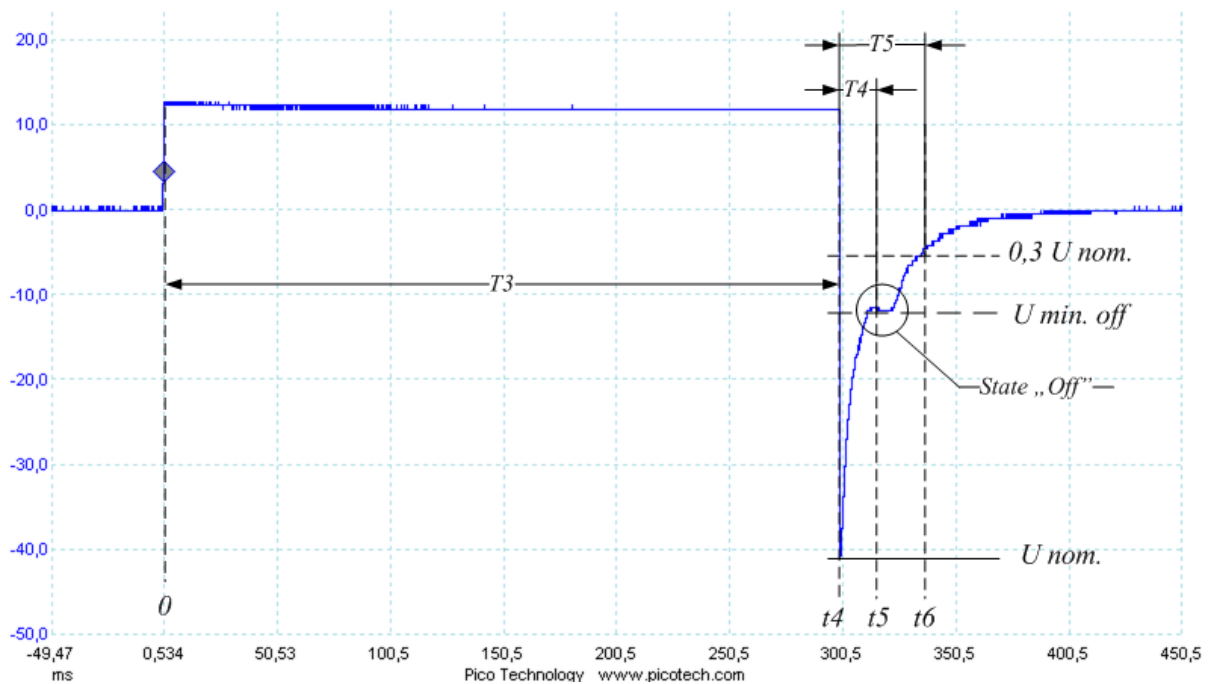
Pieaugšanas laiks $T1$ līdz apmēram 70% līmenim no nominālās strāvas I_{nom} noteikts ar spoles induktivitāti, bet laika moments $t1$ noteikts ar elektromehāniskās sistēmas konstrukciju. Laika momentā $t3$ ierosināšana tiek izslēgta.



4.10. att. Releja spoles ierosināšanas strāvas forma

Pēc ierosināšanas izbeigšanas magnētiskā enerģija, kas bija uzkrāta spoles induktivitātes laukā intervālā $T3$, izveido sprieguma impulsu (4.11. att.). Laika momentā $t5$ novērota enkura atkrišanas ietekme uz pārejas procesu.

„Atslēgšanas” impulsa novērojums ir vairāk piemērots diagnosticēšanas jautājumā, jo impulsa jauda ir pietiekoša, lai reģistrētu signāla izmaiņu, pie tam signāls nebūs atkarīgs no releja barošanas strāvas veida (4.8. att. un 4.9. att.).



4.11. att. Pārejas process releja spolē pēc ierosinājuma noņemšanas

Laika intervālā $T3$ ir iespējams izskaitļot spoles un tās ķēdes pretestību:

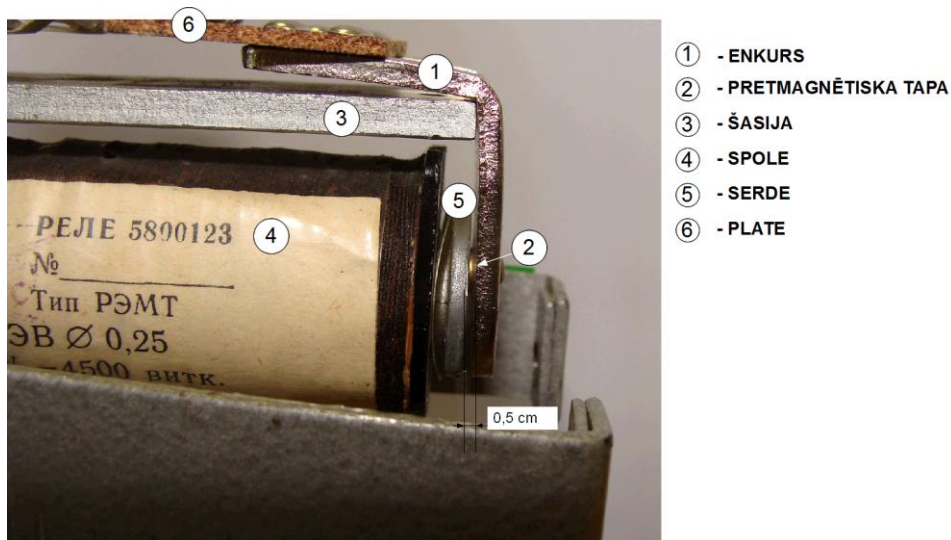
$$R_{coil} = \frac{U_{nom.}}{I_{nom.}}, \quad (4.3)$$

kur $U_{nom.}$ – spriegums uz spoles;

$I_{nom.}$ - strāva spolē.

4.5. Enkura diagnosticēšana

Uz laika raksturojumu stabilitāti (nosacījums (4.2)), no elektromehāniskas sistēmas puses ietekme enkura izlietojums kopā ar kontaktu spiedienu uz enkuru. Atjaunošanas remonta laikā enkura pretmagnētiskā tapa Δ [mm] (4.12. att.) (Hardening, Antimagnetic Pin) tiek izmērīta ar mikrometra palīdzību un notiek enkura brīv kustības regulēšana. Pretmagnētiskās tapas atļautais lielums $\Delta \geq 1\text{mm}$. Kontakta spiediens Pr [N/m] tiek regulēts katram kontaktam, lai sasniegtu noteiktās robežas $0,25 \div 0,30$ [37].



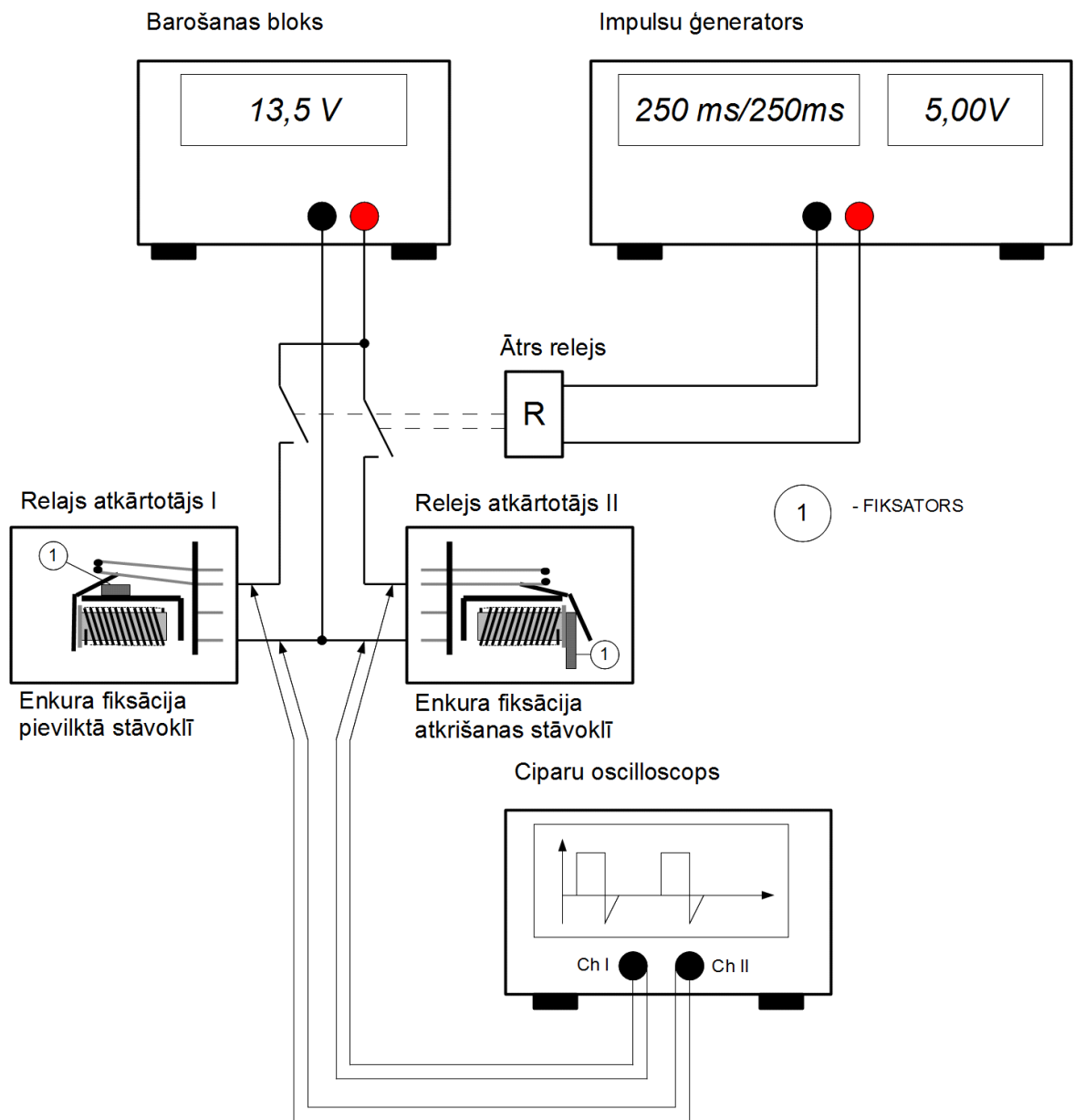
4.12. att. TIII-65 enkurs ar pretmagnētisko tapu

Releja-atkārtotāja nostrādes intensitāte nosaka pretmagnētiskās tapas nolietojanos un kontaktu spiediena samazinājumu. Reālā laikā, kad notiek aparātūras funkcionēšana, Δ un Pr mērīšana nav iespējama. Tādā veidā, apkalpojot releju-atkārtotāju pēc TBM tehnoloģijas un mainot uz atjaunotu nevis jaunu elementu, paaugstinās Δ un Pr parametru pieļaujamās robežas pārsniegšanas varbūtība un kā rezultāts - vadības sistēmas nestabila darbība.

Promocijas darbā paveikts mērījumu eksperiments un dabūta jauna oriģināla releja ekvivalenta shēma, kas turpmāk var tikt izmantota diagnostikas apakšsistēmā.

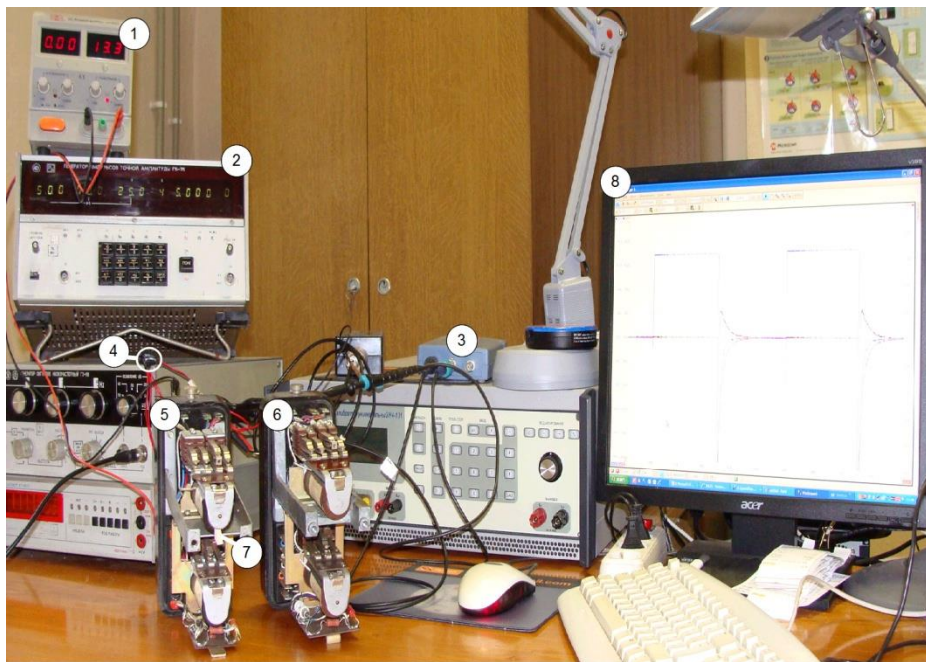
Eksperimenta nosacījumi ir:

1. Releja TIII-65B ierosināšana notiek ar līdzstrāvas sprieguma impulsiem ar amplitūdu 13.5V un ilgumu 250ms;
2. Eksperimenta veikšanai tiek izmantota shēma, kas veido pulsa pāri (4.13. att.), kas sastāv no precīzā laika impulsu ģeneratora un ātra releja ar $\Delta t \cong 0$ pēc izteiksmes (4.1);
3. TIII-65B induktivitātes mērījumi tiek veikti ar Peak LCR40 mērītāju [82];
4. Signāla reģistrācijai izmantots Pico 2200 ciparu osciloskops.



4.13. att. Eksperimenta shēma

Eksperimenta stends parādīts 4.14. attēlā.



- 1 - BAROŠNAS AVOTS
- 2 - ĢENERATORS
- 3 - CIPARU OSCILLOSCOP
- 4 - ĀTRIS RELEJS
- 5 - RELEJS I
- 6 - RELEJS II
- 7 - FIKSATORS I
- 8 - MONITORS

4.14. att. Eksperimenta stends

Lai novērtētu enkura ietekmi uz kopējo releja sistēmas spole-enkurs induktivitāti, nepieciešams aprakstīt enkura dažādos stāvokļus:

$$L^1 = L_{coil} + L_{anchor\ on}(\Delta) \quad (4.4)$$

$$L^2 = L_{coil} + L_{anchor\ off} \quad (4.5)$$

$$L^3 = L_{coil} , \quad (4.6)$$

kur L_{coil} - serdes induktivitāte bez enkura;

$L_{anchor\ on}(\Delta)$ – induktivitāte, kas veidojas enkura pievilktā stāvokļa rēķinā visa barošanas impulsa laikā;

$L_{anchor\ off}$ - induktivitāte, kas veidojas enkura atlaistā stāvokļa rēķinā visa barošanas impulsa laikā.

Eksperimentā iegūtie dati ir apkopoti 4.1. Tabulā

Tabula 4.1.

Induktivitātes mērījumu rezultāti ar $\Delta = 0,5\text{ mm}$

N	L^1 , mH	L^2 , mH	L^3 , mH	N	L^1 , mH	L^2 , mH	L^3 , mH
1	347.8	347.8	346.0	6	348.9	347.0	346.8
2	348.2	348.0	346.3	7	348.8	347.0	346.7
3	348.4	347.5	346.7	8	348.4	347.2	346.7
4	348.6	347.2	346.8	9	348.4	347.1	346.6
5	348.7	347,0	346.8	10	348.8	347.1	346.8

Tabula 4.2.

Induktivitātes mērījumu rezultāti ar $\Delta = 0,6 \text{ mm}$

N	L^1 , mH	L^2 , mH	L^3 , mH	N	L^1 , mH	L^2 , mH	L^3 , mH
1	348.0	347.6	345.6	6	347.6	346.8	345.8
2	347.4	346.9	345.8	7	347.8	346.6	346.0
3	347.1	346.4	345.6	8	348.3	347.3	346.2
4	347.4	346.8	345.8	9	348.2	347.8	346.3
5	347.6	346.9	345.8	10	348.2	347.7	346.4

Tabula 4.3.

Induktivitātes mērījumu rezultāti ar $\Delta = 0,7 \text{ mm}$

N	L^1 , mH	L^2 , mH	L^3 , mH	N	L^1 , mH	L^2 , mH	L^3 , mH
1	348.7	348.2	346.0	6	349.2	347.6	346.3
2	348.6	347.6	346.2	7	349.5	347.6	346.4
3	349.2	347.2	346.3	8	349.2	347.8	345.6
4	349.4	347.4	346.2	9	349.0	347.6	345.8
5	349.2	347.6	346.4	10	348.5	348.0	346.0

Mērījumu kļūda tiek novērtēta pēc Kornfielda metodes (vienmērīgs sadalījums):

$$\Delta L = \frac{L_{max} - L_{min}}{2}, \quad (4.7)$$

kur L_{max} - maksimālais mērījuma rezultāts; L_{min} - minimālais mērījuma rezultāts.

Tabula 4.4.

Induktivitātes mērījumu apstrādes rezultāti

N	Δ , mm	\bar{L}^1	ΔL^1	\bar{L}^2	ΔL^2	\bar{L}^3	ΔL^3	$L_{anchor\ on}(\Delta)$
1	0,5	348.5	0.5	347.3	0.5	346.	0.4	1.2
2	0,6	347.8	0.6	347.7	0.4	345.	0.4	1.3
3	0,7	349.1	0.5	347.7	0.5	346.	0.4	3.0

Analizējot mērījuma rezultātus, var secināt, ka lielumu starpība $L^1(\Delta) - L^2$, kas noteikta ar enkura pretmagnētisko tapu Δ [mm], ir samērojama ar mērīšanas līdzekļa kļūdu $\pm 1\%$ [81] un nevar tikt izmantota enkura stāvokļa noteikšanai kā ticams novērtējums. 4.15. attēlā parādīts enkura klātbūtnes efekts (Effect of Anchor) releju testēšanas laikā, izmantojot 4.13. attēlā parādīto eksperimentālo shēmu.

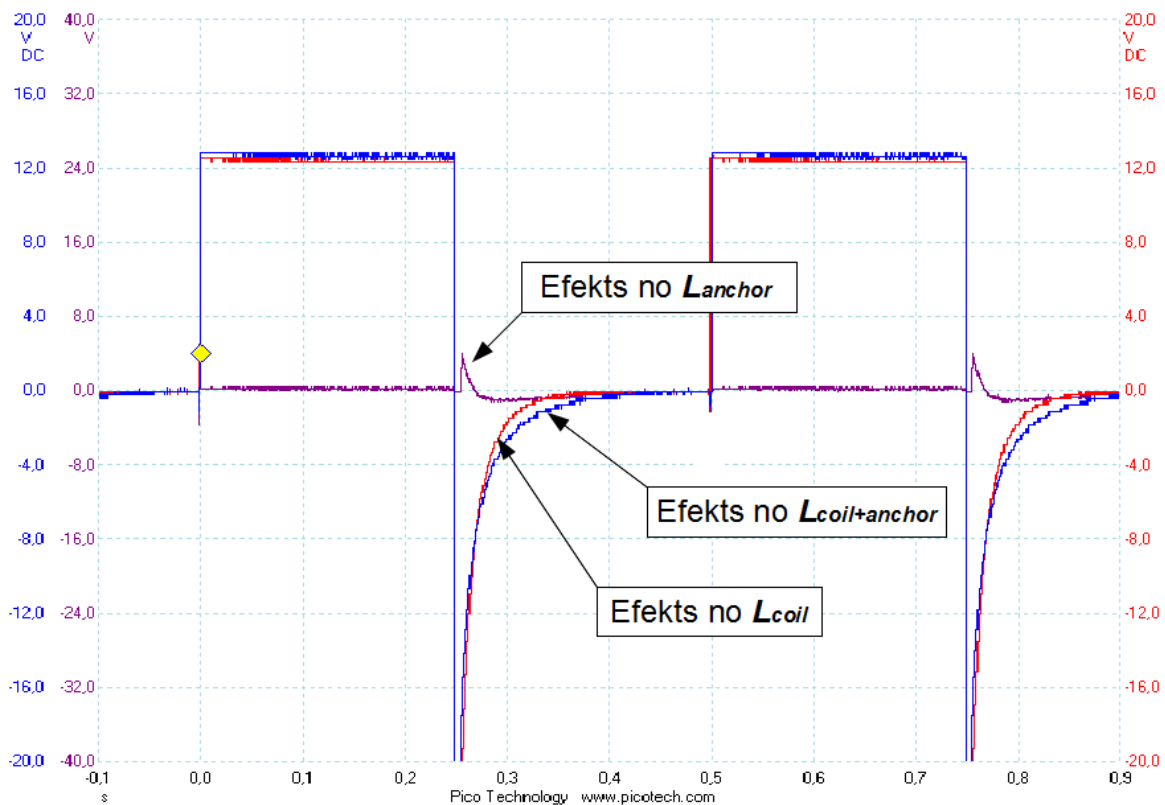
4.15. attēlā redzams sprieguma lēciena efekts, kas saistīts ar to, ka uzkrātās magnētiskās enerģijas daudzums elektromehāniskā sistēmā ar enkuru ir lielāks un noteikts ar $L^1(\Delta) > L^2$.

$$E(L_{\text{coil}} + L_{\text{anchor on}}(\Delta)) > E(L_{\text{coil}}) , \quad (4.8)$$

kur $E(L_{\text{coil}} + L_{\text{anchor on}}(\Delta))$ – spolē uzkrātā enerģija ar pievilktu enkuru; (4.9)

$E(L_{\text{coil}})$ - spolē uzkrātā enerģija bez enkura klātbūtnes.

Efekta novērošana notiek kā diference starp osciloskopa kanāliem „Ch I – Ch II”.

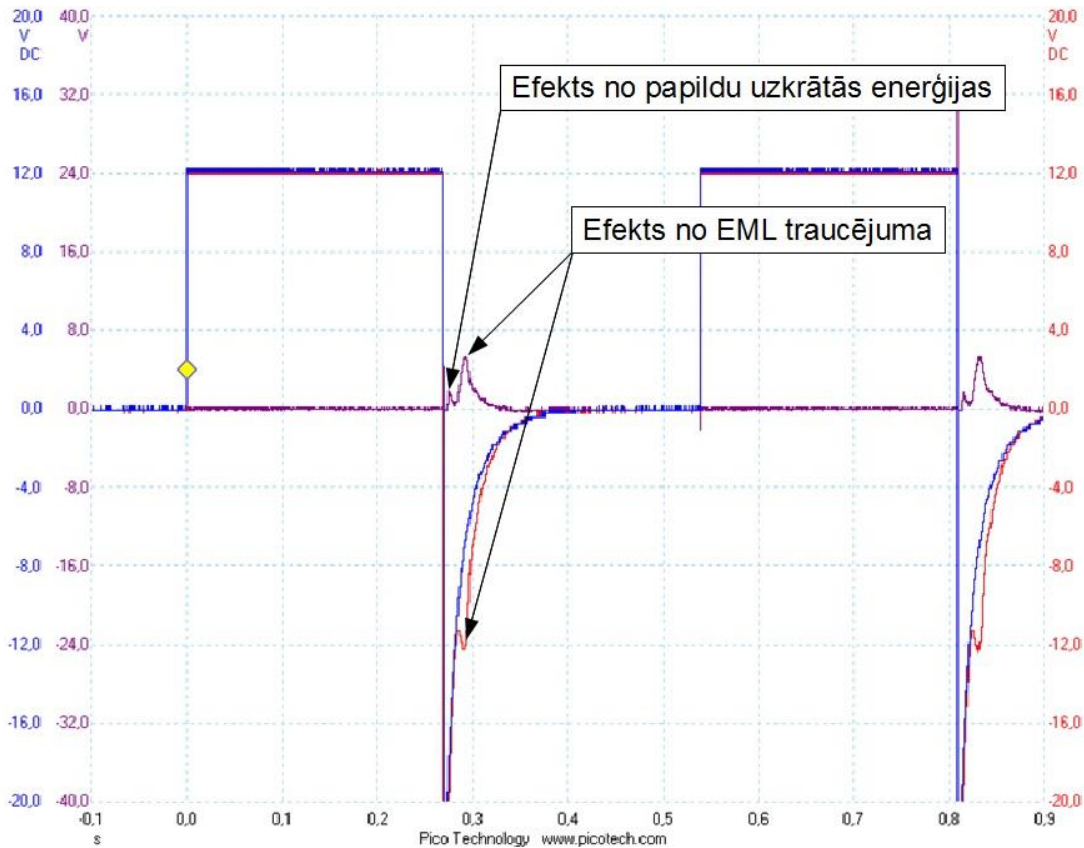


4.15. att. Enkura klātbūtne releja elektromehāniskā sistēmā

Enkura dinamikas paskaidrošanai arī tiek izmantota eksperimenta shēma (4.13. att.) ar atbrīvotu enkuru vienam relejam-atkārtotājam (dotā shēma - I). Enkura kustība, kas atkarīga no kontaktu spiediena uz enkuru, izsauc elektromagnētiskā lauka (EML) papildus ierosinājumu, kas izraisa spolē strāvas impulsu un atšķirībā no statikas, dinamikā izveidojas otrais impulss, kas redzams 4.15. attēlā.

Tādā veidā enkura klātbūtne elektromehāniskā sistēmā izveido:

- papildus enerģijas uzkrāšanu spolē, kas saistīta ar induktivitātes palielināšanu, un dod pēc barošanas impulsa izbeigšanas negatīvā impulsa maksimuma lieluma palielinājumu;
- strāvas impulsu spolē enkura kustības laikā, kas saistīts ar EML ierosinājumu.



4.16.att. Enkura klātbūtne dinamikā

Impulsa parametri noteikti ar enkura materiālu, ar iespējamās pārvietošanas attālumu un ar kustības ātrumu. Strāvas I magnētiskā lauka enerģija, kas uzkrāta induktivitātē L :

$$E_{MF} = \frac{I^2 \cdot L}{2} \quad (4.10)$$

Tādā veidā, pārejas procesam pēc barošanas impulsa noņemšanas:

$$U_{coil}(t) = f(U, R_{coil}, L(t, \Delta, Pr)) , \quad (4.11)$$

kur U - barošanas impulsa spriegums;

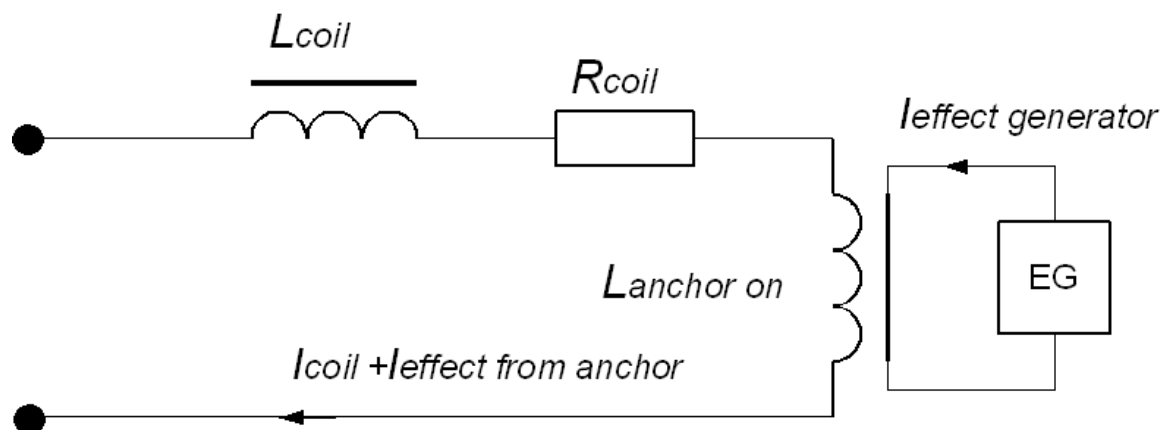
R_{coil} - spoles pretestība;

$L(t)$ – spoles induktivitāte;

Δ - pretmagnētiskā tapa;

Pr - kontaktu spiediens uz enkuru.

Releja ekvivalenta shēma ar enkura klātbūtni, kas ļauj raksturot pārejas procesu pēc barošanas noņemšanas, piedāvāta 4.17. attēlā. Efektu ģenerators ģenerē strāvas impulsu speciālā formā. Impulsa izveidošanas laiks un forma raksturo enkura dinamiku elektromehāniskā sistēmā.



4.17. att. Releja ekvivalenta shēma ar enkura klātbūtnes efektu

Tādā veidā, ekvivalenta shēma ļauj aprakstīt enkura dinamikas ietekmi, ja pieņem, ka:

$$L_{coil} \gg L_{anchor\ on}(\Delta). \quad (4.12)$$

4.6. Enkura diagnosticēšana reālā sistēmā

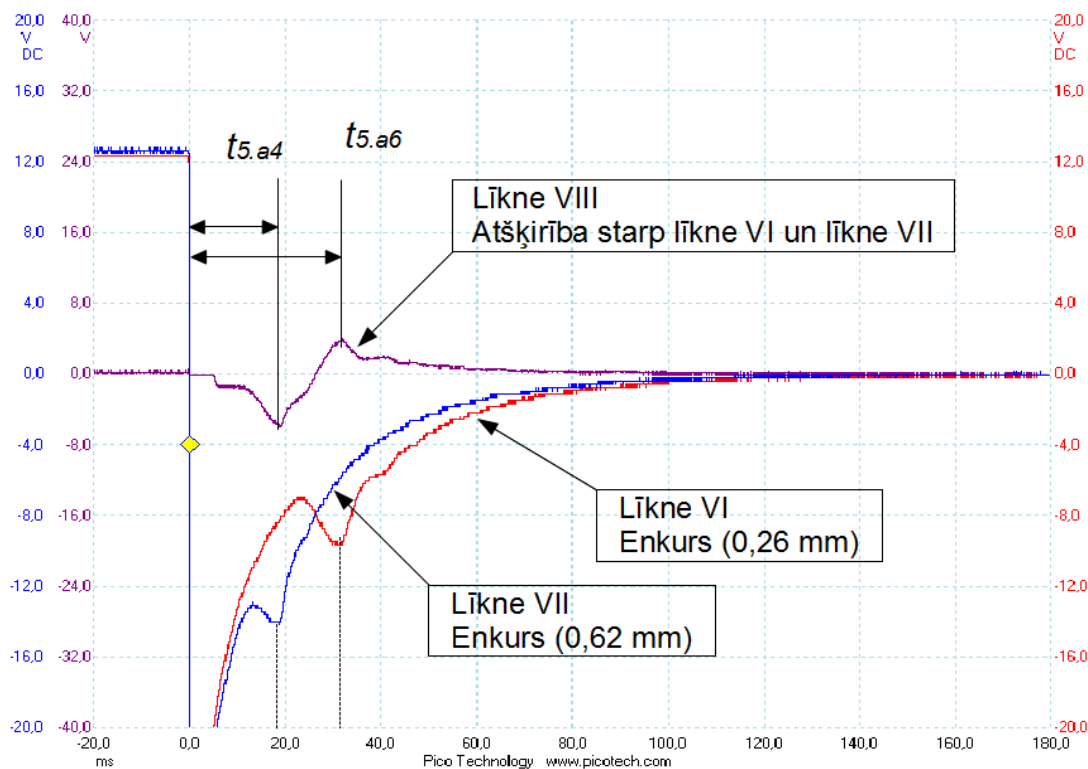
Izanalizējot pārejas procesu izmaiņas (4.18. att.), kas saistītas ar enkura klātbūtni, var secināt, ka impulsa stāvoklis uz laika ass ir atkarīgs no kontaktu spiediena Pr un dažādu Δ uzskaldinājumu («a4» un «a6» testi) relejiem, un ir noteiktas sekojošas sakarības:

$$t_5(\Delta_1, Pr_1) < t_5(\Delta_2, Pr_2) \text{ kad } \Delta_1 > \Delta_2 \ \& \ Pr_1 \approx Pr_2; \quad (4.13)$$

$$t_5(\Delta_1, Pr_1) < t_5(\Delta_2, Pr_2) \text{ kad } \Delta_1 \approx \Delta_2 \ \& \ Pr_1 < Pr_2; \quad (4.14)$$

$$t_5(\Delta_1, Pr_1) < t_5(\Delta_2, Pr_2) \text{ kad } \Delta_1 > \Delta_2 \ \& \ Pr_1 < Pr_2; \quad (4.15)$$

Sakarības (4.13), (4.14), (4.15) dod iespēju novērtēt uzskaldinājuma Δ , jeb enkura nolietojuma pakāpi un spiediena Pr samazinājumu reālā laikā un līdz ar to sistēmā, kas darbojas, izmantojot t_5^{\min} lielumu.



4.18.att. Enkura atkrišanas laiki «a4» un «a6» enkuriem

Kontaktu spiediena Pr un uzkalninājuma Δ ietekme uz enkura atkrišanas ātrumu:

$$\text{If } \Delta t_{a4} < \Delta t_{a6} \text{ tad } \Delta_{a4} > \Delta_{a6} . \quad (4.16)$$

Izanalizējot eksperimenta rezultātus, promocijas darbā ir izstrādātas divas jaunas diagnosticēšanas metodes un pierādīta to funkcionēšana.

4.7. I diagnosticēšanas metode

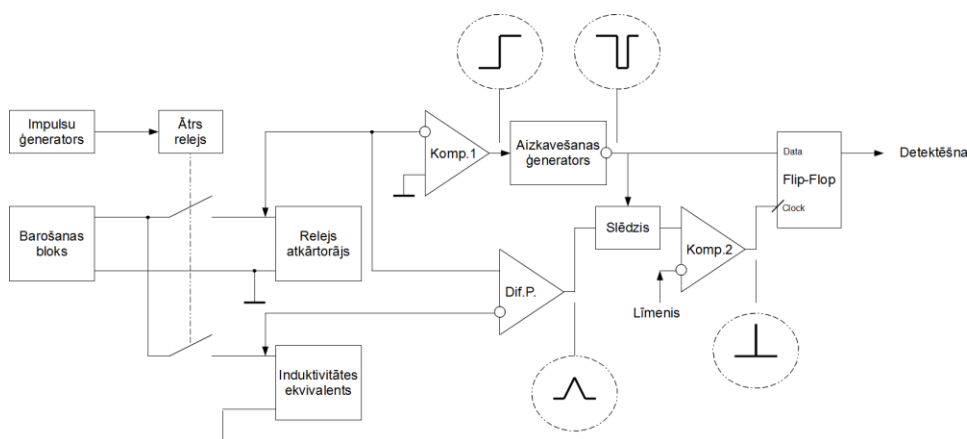
Analizējot 4.18. attēlā diferences signālu starp relejiem ar enkuriem „a4” un „a6” ar atšķirīgiem uzkalninājuma lielumiem $\Delta_{a4} = 0.62 \text{ mm}$ un $\Delta_{a6} = 0.26 \text{ mm}$ un pamatojoties uz sakarību (4.13), var secināt:

- $\Delta_{aN1} \cong \Delta_{aN2}$, vai $(\Delta_{aN1} - \Delta_{aN2}) \rightarrow 0$ tad diferences signāls $\rightarrow 0$;
- Δ_{aN1} ja ir derīgs enkura «a4» minimālais pieļaujamais uzkalninājums, tad diferences signāla zīme (+) pēc laika momenta $t_5(\Delta_{aN2})$ raksturo enkura «a6» ar nederīgu uzkalninājumu.

Secinājumi ļauj izveidot diagnosticēšanas metodes kopumu, kas balstās uz diferences impulsa laika momenta atkarību no uzkalninājuma stāvokļa.

Atbilstoši secinājumiem izveidota diagnosticēšanas ierīces funkcionālā shēma (4.19. att.), kas ļauj noteikt defektīvu uzkalninājumu jeb $SF_{\text{anchor}}(\Delta) = -1$.

Piedāvātajā shēmā impulsu ģenerators (Pulse Generator) kopā ar ātru releju (Fast Relay) izveido pulsa pāri. Pēc ierosinājuma izbeigšanas signāli no releja-atkārtotāja (relay repeater) ar testējamo enkuru un no induktivitātes ekvivalenta (Inductance Equivalent) padoti komparatorā „Komp 1” un diferenciālā pastiprinātāja „Dif.P.” ieejām. Negatīvais sprieguma impulss uz releja-atkārtotāja spoles pārslēdz komparatoru „Komp 1”. Komparatora „Komp 1” signāls iedarbina aizkavēšanas ģeneratoru (Delay Generator). Aizkavēšanas laiks raksturo enkuru ar pieļaujamo uzkalninājumu. Diferenciālā pastiprinātāja izejās differences signāls caur slēdzi (switch) padots komparatorā „Komp 2” ar noteiktu aizkavēšanu. Ja notiek „Komp 2” pārslēgšana, trigeru (Flip-Flop) izejā tiek nofiksēta informācija par enkura defektu.



4.19. att. Enkuru uzkalninājuma derīguma noteikšanas metodes I funkcionālā shēma

4.8. II diagnosticēšanas metode

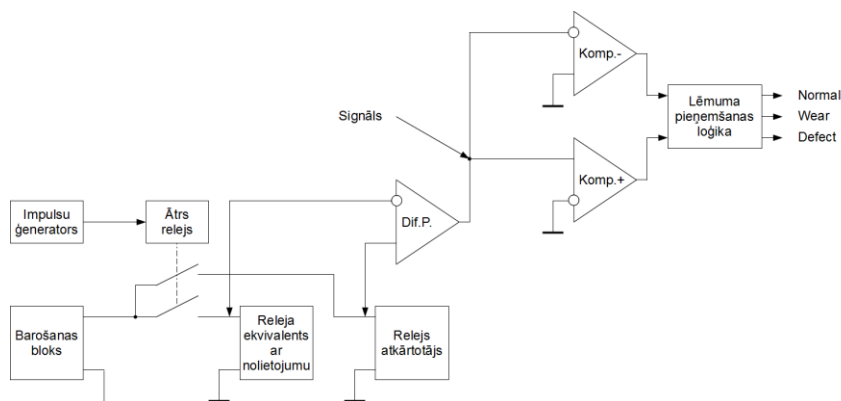
Metode ļauj nodrošināt stāvokļa funkcijas $SF_{\text{anchor}}(\Delta, Pr)$ visas vērtības.

Rezultāta noteikšana balstās uz izteiksmes: enkura pretmagnētiskā tapa un kontaktu spiediens ir normāli, ja:

$$t5^{\max} < t5(\Delta, Pr) < t5^{\min} \quad (4.17)$$

$$SF_{\text{anchor}}(\Delta) = \begin{cases} +1 & \text{if Signal} < 0 \\ 0 & \text{if Signal} = 0 \\ -1 & \text{if Signal} > 0 \end{cases} \quad (4.18)$$

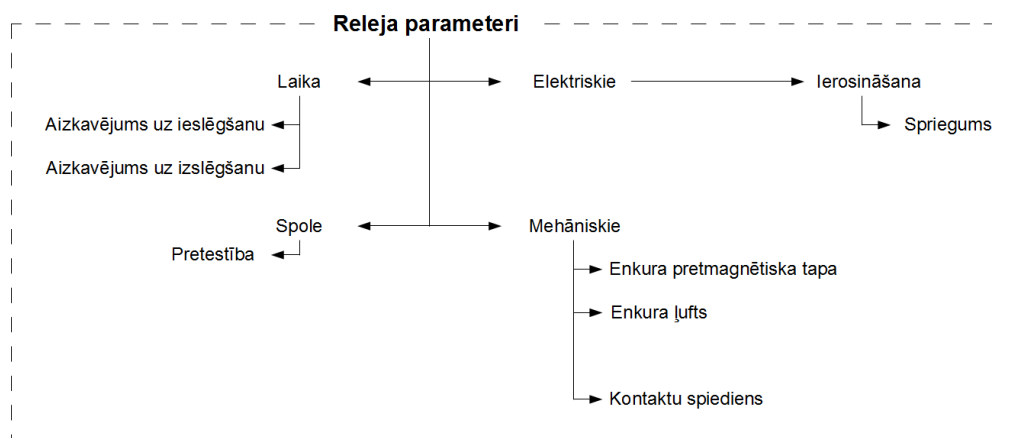
Metodes realizācija parādīta 4.20. attēlā. Impulsu ģenerators (Pulse Generator) kopā ar ātru releju (Fast Relay) izveido pulsa pāri. Pēc ierosinājuma izbeigšanas signāli no releja-atkārtotāja (Relay Repeater) ar testējamo enkuru un no releja ar noteiktu nolietojumu (Equivalent for Relay with Wear) padoti komparatorā diferenciālā pastiprinātājā „Dif.P.”.



4.20. att. Noteikšanas metodes II funkcionālā shēma

Negatīvais sprieguma impulss uz „Dif.P.” izejas pārslēdz komparatoru „Komp.-”, kas nozīmē uzkaldinājuma pirmsnolietojuma stāvokli. Pozitīvais sprieguma impulss uz „Dif.P.” izejas pārslēdz komparatoru „Komp.+”, kas nozīmē uzkaldinājuma galīga nolietojuma stāvokli. Diferenciālā pastiprinātājā „Dif.P.” izejas signāls nepārslēdz komparatorus „Komp.-” un „Komp.+”, kad uzkaldinājuma stāvoklis atbilst atļautajam nolietojumam. Lēmuma pieņemšanas loģika (Decision Logic) izveido stāvokļa funkcijas lielumus.

Diagnosticēšanas metode ļauj izmērīt līdz pat 7 svarīgākajiem parametriem (4.21. att.) no 17 iespējamiem (4.2. att.).



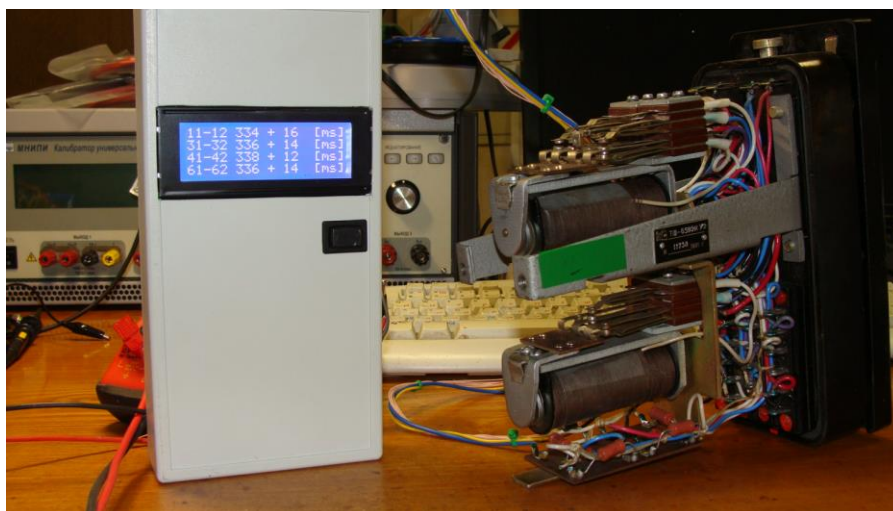
4.21. att. Diagnosticējamie parametri

4.9. Universālās diagnosticēšanas iekārtas prototipa praktiskā realizācija

4.22. attēlā uzrādīts pēc izstrādātās diagnostikas sistēmas izveidotais pārnēsamais testēšanas aparāts „TST-2”, kas tiek izmantots releju atkārtotāju TIII-65, TIII-2000 laika impulsa saīsināšanas mērīšanai pēc izteiksmes (3.1).

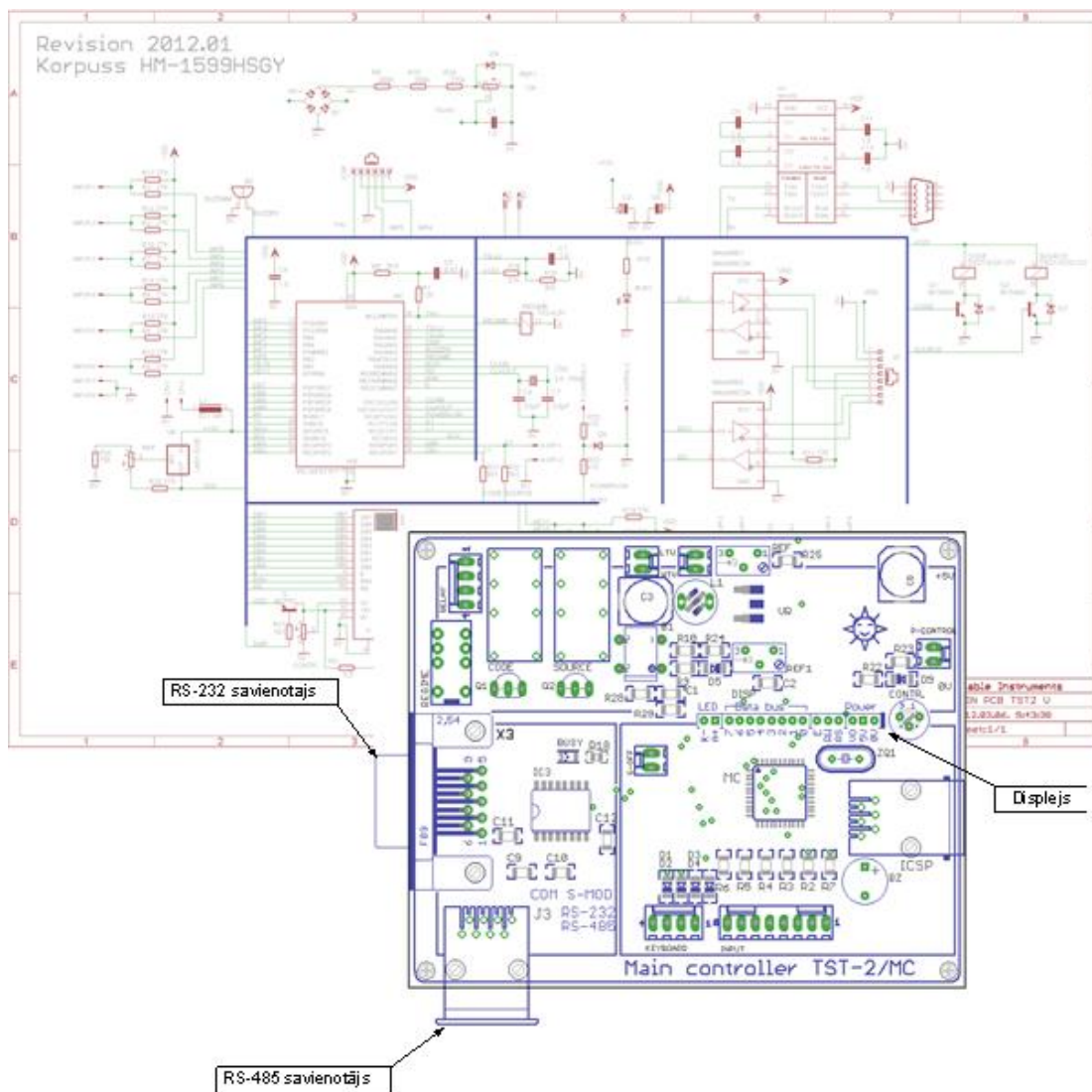
Diagnosticēšanas iekārtas prototips „TST-2”, nodrošināts ar barošanas avotu, kas klāt pie shēmas, kontrollera un displeja barošanas, izdod izejā 12VDC un 110 ACV testēšanas spriegumus.

„TST-2” darbība notiek pilnīgi automātiskā režīmā. Tas nozīmē, ka releja TIII-65 vai TIII-2000 detektēšana un visu mērījumu attēlošana notiek vienlaicīgi, kā arī tiek padots skaņas brīdinājums, ja pamanīta kontaktu tehnisko rādītāju novirze. Operatora uzdevums ir tikai releja ievietošana savienotājā un barošanas pogas nospiešana. Pēc ieprogrammēta mērījumu skaita vai releja noņemšanas TST-2 automātiski atslēdzas.

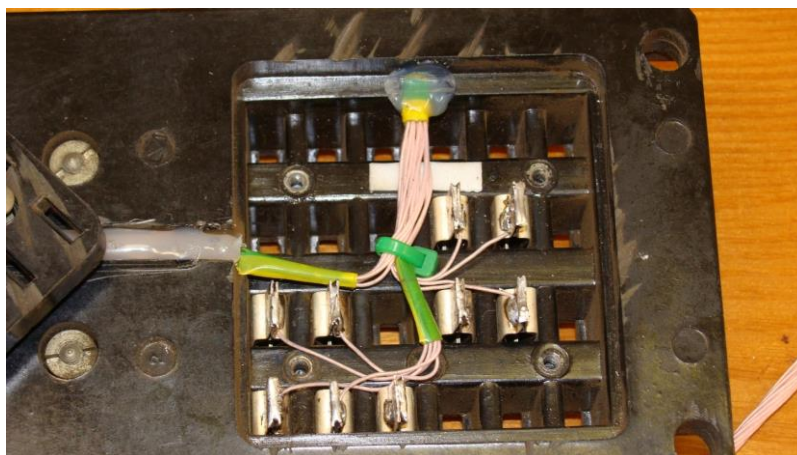


4.22.att. TST-2 testēšanas iekārta.

„TST-2” elektriskā shēma un kontrolleru plate (4.23. att.) satur savienotāju, kas ļauj pieslēgties pie datora, izmantojot RS-232 interfeisu vai CAN protokolu, izmantojot RS-485 interfeisu (att. 4.23.). Tas ļauj izmantot aparātu kā papildaprīkojumu un kontrolēt releja tehniskos parametrus vadības sistēmā reālā laikā.



4.23. att. Pamat kontrollera principiāla shēma un iespiedu plate



4.24. TST-2 TIII-65 savienojuma plate

4.10. Secinājumi

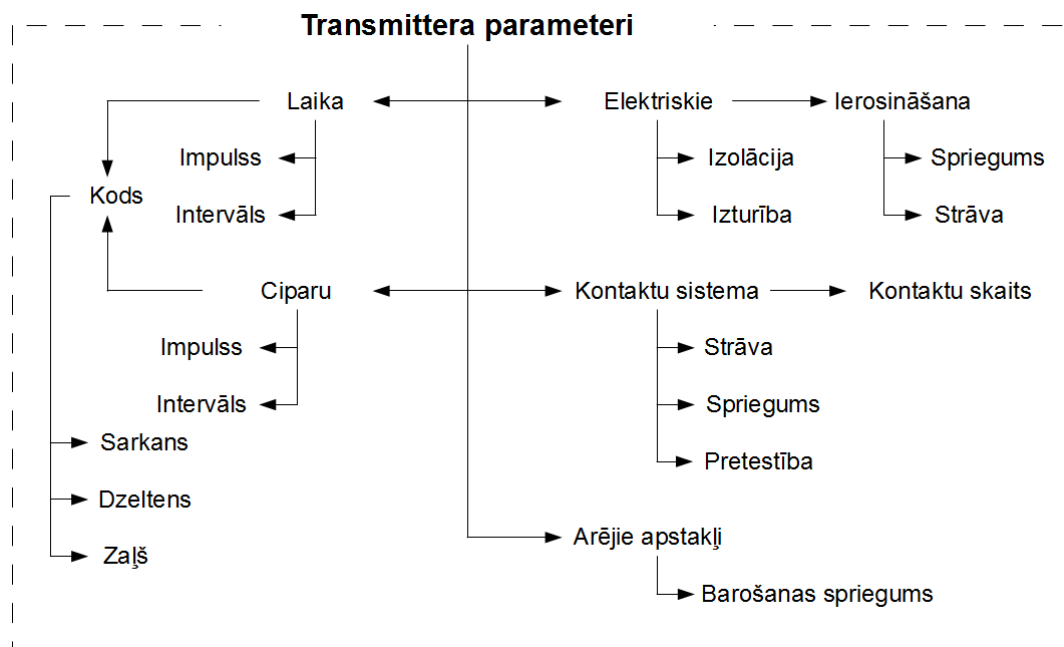
- Promocijas darbā secināts, ka I drošuma klases releju diagnostika nav primārais diagnostikas apakšsistēmas uzdevums, jo releja garantētais darbības laiks pārsniedz kalpošanas laiku: $MTBF > LifeTime$.
- 4.5. apakšsadaļā konstatēts, ka diagnostikas paņēmieni izmantošana releja enkura atkrišanas laikā ir daudz efektīvāka, jo parametrus neietekmē vadības signāla īpašības.
- Izstrādātā diagnosticēšanas iekārtas metode ļauj analizēt vismaz 7 pamatparametrus, līdz ar ko sasniegtais diagnosticēšanas dziļums sastāda

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

5. KUSTĪBAS DROŠĪBAS NODROŠINĀŠANAS SISTĒMAS KODU IEKĀRTAS DIAGNOSTICĒŠANA

Kodu iekārta ir elektromehāniskie aparāti vai elektroniskās ierīces ar speciālu konstrukciju. Galvenais šīs iekārtas uzdevums ir speciālas ciparu - kodu secības ģenerēšana. Vairāk pielietojami kā kodu iekārtas ir elektromehāniskie transmitteri (Electomechanical Code Transmitter - EMCT) КИТIII tipa un bez kontaktu transmitteri БКИТ .

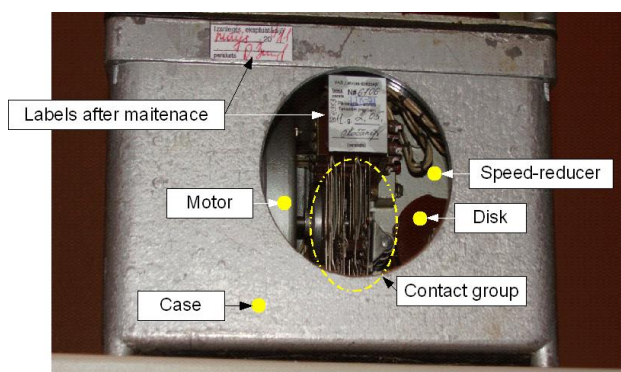
Transmittera parametri (5.1. att.) nosacīti ar pielietošanas sfēru un nepārprotami raksturo aparāta normālu darbību. Attēlā piedāvātie parametri nepilnīgi raksturo EMCT, jo tai pastāv arī mehāniskā daļa.



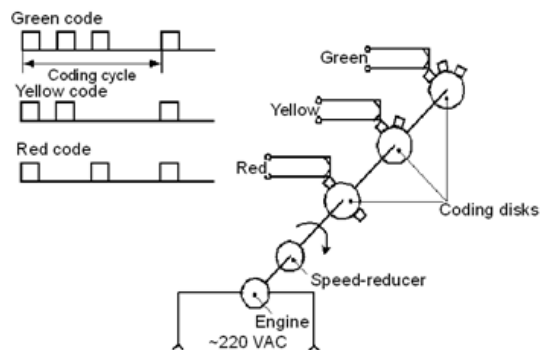
5.1. att. Ceļa kodu transmittera parametri

5.1. EMCT konstruktīvās īpašības

EMCT (5.2. att.) diagnosticēšanas problēma saistīta ar sarežģītā elektromehāniskā aparāta parametru novērošanu, jo transmittera darbības jēguma novērtēšanai ir jāizdara secinājumi ne tikai par elektrisko parametru atbilstību, bet arī par mehāniskiem rādītājiem un līdz ar to par nepieciešamo augsti kvalificēto apkalpošanas personālu.

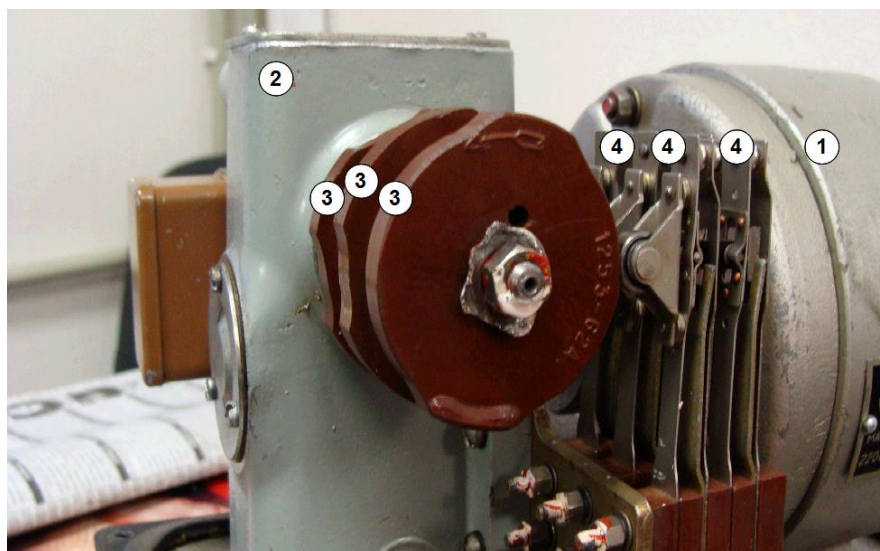


5.2.att. Elektromehāniskais transmitters KIITIII



5.3.att. KIITIII darbības princips

EMCT pieslēgšanas shēmas piemērs piedāvāts 4.7. attēlā. EMCT darbības principa grafiskais paskaidrojums piedāvāts 5.3. attēlā. Analizējot EMCT darbības principu, var secināt, ka drošības prasības izpaužas tādējādi, ka jāizslēdz iespēja ģenerēt vairāk atļaujošo ciparu-kodu kombināciju. Tas tiek nodrošināts konstruktīvajā īpašībā - kodēšanas diska (Coding Disk) forma un kontaktu sistēmas konstrukcija (5.4. att.). Dzinēja un piedziņas īpašības nodrošina izejas parametru stabilitāti pie ~220VAC barošanas sprieguma svārstībām.



- ① - MOTORS
- ② - REDUKTORS
- ③ - KODU DISKS
- ④ - KONTAKTU SISTĒMA

5.4. att. EMCT kodēšanas diski un kontaktu sistēma

EMCT iekārta tika izprojektēta pagājušā gadsimta 50-os gados, ar ko pamatota tās konstrukcija un vienlaicīgi arī zemā drošuma pakāpe un paaugstinātas apkalpošanas izmaksas. 80-90-os gados tika mēģināts izveidot elektronisko aizvietotāju - bezkontakta kodu

sliežu transmitteru (БКПТ) [37][38].

БКПТ izveidots uz loģiskas mikroshēmas bāzes ar katra kanāla („Z.K.”-zaļš, „Dz.K.”-dzeltens, „Sk.K.”-sarkans) dublēšanu un savstarpēju sinhronizēšanu, kas nodrošina divu vienā drošā automāta uzbūve [32][38]. Katrs kanāls sinhronizēts ar 220VAC maiņstrāvas barošanas sprieguma 50 Hz frekvenci, izejas slēdži izveidoti uz bipolāriem tranzistoriem. Konstruktijas trūkumi - БКПТ piemīt lieli gabarīti un masa, zema laika raksturojumu precizitāte, zems izejas slēdžu drošums, kā arī ierobežojumi uz pieslēgšanas shēmu.

Tagad ir zināmi dažādi EMCT elektroniskie analogi БКПТ, БКПТ-УМ, БКПТ-У, БКПТ-М, ЭКПТ. БКПТ-УМ, БКПТ-У, ЭКПТ un БКПТ-М, kas nav pilnībā savstarpēji aizvietojami. БКПТ-УМ, БКПТ-У, ЭКПТ, КПТШ un БКПТ-М atšķiras ar pieslēgšanas veidu.

5.1.1. DzATS elektronisko ierīču uzbūves drošības un drošuma prasības

Vispirms svarīgi apskatīt elektronisko ierīču, kas izmantotas kritiskās pielietošanas sfērās, drošības un drošuma jautājumus [57-78].

Jāpiemin, ka [57-64] ir rekomendācijas un [65-77] vispārējās uzbūves prasības. Eiropas drošības standarti un rekomendācijas *IEC EN 61508*, *EN 50128*, *EN 50129* tieši saistīti ar dzelzceļa automātikas un telemātikas sistēmām.

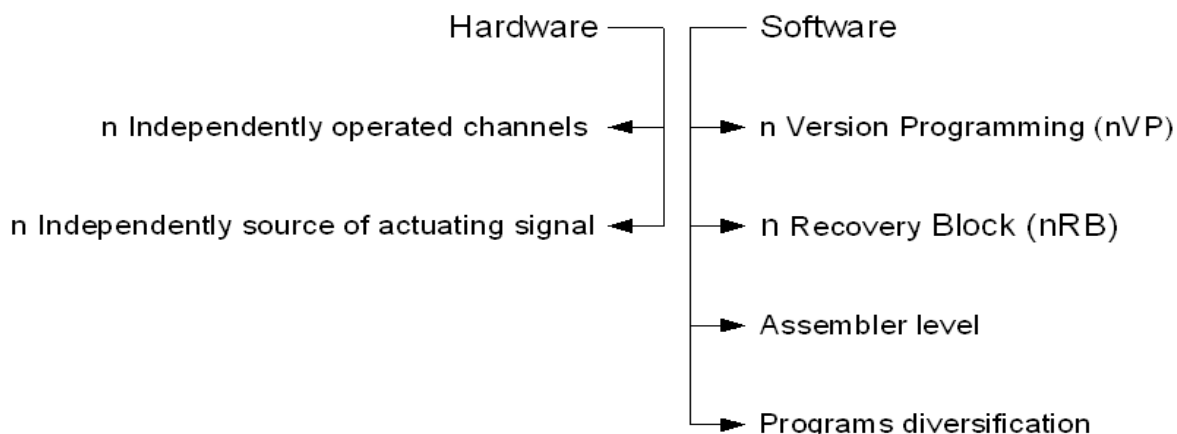
Drošības un drošuma līmeņa sasniegšanai (5.5. att.) jāievēro:

I. Aparātu daļa:

- nIOCh (Independent Operation Channel)- *n* neatkarīgo funkcionālo kanālu kopums;
- nISAS (Independent Sensor of Actuating Signal)- *n* neatkarīgo devēju jeb iedarbes signālu kopums.

II. Programmatūras daļa:

- nVP (Version Programming) – *n* apstrādes programmatūras versijas;
- Assembler Level - programmatūras realizācija mikrokontrolera Assemblera līmenī.



5.5. att. Drošības stratēģija

Jāpiemin, ka IEC EN61508 STANDARTS izmanto bīstamas atteices varbūtības *PF*_D (Probability of Failure on Demand) jēdzienu (5.1. tabula), tajā pašā laikā OST standarti [65-78] operē ar bīstamas atteices intensitātes λ [st.⁻¹] jēdzienu (4.2. tabula).

Tabula 5.1.

Integrētas drošības līmenis pēc IEC EN61508

Integrētas drošības līmenis (SIL-Safety Integrity Level)	Funkcionēšana ar pārtraukumiem		Funkcionēšana bez pārtraukumiem	
	<i>PF</i> _D * (Power)	<i>RRF</i> **	<i>PF</i> _D * (Power)	<i>RRF</i> **
1	10 ⁻¹ ÷ 10 ⁻²	10 ¹ ÷ 10 ²	10 ⁻⁵ ÷ 10 ⁻⁶	10 ⁵ ÷ 10 ⁶
2	10 ⁻² ÷ 10 ⁻³	10 ² ÷ 10 ³	10 ⁻⁶ ÷ 10 ⁻⁷	10 ⁶ ÷ 10 ⁷
3	10 ⁻³ ÷ 10 ⁻⁴	10 ³ ÷ 10 ⁴	10 ⁻⁷ ÷ 10 ⁻⁸	10 ⁷ ÷ 10 ⁸
4	10 ⁻⁴ ÷ 10 ⁻⁵	10 ⁴ ÷ 10 ⁵	10 ⁻⁸ ÷ 10 ⁻⁹	10 ⁸ ÷ 10 ⁹

* - Probability of Failure on Demand, ** - Risk Reduction Factor

*PF*_D un λ ir savstarpēji apvienojami ar izteiksmi:

$$PF_D = 1 - e^{-(\lambda \cdot LifeTime)}, \quad (5.1)$$

kur *LifeTime* – kalpošanas laiks.

$$\lambda = \frac{\ln((1 - PF_D)^{-1})}{LifeTime}, \quad (5.2)$$

Ja zināms pieprasītā kalpošanas laika ilgums, piemēram, 20 gadi, tad iespējams izveidot prasības uz bīstamas atteices intensitātes lielumu (sk. tabulu 4.2).

Tabula 5.2.

Bīstamas atteices intensitāte 20 gadu kalpošanas laikā atbilstoši SIL (Safety Integrity Level)

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; ** - Rate of Failure of Demand

5.1.2. Tehniskie nosacījumi elektroniskā kodu ceļa transmitterim

Pamatojoties uz augstākminēto analīzi un vadoties pēc mūsdienīgo dzelzceļa automātikas un telemātikas iekārtu un sistēmu standartiem, promocijas darbā noformulētas prasības elektroniskā kodu ceļa transmitterim (ECT – Electronic Code Transmitter), kas tiek sagrupētas vairākās kategorijās.

Patērētāja prasības elektroniskā kodu ceļa transmitterim:

- pilnībā savstarpēji aizvietoājams ar esošo KIITIII iekārtu;
- ekspluatācijas laikā atļauta tikai viena apkalpošana;
- ECT izejas slēdžiem jābūt ar neierobežotu kalpošanas laiku;
- ģenerēto kodu parametru lielāka precizitāte un stabilitāte;
- optimāli gabarīti un masa;
- optimāla cena.

Prasības, kas izriet no izmantošanas sfēras specifikas:

- minimizēta struktūra ar pašdiagnostiku;
- diversificēti aparatūras un programmatūras līmeņi;
- ECT struktūrai jābūt ar sadalītām funkcijām;
- jāīsteno atteices vadība (Faulty Management).

Prasības aparatūras daļām:

- dažādu ciparu-kodu secības ģenerēšana neatkarīgos kanālos;
- katra kanāla izveidošana kā atsevišķa ierīce;
- kanālu kopumam jāveido ciparu-kodu formētājs;
- ciparu-kodu formētājs tiek kontrolēts ar speciālu kontroles ierīci.

Prasības programmatūras līmenim:

- programmatūrai jābūt funkcionāli orientētai;
- minimālais programmas apjoms;
- programmēšanas valoda – „Assembler” ar 33 instrukcijām;
- mikrokontrolleru programma nedrīkst saturēt apakšprogrammas un pārtraukšanas (Interruption);
- programma jāizveido ar sertificēto līdzekļu palīdzību.

Monitoringa un pašdiagnosticēšanās prasības:

- izejas parametru novērtēšanai jānotiek reālā laikā;
- lai nodrošinātu diagnostikas funkcijas, jāīsteno ciparu-kodu secības atšifrēšana pašā ECT pēc algoritma, kas vienāds ar automātiskās lokomotīvu signalizācijas uztvērēja algoritmu; ekspluatācijas režīmu monitorings.

Bīstamas atteices izslēgšanas prasības:

- jāizslēdz kanālu „Dz.K.” un „Sk.K.” ciparu-kodu secības izkropļojumi, kas var tikt atšifrēti (lokomotīves AJIC dekodētāja uztverti) kā vairāk atļaujoši;
- ciparu-kodu formētājam jāatbilst SIL 3 līmenim nepārtrauktā funkcionēšanas režīmā 20 gadu izmantošanas laikā.

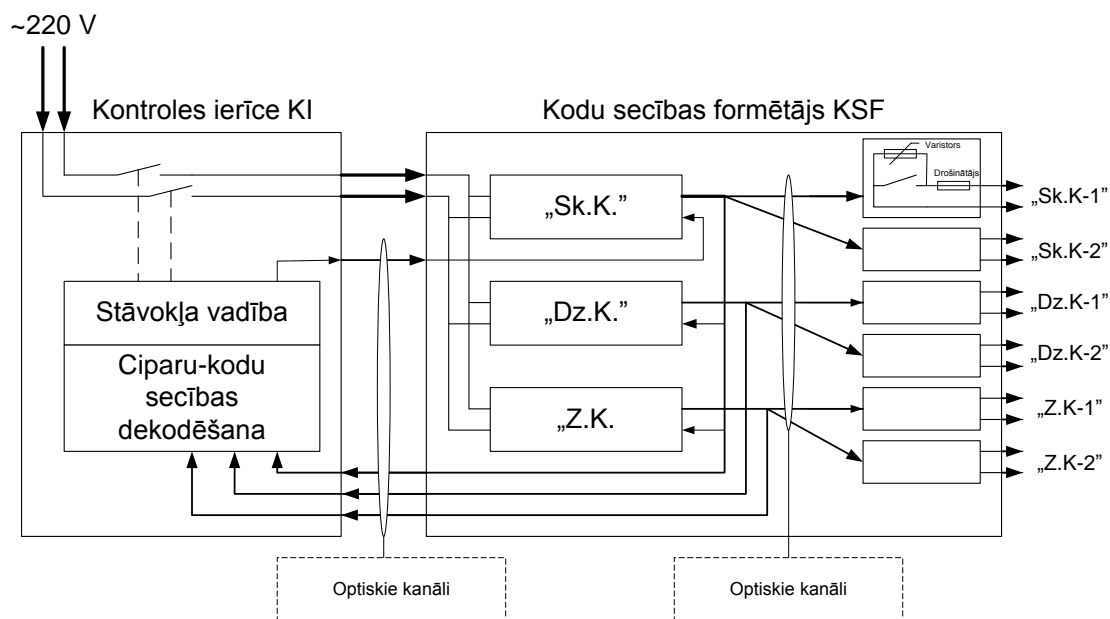
Drošuma prasības:

- *MTBF* nevar būt mazāks par 5 gadiem vai 43824 stundām (drošuma klase H2);
- *LifeTime* > 20 gadiem vai 175296 stundas, ja nodrošināts paredzētais ekspluatācijas režīms.

5.1.3. Elektroniskā kodu ceļa transmittera izveidošanas princips

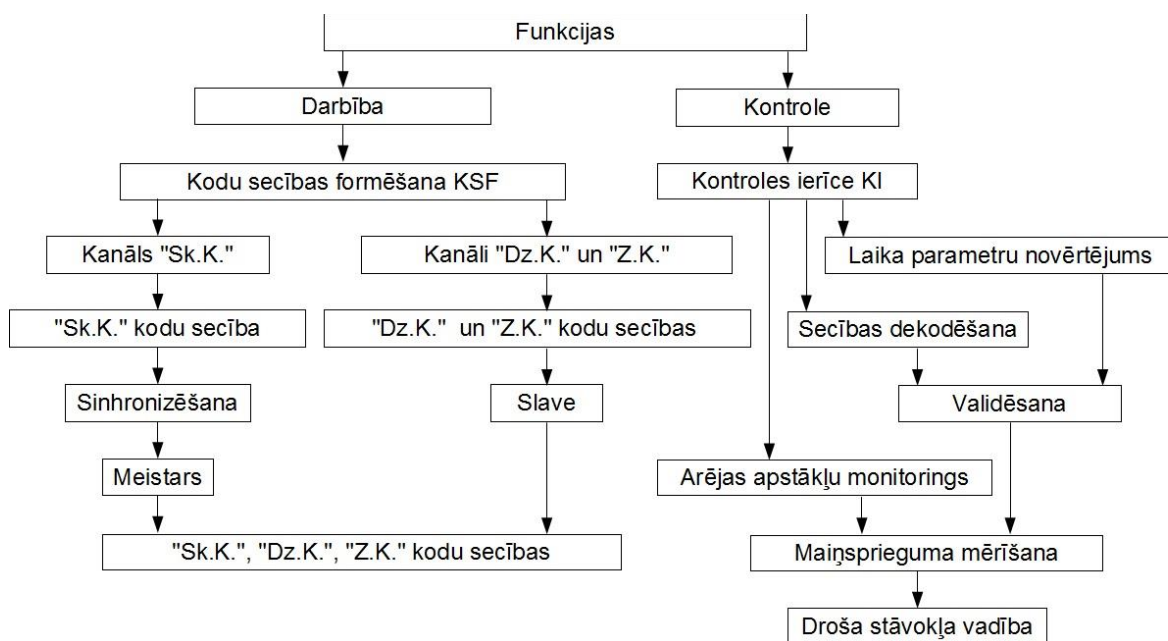
Elektroniskais kodu ceļa transmitters ir diversificēta ierīce ar pašdiagnostikas funkcijām, ar aizsardzību pret ārējiem traucējumiem, un tā pareizu darbību kontrolē ar speciālas ierīces palīdzību. ECT struktūra ir salīdzināmā ar struktūru ar lēmuma pieņemšanas par normālu darbību pēc vairākuma „5 no 5”. ECT ir struktūra ar sadalītām funkcijām.

ECT funkcionālā shēma piedāvāta 5.6. attēlā un satur formētāju (Former) un kontroles ierīci (Control Unit). Formētājs sastāv no trim neatkarīgiem ciparu-kodu secības formēšanas kanāliem. Kanāli sinhronizēti pēc „Sk.Dz.” kanāla signāliem, kas izveido Master-Slave-Slave atbilstību. Kontroles ierīce reālā laikā nepārtraukti atšifrē izveidotās secības „Dz.” un „Sk.Dz.” kanālos, kā arī novērtē laikā parametru atbilstību.



5.6.att. ECT funkcionālā shēma

Funkciju sadalīšana (5.7. att.) ļauj minimizēt pēc apjoma un vienkāršot mikrokontrolleru 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.



5.7. att. Funkciju sadalīšana

Kontroles ierīce funkcijas:

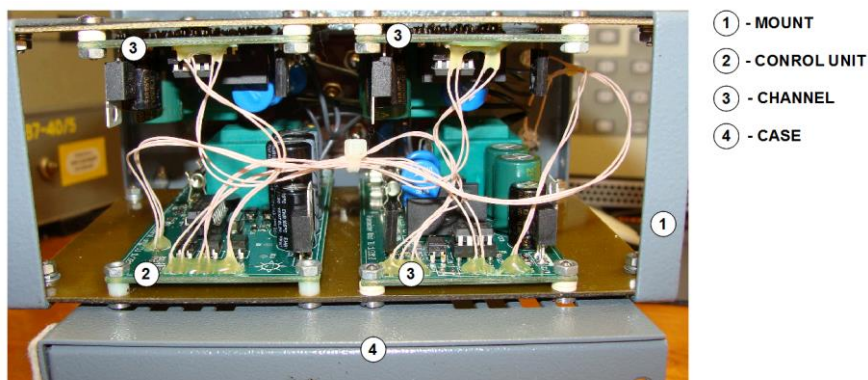
- I. Izejas parametrus atbilstības noteikšana:
 - Katrā kanālā laika parametrus novērtēšana;
 - Ciparu-kodu secības dekodēšana;
 - II. Ārējas apstākļu monitorings:
 - Barošanas sprieguma kvalitātes kontrole.
 - III. Droša stāvokļa vadība:
 - Neatgriezeniska drošā stāvokļa ieslēgšana kropļoto ciparu-kodu secības detektēšanas gadījumā;
 - Atgriezeniska drošā stāvokļa ieslēgšana barošanas sprieguma kvalitātes dēļ gadījumā.
- Kodu secības formētāja funkcijas:
- I. Pamatu kanāls „Sk.K.” (Master) – „Sk.K.” koda secības izveidošana un „Dz.K.” un „Z.K.” kanālus sinhronizēšana;
 - II. Kanāls „Dz.K.” (Slave) - „Dz.K.” koda secības izveidošana;
 - III. Kanāls „Z.K.” (Slave) - „Z.K.” koda secības izveidošana.

Izejas slēdžus vietā izmantoti cietķermeņa releji (Solid State Relay). Cietķermeņa relejs tiek plaši izmantots kā elektromehānisko releju aizvietošanas industriālā automātikā [47]. Tas dod iespēju realizēt EMCT un ECT pilnīgu savstarpēju aizvietošanu.

5.1.4. ECT prototips

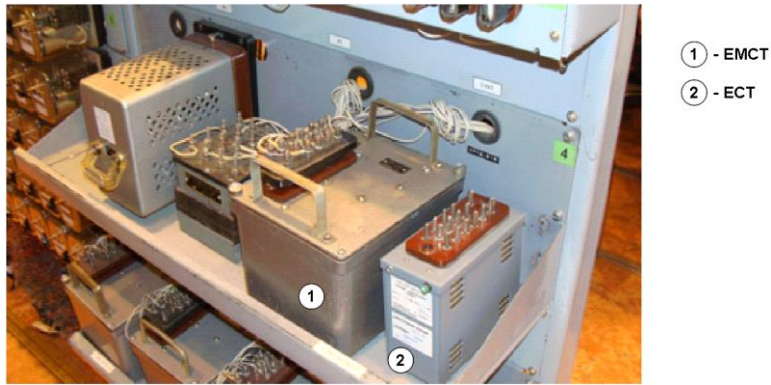
Ar Latvijas dzelzceļa Signalizācijas un sakaru distances atbalstu izveidots strādājošais prototips KPT-E (5.8. att.).

a)



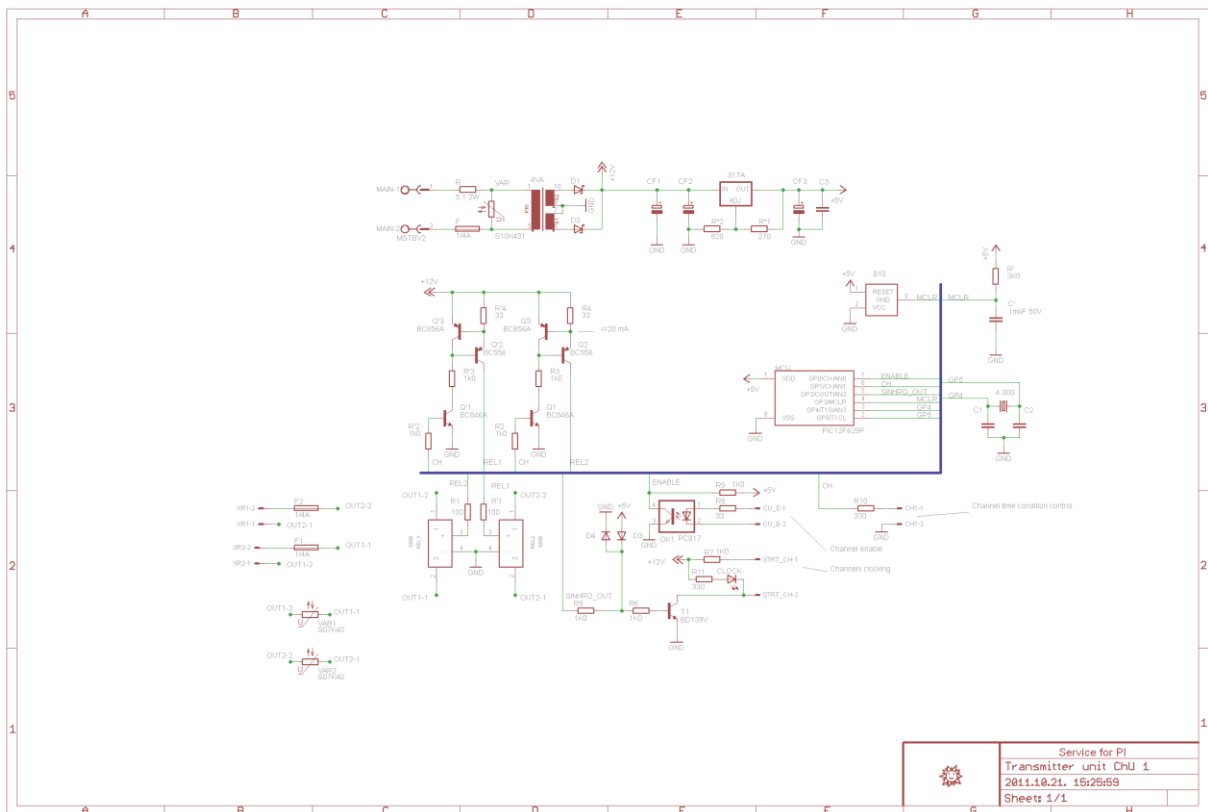
5.8. att. a) EMCT un ECT prototipa konstrukcija

b)

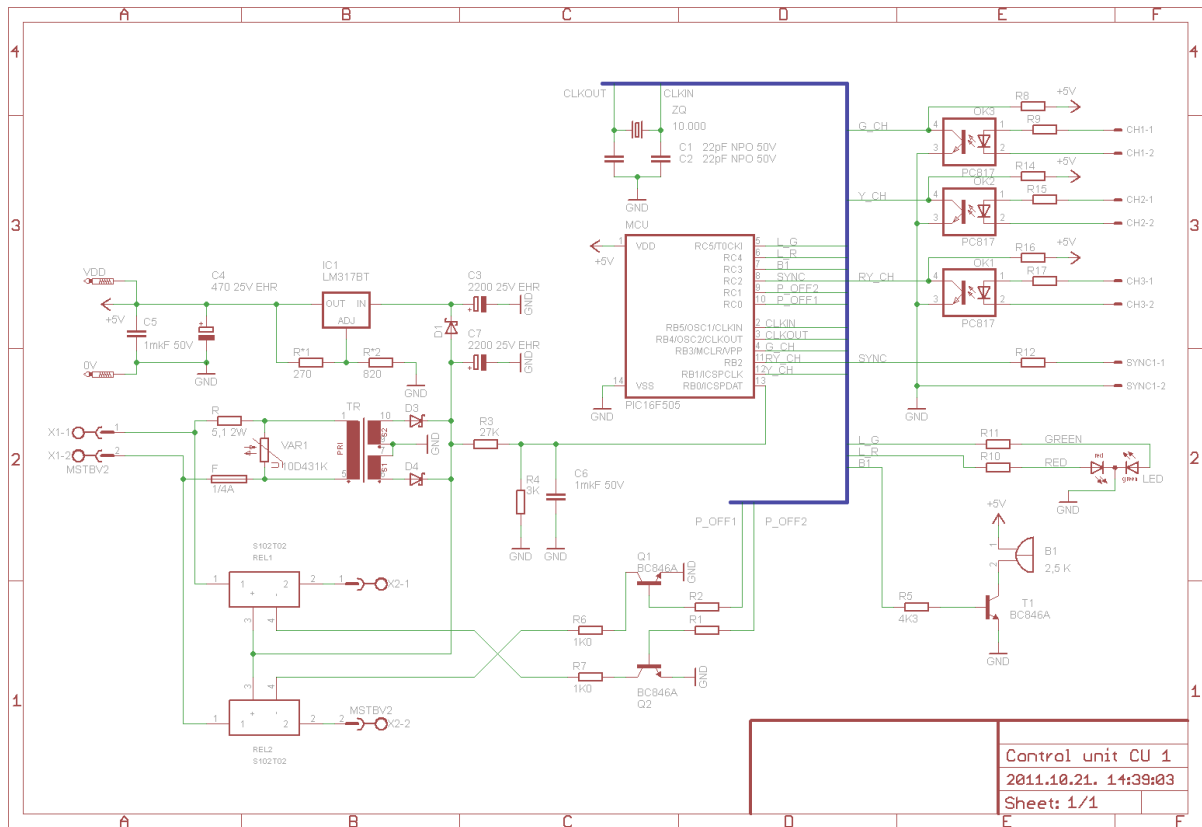


5.8. att. b) EMCT un ECT KPT-E prototips

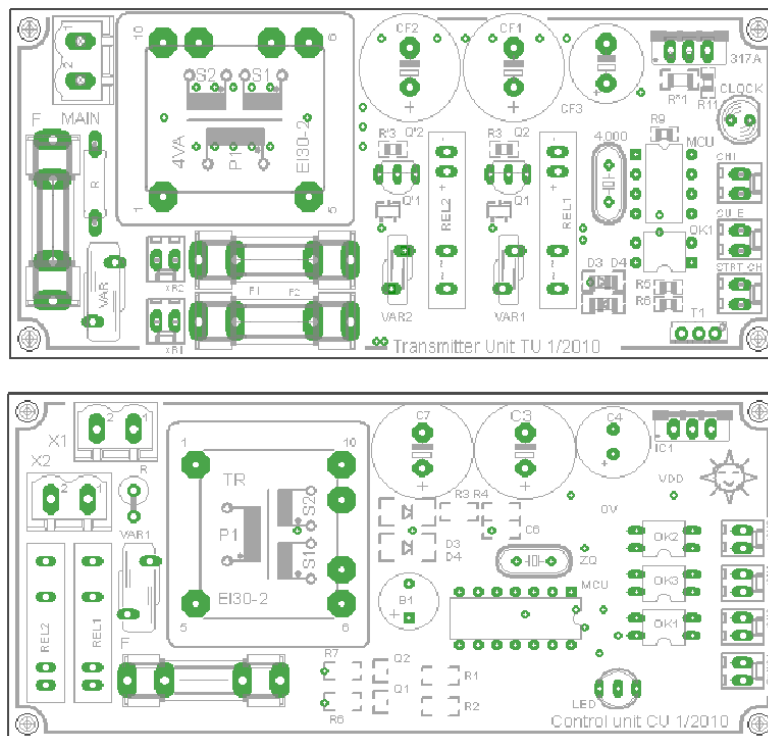
Prototipa kodu sekvenču formētāja (KSF) viena kanāla un kontroles ierīces (KI) principiālās shēmas piedāvātas 5.9. un 5.10. attēlā. Iespiedplates parādītas 5.11. attēlā.



5.9. att. KSF kodu kanāla principiālā shēma



5.10. att. KI kontroles ierīces principiālā shēma



5.11. att. Kodu kanāla un kontroles ierīces iespiedu plates

5.1.5. KPT-E drošuma un drošības rādītāji

Drošuma un drošības rādītāju aprēķina mērķis ir pierādīt ECT prototipa atbilstību SIL prasībām. Par drošuma ciparu kritērijiem pieņemti: atteices intensitāte λ , kuru aprēķina saskaņā ar [56,76]; bīstamas atteices varbūtība *PF_D*, kuru aprēķina pieņemtajam kalpošanas laikam saskaņā ar [58].

Pirms aprēķināt drošuma un drošības rādītājus, tiek noformulēti sekojoši nosacījumi:

- ECT atteices ir sekas, kas saistītas ar neatklātiem defektiem komponentos vai montāžā, kā arī normālas ekspluatācijas apstākļu neievērošana, kas var izraisīt defektus komponentos vai montāžā;
- elementu atteices pēc būtības ir neatkarīgi nejauši notikumi;
- komponenta drošums raksturots ar laiku līdz atteicei un atteices intensitāti, kas aprakstīta ar statistiskiem datiem no komponentu ražotāja puses.

Kā minēts iepriekš, vidējais laiks līdz atteicei *MTBF* ir vismaz 5 gadi vai 43824 stundas. ECT prototipa nepieciešamā drošuma līmeņa sasniegšanai nepieciešams:

- noteikt mezglus vai komponentus ar mazu drošumu un iespējamus tā paaugstināšanas paņēmienus;
- veikt atteices analīzi, izmantojot FTA (Fault Tree Analyze), ar mērķi noteikt mezglu vai komponentu atteices veidus;
- izmantot tipveida vai unificēto kanālu ar nepieciešamiem drošuma rādītājiem;
- veikt ECT reproducēšanas kvalitātes kontroli (Quality Management).

Drošuma aprēķins prototipam KPT-E veikts, izmantojot metodiku un modeļus ML-HDBK 217F (Military Handbook) [56]. Tabulā 5.3. apkopoti dažādu elementu rādītāji.

Drošuma aprēķina formulas

Komponents	Formulas Nr. pēc MIL HDBK 217	Atteices intensitāte [st. ⁻¹] x 10 ⁻⁶
Mikroshēmas	5.1	$\lambda = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L$
Diodes, varistori	6.1	$\lambda = \lambda_b\pi_T\pi_S\pi_C\pi_Q\pi_E$
Bipolārie tranzistori	6.3	$\lambda = \lambda_b\pi_T\pi_A\pi_R\pi_S\pi_Q\pi_E$
Optroni, gaismas diodes	6.11	$\lambda = \lambda_b\pi_T\pi_Q\pi_E$
Rezistori	9.1	$\lambda = \lambda_b\pi_T\pi_P\pi_S\pi_Q\pi_E$
Kondensatori	10.1	$\lambda = \lambda_b\pi_T\pi_C\pi_V\pi_{SR}\pi_Q\pi_E$
Transformatori	11.1	$\lambda = \lambda_b\pi_T\pi_Q\pi_E$
Cieta ķermeņa relejs	13.2	$\lambda = \lambda_b\pi_Q\pi_E$
Lodējami savienojumi	17.1	$\lambda = \lambda_b\pi_E$
Kvarca rezonators	19.1	$\lambda = \lambda_b\pi_Q\pi_E$

kur λ_p – aprēķināta atteices intensitāte, [st.⁻¹];

λ_b - komponenta bāzes atteices intensitāte, [st.⁻¹];

C_1 - atteices intensitāte no procesora sarežģītības, [st.⁻¹];

C_2 - atteices intensitāte no korpusa sarežģītības, [st.⁻¹];

π_T - temperatūras ietekmes koeficients,

π_C - konstruktīvas ietekmes koeficients,

π_R - jaudas režīma ietekmes koeficients,

π_A – aktīva elementa režīma ietekmes koeficients,

π_S – izmantošanas pēc sprieguma ietekmes koeficients,

π_V – pēc sprieguma slodzes ietekmes koeficients,

π_{SR} – pēc reakīvas jaudas izmantošanas ietekmes koeficients,

π_Q - kvalitātes ietekmes koeficients,

π_T - ekspluatācijas apstākļu ietekmes koeficients,

π_L – komponenta ražotnes izpētīšanas ietekmes koeficients.

Aprēķinu rezultāti apkopoti 5.4. un 5.5. tabulās

Tabula 5.4.

Drošuma aprēķins KI kontroles ierīcei

H/v/n	Name	Part	λ				π											ML-HDBK-217
			p	b	C1	C2	t(40°C)	c	R	P	a	s	v	sr	q	e(GF)	l(≥2y)	
1	MCU	PIC16F630-I-20, 8-bits, DIP14	0,0724	-	0,1400	0,0048	0,19	-	-	-	-	-	-	-	2,00	2,00	1,00	p 51
2	ZQ	10,000,Hz,HC49	0,1386	0,022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,10	3,00	-	p 191
3	REL1	S202T02, solid state	0,1653	0,029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,90	3,00	-	p 132	
3	REL2	S202T02, solid state	0,1653	0,029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,90	3,00	-		
4	VAR1	S10K431	0,09984	0,0013	-	-	1,60	1,00	-	-	-	1,00	-	3,00	6,00	-	p 61	
5	F	0,25A,250V	0,02	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-	p 221	
6	TR	E130-2,2n12V,0,083A	0,4792	0,022	-	-	1,20	-	-	-	-	-	-	3,00	6,00	-	p 111	
7	D1	SK16, 1A 60V	0,2112	0,025	-	-	1,60	1,00	-	-	-	0,11	-	3,00	6,00	-	p 61	
8	D2	SK16, 1A 60V	0,2112	0,025	-	-	1,60	1,00	-	-	-	0,11	-	3,00	6,00	-		
9	D3	SK16, 1A 60V	0,2112	0,025	-	-	1,60	1,00	-	-	-	0,11	-	3,00	6,00	-		
10	C1	22pF,NPO 50V	0,0248292	0,00099	-	-	1,90	0,44	-	-	-	-	1,00	1,00	3,00	10,00	-	
11	C2	22pF,NPO 50V	0,0248292	0,00099	-	-	1,90	0,44	-	-	-	-	1,00	1,00	3,00	10,00	-	
12	C3	2200mf,EHR,105 35V	0,0603288	0,00012	-	-	1,90	6,30	-	-	-	-	1,40	1,00	3,00	10,00	-	
13	C4	470mf,EHR,105 25V	0,028044	0,00012	-	-	1,90	4,10	-	-	-	-	1,00	1,00	3,00	10,00	-	
14	C5	1mf,0805 XTR,50V	0,05643	0,00099	-	-	1,90	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00	3,00	10,00	-	
15	C6	1mf,0805 XTR,50V	0,05643	0,00099	-	-	1,90	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00	3,00	10,00	-	
16	C7	2200mf,EHR,105 35V	0,0603288	0,00012	-	-	1,90	6,30	-	-	-	-	1,40	1,00	3,00	10,00	-	
17	OK1	PC817, 50mA 80V	0,3328	0,013000	-	-	1,60	-	-	-	-	-	-	3,00	2,00	-	p 611	
18	OK2	PC817, 50mA 80V	0,3328	0,013000	-	-	1,60	-	-	-	-	-	-	3,00	2,00	-		
19	OK3	PC817, 50mA 80V	0,3328	0,013	-	-	1,60	-	-	-	-	-	-	3,00	2,00	-		
20	IC1	LM317BT, ADJ-1,5A	0,058	-	0,0100	0,0012	0,34	-	-	-	-	-	-	10,00	2,00	1,00	p 51	
21	T1	BC846A, 0,1A 65V	0,001646494	0,00074	-	-	1,40	-	0,43	-	0,70	0,11	-	3,00	6,00	-	p 63	
22	Q1	BC846A, 0,1A 65V	0,001646494	0,00074	-	-	1,40	-	0,43	-	0,70	0,11	-	3,00	6,00	-		
23	Q2	BC846A, 0,1A 65V	0,001646494	0,00074	-	-	1,40	-	0,43	-	0,70	0,11	-	3,00	6,00	-		
24	B1	Piako, 33nF 1kHz	0,065885	0,00099	-	-	1,90	0,35	-	-	-	-	1,00	1,00	10,00	10,00	-	p 101
25	LED	GREEN, 5x2mm3-PIN	0,005888	0,000230	-	-	1,60	-	-	-	-	-	-	3,00	2,00	-	p 611	
25	LED	RED, 5x2mm3-PIN	0,005888	0,000230	-	-	1,60	-	-	-	-	-	-	3,00	2,00	-		
26	R	51 5% 2W,MFR	0,048945008	0,003700	-	-	1,20	-	0,89	-	0,99	-	-	3,00	4,00	-	p 91	
27	R*1	270 1% 1206 0,5W 100V	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
28	R*2	820 1% 1206 0,5W 100V	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
29	R3	27K 1% 1206 0,5W 100V	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
30	R4	39K 1% 1206 0,5W 100V	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
31	R5	4K3 1% 0805 0,5W 100V	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
32	R6	1K0 1% 1206 0,5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
33	R7	1K0 1% 1206 0,5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
34	R8	1K0 1% 0805 0,5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
35	R9	27 1% 0805 0,5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
36	R10	330 1% 0805 0,5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
37	R11	330 1% 0805 0,5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
38	R12	1K0 1% 1206 0,5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
39	R14	1K0 1% 0805 0,5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
40	R15	27 1% 0805 0,5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
41	R16	1K0 1% 0805 0,5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
42	R17	27 1% 0805 0,5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
43	Soldering etc	137	0,3561	0,0013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-	-		p 171
		Control Unit	3,953635746															

Tabula 5.5.

Drošuma aprēķins KSF kanālam „Sk.K.”

H/n	Name	Part	λ				π										MIL-HDBE-217		
			p	b	C1	C2	T(40°C)	C	R	P	A	S	V	SR	Q	E(GF) l(≥ 2 y)			
1	MCU	PC117639-120, 8-bim, DIP8	0,0436	-	0,1400	0,0026	0,19	-	-	-	-	-	-	-	2,00	2,00	1,00	p 5.1	
2	ZQ	4,000MHz, HC4F	0,1197	0,019000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,10	3,00	-	p 19.1	
3	REL1	1906, solid state	0,1653	0,029000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,90	3,00	-	p 13.2	
4	REL2	1906, solid state	0,1653	0,029000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,90	3,00	-		
5	VAR	S10K451	0,09984	0,001300	-	-	1,60	1,00	-	-	-	1,00	-	-	5,00	6,00	-	p 6.1	
6	VAR1	S10K40	0,09984	0,001300	-	-	1,60	1,00	-	-	-	1,00	-	-	5,00	6,00	-		
7	VAR2	S10K40	0,09984	0,001300	-	-	1,60	1,00	-	-	-	1,00	-	-	5,00	6,00	-		
8	F	0,12A 250V	0,0200	0,010000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-	p 22.1	
9	F1	1A 250V	0,0200	0,010000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-		
9	F2	1A 250V	0,0200	0,010000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-		
10	TR	E130-2, 2mF/0,11A	0,4752	0,022000	-	-	1,20	-	-	-	-	-	-	-	3,00	6,00	-	p 11.1	
11	D1	SK16, 1A 60V	0,2112	0,025900	-	-	1,60	1,00	-	-	-	0,11	-	-	5,00	6,00	-	p 6.1	
12	D2	SK16, 1A 60V	0,2112	0,025900	-	-	1,60	1,00	-	-	-	0,11	-	-	5,00	6,00	-		
13	C1	22mF, NPO 50V	0,0248292	0,000990	-	-	1,90	0,44	-	-	-	-	1,00	1,00	3,00	10,00	-	p 10.1	
14	C2	22mF, NPO 50V	0,0248292	0,000990	-	-	1,90	0,44	-	-	-	-	1,00	1,00	3,00	10,00	-		
15	CF1	1000mF, EHR, 105 25V	0,0469224	0,000120	-	-	1,90	4,90	-	-	-	-	1,40	1,00	3,00	10,00	-		
16	CF2	1000mF, EHR, 105 25V	0,0469224	0,000120	-	-	1,90	4,90	-	-	-	-	1,40	1,00	3,00	10,00	-		
17	CF3	470mF, EHR, 105 25V	0,028044	0,000120	-	-	1,90	4,10	-	-	-	-	1,00	1,00	3,00	10,00	-		
18	CF4	1mF, 0805 XTR, 50V	0,05643	0,00099	-	-	1,90	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00	3,00	10,00	-		
19	C	1mF, 0805 XTR, 50V	0,05643	0,00099	-	-	1,90	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00	3,00	10,00	-		
20	CK1	PC817, 50mA 80V	0,3328	0,013000	-	-	1,60	-	-	-	-	-	-	-	5,00	2,00	-		p 6.11
21	IC1	LM317BT, ADJ, 1.5A	0,058	-	0,0100	0,0012	0,34	-	-	-	-	-	-	-	10,00	2,00	1,00		p 5.1
22	T1	BD139, 1.5A 80V	0,006317942	0,00074	-	-	1,40	-	0,77	-	1,50	0,11	-	-	5,00	6,00	-		p 6.3
23	Q1	BC846A, 0.1A 65V	0,001646494	0,00074	-	-	1,40	-	0,43	-	0,70	0,11	-	-	5,00	6,00	-		
24	Q1	BC846A, 0.1A 65V	0,001646494	0,00074	-	-	1,40	-	0,43	-	0,70	0,11	-	-	5,00	6,00	-		
25	Q2	BC856A, 0.1A 65V	0,001646494	0,00074	-	-	1,40	-	0,43	-	0,70	0,11	-	-	5,00	6,00	-		
26	Q2	BC856A, 0.1A 65V	0,001646494	0,00074	-	-	1,40	-	0,43	-	0,70	0,11	-	-	5,00	6,00	-		
27	Q3	BC856A, 0.5A 65V	0,001646494	0,00074	-	-	1,40	-	0,43	-	0,70	0,11	-	-	5,00	6,00	-		
28	Q3	BC856A, 0.5A 65V	0,001646494	0,00074	-	-	1,40	-	0,43	-	0,70	0,11	-	-	5,00	6,00	-		
29	LED	RED, 1206	0,005888	0,000230	-	-	1,60	-	-	-	-	-	-	-	5,00	2,00	-	p 6.11	
30	R	5.1 1%, 2W MFR	0,046945008	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,39	-	0,99	-	-	3,00	4,00	-	p 9.1	
31	R+1	270 1%, 1206 0.5W 100V	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
32	R+2	820 1%, 1206 0.5W 100V	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
33	R1	100 1%, 1206 0.5W 100V	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
34	R1	100 1%, 1206 0.5W 100V	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
35	R2	1K0 1%, 1206 0.5W 100V	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
36	R2	1K0 1%, 1206 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
37	R3	1K0 1%, 1206 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
38	R3	1K0 1%, 1206 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
39	R4	33 1%, 1206 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
40	R4	33 1%, 1206 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
41	R5	1K0 1%, 0805 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
42	R6	1K0 1%, 0805 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
43	R7	1K0 1%, 1210 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
44	R8	33 1%, 0805 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
45	R9	1K0 1%, 0805 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
46	R10	33 1%, 0805 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
47	R11	330 1%, 0805 0.5W	0,020630016	0,003700	-	-	1,20	-	-	0,44	-	0,88	-	-	3,00	4,00	-		
48	Soldering sm	116	0,3016	0,001300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-	p 17.1	
		RED Channel	3,167567397																

KPT-E kontroles ierīces KI un formētāja KSF ar identiskiem kanāliem atteices intensitāte

λ_{apr}^{KPT-E} aprēķināta pēc formulas:

$$\lambda_{apr}^{KPT-E} \cong \lambda_{apr}^{KI} + \lambda_{apr}^{KSF"Sk.K."} + \lambda_{apr}^{KSF"Dz.K."} + \lambda_{apr}^{KSF"Z.K."}, \quad (5.3)$$

kur λ_{apr}^{KI} - kontroles ierīces aprēķināta atteices intensitāte, [st.⁻¹];

$\lambda_{apr}^{KSF"Sk.K."}$ - KSF „Sk.K.” kanālam aprēķināta intensitāte, [st.⁻¹];

$\lambda_{apr}^{KSF"Dz.K."}$ - KSF „Dz.K.” kanālam aprēķināta intensitāte, [st.⁻¹];

$\lambda_{apr}^{KSF"Z.K."}$ - KSF „Z.K.” kanālam aprēķināta intensitāte, [st.⁻¹].

Pēc tabulas 5.4. kontroles ierīcei KI atteices intensitātes aprēķinātais rādītājs:

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

Pēc tabulas 5.5. KSF formētāja kanālu „Sk.K.”, „Dz.K.” un „Z.K.” atteices intensitātes aprēķinātais rādītājs:

$$\lambda_{apr.}^{KSF^{Sk.K.}} = \lambda_{apr.}^{KSF^{Dz.K.}} = \lambda_{apr.}^{KSF^{Z.K.}} = 3.167567387 \cdot 10^{-6} \text{ [st.}^{-1}\text{]}$$

ECT prototipa KPT-E atteices intensitāte aprēķināta pēc formulas (5.3.):

$$\lambda_{apr.}^{KPT-E} \cong 13.456337907 \cdot 10^{-6} \text{ [st.}^{-1}\text{]}$$

ECT prototipa *MTBF* rādītājs:

$$MTBF_{apr.}^{KPT-E} = (\lambda_{apr.}^{KPT-E})^{-1}. \quad (5.4)$$

Pēc formulas (5.4) ECT prototipa aprēķināta *MTBF* rādītājs vērtība ir

$$MTBF_{apr.}^{KPT-E} \cong 74314 \text{ [st.]}$$

Pēc izvirzītajiem nosacījumiem *MTBF* rādītāja vērtība nevar būt mazāka par 43824 stundām. Tas nozīmē, ka pieprasītais *MTBF* sasniegts ar rezerves koeficientu r_{MTBF}^{KPT-E} :

$$r_{MTBF}^{KPT-E} = \frac{MTBF_{apr.}^{KPT-E}}{MTBF} = \frac{74314}{43824} \cong 1.7$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ECT KPT-E ar kodu ciparu secību atbilstoši EMCT 715 tipam:

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

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

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

Bīstamās atteices intensitāte KPT-E prototipam:

$$\lambda_{\text{Bīstams stāvoklis}}^{KPT-E} \approx t_{\text{Drošs stāvoklis}}^{KPT-E \text{ max.}} \cdot (\lambda_{\text{apr.}}^{KSF "Sk.K"})^2. \quad (5.5)$$

Aprēķināts bīstamas atteices rādītājs pēc formulas (5.5) ir

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

Bīstamās atteices intensitāte 20 gadu kalpošanas laikā pēc tabulas 5.2. atbilst 3. līmeņa drošības prasībām (SIL 3) funkcionēšanai bez pārtraukumiem.

Bīstamas atteices varbūtība:

$$PFD = 1 - e^{-(\lambda_{\text{Bīstams stāvoklis}}^{KPT-E} \cdot LifeTime)}. \quad (5.6)$$

Aprēķināts bīstamas atteices varbūtības rādītājs pēc formulas (5.5) ir

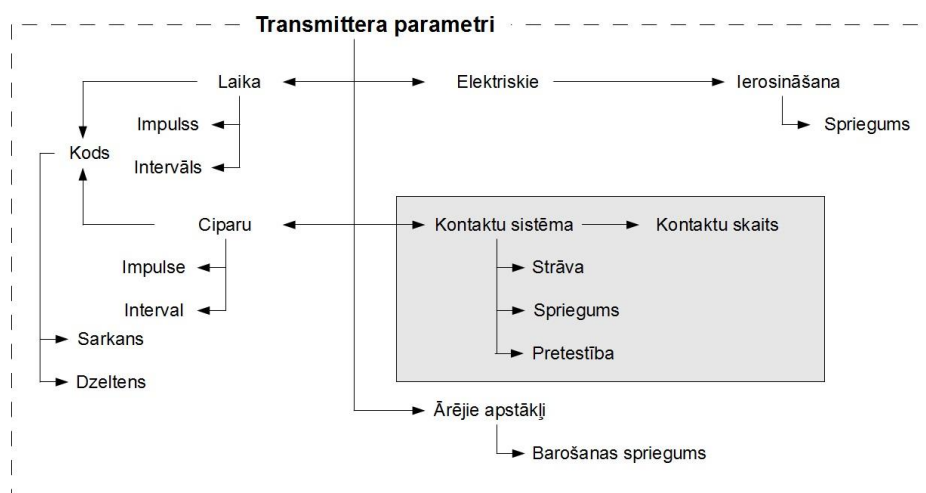
$$PFD = 2.63823995983 \cdot 10^{-9}.$$

5.2. Secinājumi

- konstatēts, ka augstas pakāpes drošums un drošība ir savstarpēji konkurējošas prasības, jo drošības rādītāju sasniegšana pieprasa aparatūras daļas dublēšanu un rezervēšanu, kas palielina aparatūras apjomu un samazina drošumu;
- pēc aprēķinātajiem drošuma un drošības skaitliskajiem rādītājiem secināts, ka ECT prototipam izvēlētajā funkcionālā shēma ar funkcijas sadalīšanu ir efektīva abos plānos, sasniedz augstāku drošuma rādītāju *MTBF* un vienlaicīgi nodrošina loģiskas kļūdas varbūtības samazināšanos;
- konstatēts, ka kontroles funkcijas atdalīšana ļaus izslēgt loģiskas kļūdas varbūtības ietekmi uz pamatfunkcijas izpildīšanu;
- pierādīts prototipa drošuma līmenis, kas ir SIL3.

Tādā veidā, izmantojot 5.1. attēlā uzrādīto parametru kopumu, ECT parametru skaits ir $Prm^{\Sigma}=35$.

Cietķermeņa releja izmantošana pieļauj kontaktu sistēmas parametru nemainīgumu ekspluatācijas laikā. ECT diagnosticējamie parametri uzrādīti 5.12. attēlā.



5.12. att. Diagnosticējamie parametri

ECT pašdiagnosticēšanas parametru skaits ir $Prm^D=28$ un sasniegtais diagnosticēšanas dziļums pēc izteiksmes (1.11):

$$PD(Prm) = \frac{Prm^D}{Prm^{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{28}{35} \cdot 100\% \cong 80\%.$$

KOPĒJIE SECINĀJUMI

Promocijas darbā veikta dzelzceļa automātikas un telemehānikas sistēmu 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:

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

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 ieviests 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 releju 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

aparātūras drošumu un drošību, vienlaicīgi pazeminot izmaksas, realizē BITE tehnoloģiju, kas nepaaugstina iekārtas īpatsvaru. Darbā minēti drošuma rādītāju aprēķini, tādi kā:

- bīstamās atteices intensitātes rādītājs:

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

- 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. АРМ 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. EBI*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 станционных 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&usg=AFQjCNHKZtfhLOjlgZjxIvuwRLmjFkidLA
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-protseessov-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-ustroystv-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.: Марирут, 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.: ВНУ, 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., Levčenkovs 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/XOAWCBAAAAAAAAAAAA>
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. Надёжность в технике. Расчёт надёжности. Основные положения.
79. Наседкин О.А., Ледеяев 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. Кораго И., Любинский В. Численные методы определения оптимального периода проведения регламентных работ для профилактической стратегии технического обслуживания систем ЖАТ. ВГТУ, Материалы конференции: Наука – Будущее Ливны, 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 tool 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 thereof*
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 Трансмиссия бесконтактный кодовый путевого резервируемый (БКПТ-Р)

PIELIKUMI

1. pielikums

Programmatūra relatīvas neatbilstības koeficientu aprēķinam C valoda

```
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;
short unsigned int n, m, N, M, K;
char Elements[10][10]; short int NormalityFactorN[10][10]; short int NormalityFactorP[10][10]; int Parameter[10][10];
int NominalParameter[10][10]; int DeltaParameterN[10][10], NormalityLevelN[10][10], AnormalityLevelN[10][10];
int DeltaParameterP[10][10], NormalityLevelP[10][10], AnormalityLevelP[10][10]; int Rezult[10][10];
int StatisticNormalElement, StatisticMaitenancyElement, StatisticBreaakedElement;
int main( void ) {
    std::cout << "Enter Elements numbers lighth->"; std::cin >> N; std::cout;
    std::cout << "Enter Elements numbers hight->"; std::cin >> M; std::cout << std::endl;
    for ( n = 0; n < N; n++ ) { for ( m = 0; m < M; m++ )
        { std::cout << " Parameter [" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "]="; std::cin >> Parameter[n][m];
          std::cout << " Nominal [" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "]="; std::cin >> NominalParameter[n][m];
          if ( NominalParameter[n][m] = Parameter[n][m] ) // Parameter is nominal
            { Rezult[n][m] = 1; }
          if ( NominalParameter[n][m] > Parameter[n][m] ) // Parameter going to N
            { std::cout << " Delta N[" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "]="; std::cin >> DeltaParameterN[n][m];
              if ( DeltaParameterN == 0 ) { DeltaParameterN[n][m] = ( NominalParameter[n][m] * 25 ) / 100; }
              if ( NominalParameter[n][m] - Parameter[n][m] <= DeltaParameterN[n][m] )
                { NormalityFactorN[n][m] = 100 - ( 100 / DeltaParameterN[n][m] ) * ( NominalParameter[n][m] -
Parameter[n][m] );
                  std::cout << " Normality Nom. > Param. - " << NormalityFactorN[n][m] << "%"; std::cout << std::endl;
                  std::cout << " Normality Level N[" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "]="; std::cin >> NormalityLevelN[n][m];
                  std::cout << std::endl;
                  std::cout << " Anormality level% N [" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "]="; std::cin >> AnormalityLevelN[n][m];
                  std::cout << std::endl;
                  if ( 100 >= NormalityFactorN[n][m] >= NormalityLevelN[n][m] )
                    { Rezult[n][m] = 1; } // Element one changes
and defects
                  if ( NormalityLevelN[n][m] > NormalityFactorN[n][m] >= AnormalityLevelN[n][m] )
                    { Rezult[n][m] = 0; } // Element with changes
                    if ( AnormalityLevelN[n][m] > NormalityFactorN[n][m] )
                    { Rezult[n][m] = -1; } // Element with defects
                    }
                  else { Rezult[n][m] = -1; } }
            if ( NominalParameter[n][m] < Parameter[n][m] ) // Parameter going to P
            { std::cout << " Delta P[" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "]="; std::cin >> DeltaParameterP[n][m];
              if ( DeltaParameterP == 0 ) { DeltaParameterP[n][m] = ( NominalParameter[n][m] * 25 ) / 100; }
              if ( Parameter[n][m] - NominalParameter[n][m] <= DeltaParameterP[n][m] )
                { NormalityFactorP[n][m] = 100 - ( 100 * ( Parameter[n][m] - NominalParameter[n][m] ) ) /
DeltaParameterP[n][m];
                  std::cout << std::endl;
                  std::cout << " Normality Nom. < Param. + " << NormalityFactorP[n][m] << "%"; std::cout << std::endl;
                  std::cout << " Normality Level P[" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "]="; std::cin >> NormalityLevelP[n][m];
                  std::cout << std::endl;
                  std::cout << " Anormality level% P [" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "]="; std::cin >> AnormalityLevelP[n][m];
                  std::cout << std::endl;
                  if ( 100 >= NormalityFactorP[n][m] >= NormalityLevelP[n][m] )
                    { Rezult[n][m] = 1; } // Element one changes and defects
                  if ( NormalityLevelP[n][m] > NormalityFactorP[n][m] >= AnormalityLevelP[n][m] )
                    { Rezult[n][m] = 0; } //
Element with changes
                    if ( AnormalityLevelP[n][m] > NormalityFactorP[n][m] )
                    { Rezult[n][m] = -1; } //
Element with defects
                    }
                }
            }
        }
    }
```

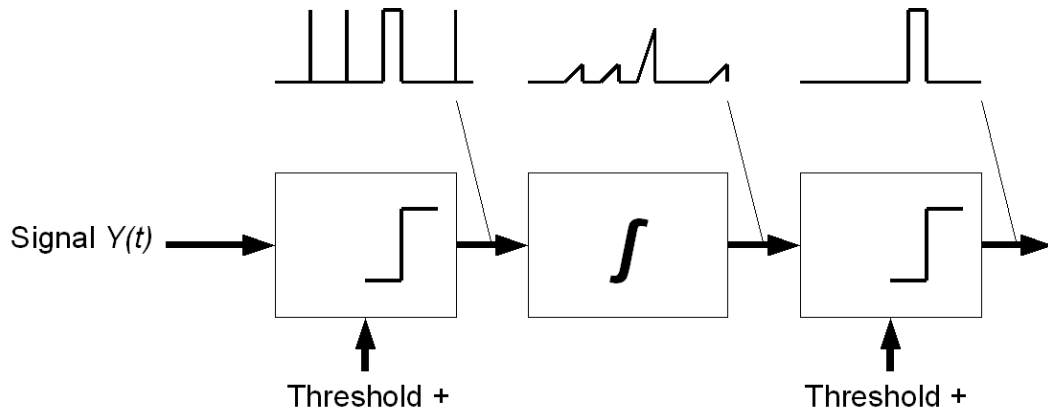
```

else { Result[n][m] = -1; } } }
std::cout << "Wait Data processing..." << std::endl;
ofstream out( "Test_parameters" );
if ( !out ) { std::cout << "Cannot open file.\n"; }
for ( n = 0; n < N; n++ ) { for ( m = 0; m < M; m++ )
{ if ( Result[n][m] == 0 ) { out << " Element[" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "] wait for maintenance..." <<
endl; }
if ( Result[n][m] == 1 ) { out << " Element[" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "] is normal..." << endl; }
if ( Result[n][m] == -1 ) { out << " Element[" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "] is broken..." << endl; }
out << " Parameter " << Parameter[n][m] << endl;
out << " Nominal " << NominalParameter[n][m] << endl;
out << " Delta N,P [" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "] = " << DeltaParameterN[n][m] << " N "
<< DeltaParameterP[n][m] << " P" << endl;
out << " Normality N,P [" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "] = " << NormalityFactorN[n][m] << " N "
<< NormalityFactorP[n][m] << " P" << endl;
out << "Anormality - Normality levels N " << AnormalityLevelN[n][m] << " to " << NormalityLevelN[n][m] << endl;
out << "Anormality - Normality levels P " << AnormalityLevelP[n][m] << " to " << NormalityLevelP[n][m] << endl;
out << " Result " << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "] " << Result[n][m] << endl;
out << " " << endl;
}
}
out << endl;
}
out.close();
std::cout << "Proccesing Rezult stored. Ok!" << std::endl;
for ( n = 0; n < N; n++ ) { for ( m = 0; m < M; m++ ) {
if ( Result[n][m] == 0 ) { std::cout << " Element[" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "] wait for maintenance..." <<
std::endl;
StatisticMaitenancyElement=StatisticMaitenancyElement+1; }
if ( Result[n][m] == 1 ) { std::cout << " Element[" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "] is normal..." << std::endl;
StatisticNormalElement=StatisticNormalElement+1; }
if ( Result[n][m] == -1 ) {
std::cout << " Element[" << n + 1 << "]"[" << m + 1 << "] is broken..." << std::endl;
StatisticBreaakedElement=StatisticBreaakedElement+1; }
}
std::cout << std::endl;
}
StatisticNormalElement=(StatisticNormalElement*100)/N/M;
StatisticMaitenancyElement=(StatisticMaitenancyElement*100)/N/M;
StatisticBreaakedElement=(StatisticBreaakedElement*100)/N/M;
std::cout << " " << std::endl;
std::cout << " Statistics: " << std::endl;
std::cout << " Normal elements " << StatisticNormalElement << " %" << std::endl;
std::cout << " Maitenancy elements " << StatisticMaitenancyElement << " %"
<< std::endl;
std::cout << " Breaaked elements " << StatisticBreaakedElement << " %" << std::endl;
std::cout << " Succesfully!" << std::endl; std::cin >> K;
return 0;
}
Enter Elements numbers lighth->3
Enter Elements numbers hight->3

```

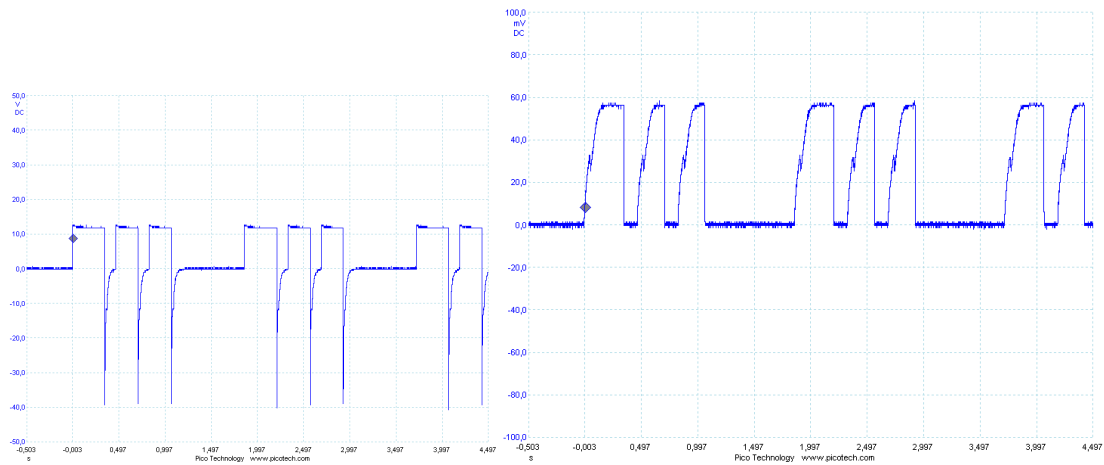
Līmita pārbaudes metode

Metodes ticamības paaugstināšana izmantojot laika kritēriju. Signāla un nejaušas fluktuācijas sadalīšana [23].

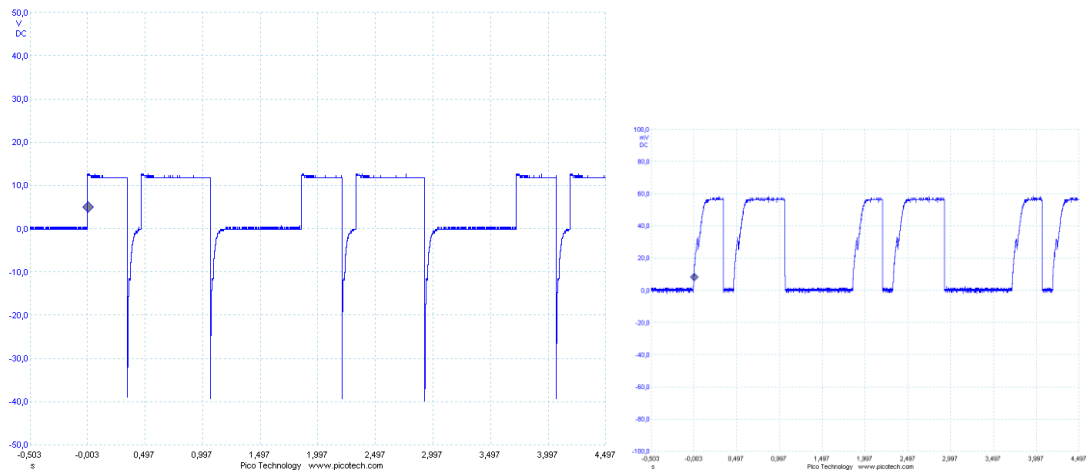


1. att. Funkcionāla shēma

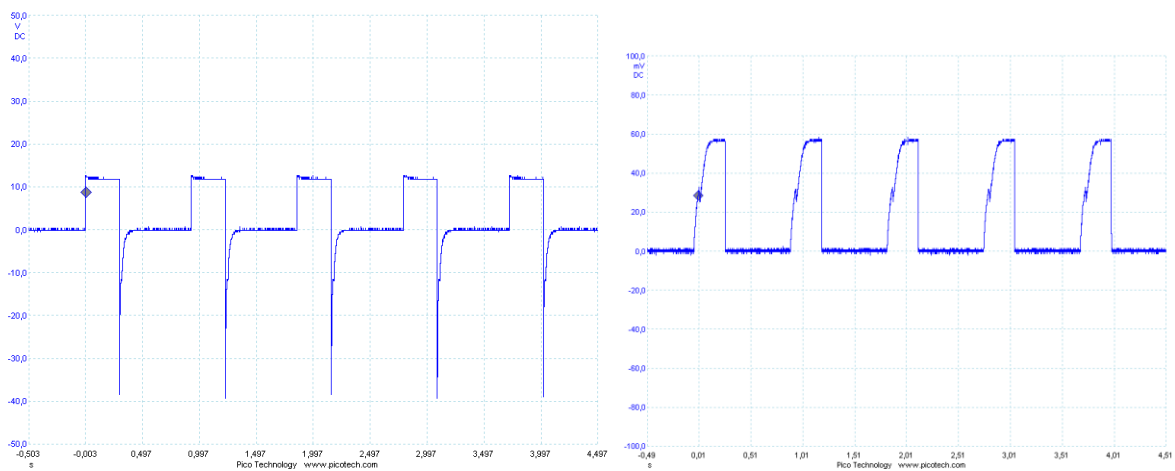
Pārejas procesi TIII-65 releja-atkārtotāja spolē impulsu režīmā



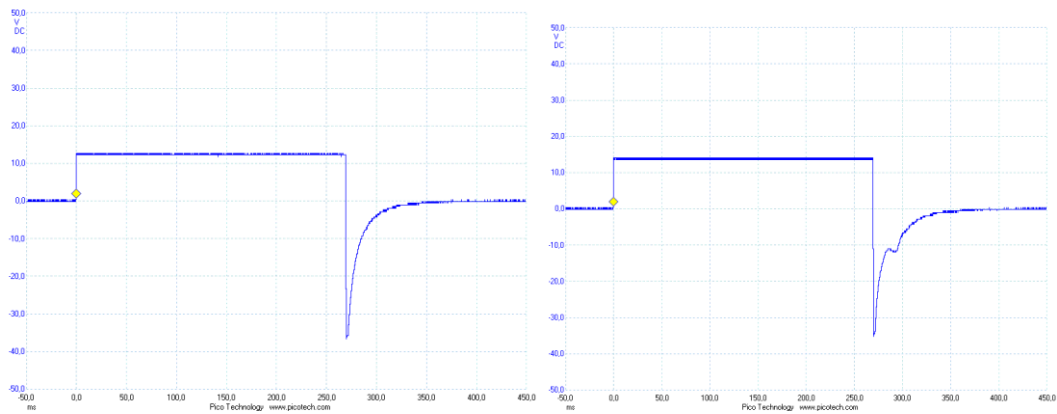
2. att. Spriegums un srtāva TIII-65 spole, kods «Z.»



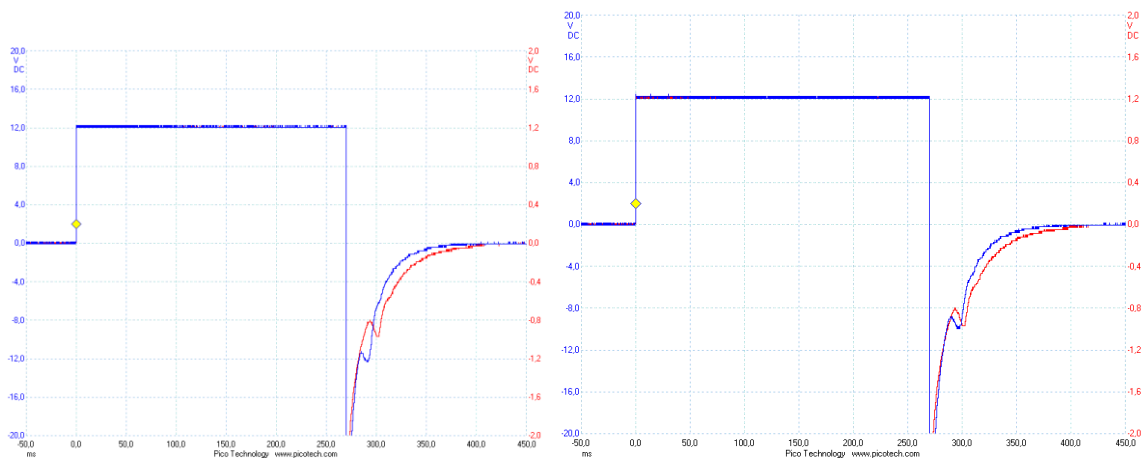
3. att. Spriegums un srtāva TIII-65 spole, kods «Dz.»



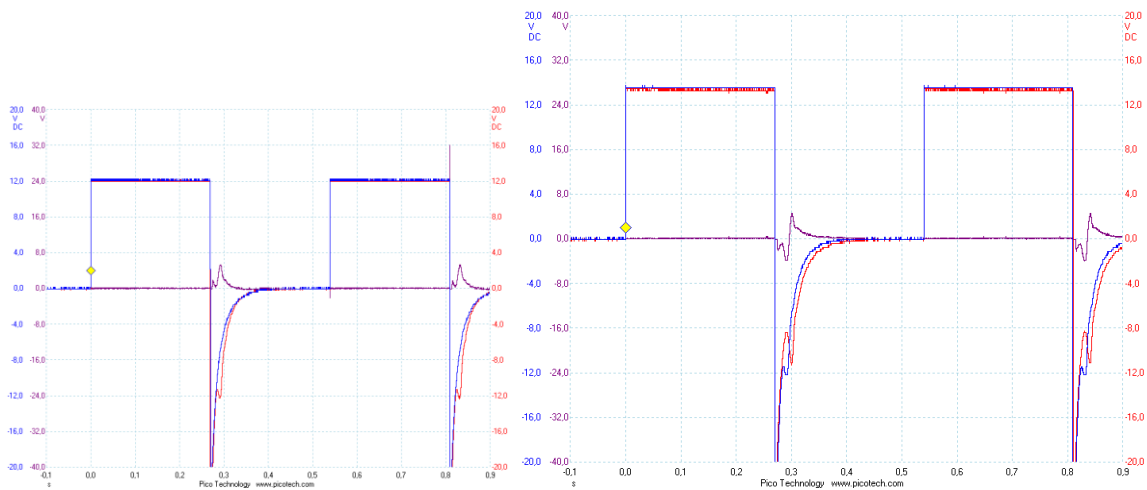
4. att. Spriegums un srtāva TIII-65 spole, kods «Sk.»



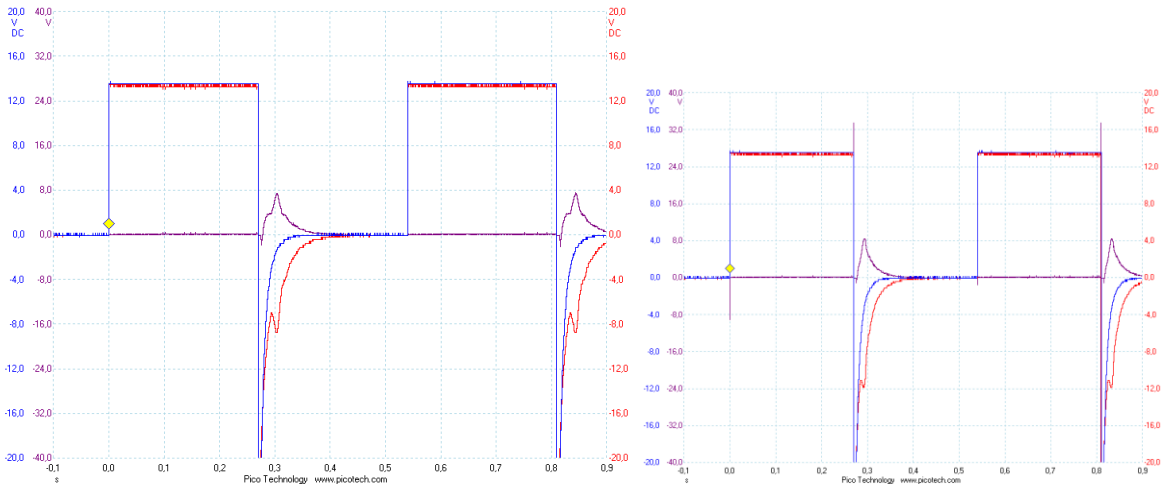
5. att. Spriegums uz THH-65 spole, bez un ar enkura klatbūtne



6. att. Spriegums uz THH-65 spoles, ar dažādus enkurus klatbūtne



7. att. Spriegums uz THH-65 spoles, ar dažādus enkurus klatbūtne un differences signāls



8. att. Spriegums uz TИИ-65 spoles, bez un ar enkura klātbūtne, un differences signāls

ECT sastāvdaļas programmatūra

```

/
;*****
;* Yellow Code Chanell KPTS-E (SCB equipment) Firmware V 1.0;
;*****
;* FileName:      KPTS-E_YELLOW.asm
;* Dependencies:
;* Processor:     PIC16F629
;* Compiler:      Microchip MPASM Assembler
;* Company:      ----
;*
;* Author          Date          Comment
;*****
;* Vladimirs Karevs  11.05.10    Original.
;*****
/

processor PIC12F629 ;12F629
; __CONFIG 0x12
#include <P12F629.inc>
;Port input/output pins dis
;GP0 - digital input ENABLE, CU is presented
;GP1 - digital output CH, signal to timing control
;GP2 - digital output SINHONIZATION for YELLOW and GREEN CHs
;GP3 - MCLR
;GP4 - OSC
;GP5 - OSC

;          ROUTINS for 715 TYPE TRANSMITTER
;General purpose registers.
STEP1 EQU 20H
STEP2 EQU 21H
PORTG EQU 22H
WORK_REG EQU 23H
REPEAT EQU 24H
#DEFINE PHASE WORK_REG,0
#DEFINE PHASE1 WORK_REG,1
#DEFINE PHASE2 WORK_REG,2
#DEFINE MODE WORK_REG,3
ORG 0
GOTO ROUTINE
ORG 4
BCF INTCON, T1IF
MOVLW 0EFH
banksel TMR1L
MOVWF TMR1L
MOVLW 0D8H
banksel TMR1H
MOVWF TMR1H
BSF INTCON, GIE
RETFIE

ROUTINE:
ORG 100
BCF STATUS, RP1
BCF STATUS, RP0
MOVLW B'00000111' ;CM2:CM0 = 111
MOVWF CMCON
BSF STATUS, RP0
CLRF WPU

```

```

BSF      WPU,2
CLRF     INTCON
BCF      INTCON, GIE      ;Global Interrupt Enable bit
BCF      INTCON, PEIE     ;Peripheral Interrupt Enable bit
BCF      INTCON, T0IE     ;TMR0 Overflow Interrupt Enable bit
BCF      INTCON, INTE     ;GP2/INT External Interrupt Enable bit
BCF      INTCON, GPIE     ;Port Change Interrupt Enable bit
BCF      INTCON, T0IF     ;TMR0 Overflow Interrupt Flag bit
BCF      INTCON, INTF     ;GP2/INT External Interrupt Flag bit
BCF      INTCON, GPIF     ;Port Change Interrupt Flag bit
CLRF     IOC
CLRF     OPTION_REG
BCF      OPTION_REG, NOT_GPPU ;pull-ups are enabled
BSF      OPTION_REG, PSA  ;Prescaler to WDT
BSF      OPTION_REG, PS2
BSF      OPTION_REG, PS1
BSF      OPTION_REG, PS0
BCF      STATUS, RP1
BCF      STATUS, RP0
BCF      STATUS, RP0
BCF      INTCON, T0IF
BCF      INTCON, GIE
banksel  TRISIO ;
MOVLW   B'11111001'
BSF      STATUS, RP0
MOVWF   TRISIO
BCF      STATUS, RP0
;
TMR1 module initialization
banksel  T1CON
BCF      T1CON, TMR1GE     ;Timer1 Gate Enable bit
BCF      T1CON, T1CKPS1    ;Timer1 Input Clock Prescale Select bits
BCF      T1CON, T1CKPS0    ;Timer1 Input Clock Prescale Select bits
BCF      T1CON, T1OSCEN    ;LP Oscillator Enable Control bit
BCF      T1CON, NOT_T1SYNC ;Timer1 External Clock Input Synchronization Control bit
BCF      T1CON, TMR1CS     ;Timer1 Clock Source Select bit
BCF      T1CON, TMR1ON     ;Timer1 On bit
banksel  PIR1
BCF      PIR1, TMR1IF
MOVLW   0EFH ;
banksel  TMR1L ;
MOVWF   TMR1L ;
MOVLW   0D8H ;
banksel  TMR1H ;
MOVWF   TMR1H ;
banksel  T1CON ;
BSF      T1CON, TMR1ON     ;Timer1 On bit

STRT:
BTFSC   GPIO, GP0         ;Sinhro signal
GOTO    $-1 ;
BCF     GPIO, GP2 ;
BCF     GPIO, GP1 ;
MOVLW  03H ;3 x 10-msek timing cycles
MOVWF  REPEAT
REPEAT_INTERVAL:
BTFSS   PIR1, TMR1IF     ;Wait for TMR1 overflow
GOTO    $-1
        banksel  PIR1
        BCF     PIR1, TMR1IF
        MOVLW  0EFH
        banksel  TMR1L
        MOVWF  TMR1L
        MOVLW  0D8H
        banksel  TMR1H
        MOVWF  TMR1H
        DECFSZ REPEAT, F
        GOTO   REPEAT_INTERVAL
        BSF    GPIO, GP2 ;
        BSF    GPIO, GP1 ;
        MOVLW  023H ;35 x 10-msek timing cycles
        MOVWF  REPEAT
REPEAT_IMPULS1:

```

```

banksel   PIR1
BTFSS    PIR1,TMR1IF           ;Wait for TMR1 overflow
GOTO     $-1
          banksel   PIR1
          BCF      PIR1, TMR1IF
          MOVLW   0EFH
          banksel   TMR1L
          MOVWF   TMR1L
          MOVLW   0D8H
          banksel   TMR1H
          MOVWF   TMR1H
DECFSZ   REPEAT, F
GOTO     REPEAT_IMPULS1
BCF      GPIO, GP2             ;
BCF      GPIO, GP1             ;
MOVLW   00CH                   ;12 x 10-msek timing cyckles
MOVWF   REPEAT

```

```

DECFSZ   REPEAT, F
GOTO     REPEAT_IMPULS2
BCF      GPIO, GP2             ;
BCF      GPIO, GP1             ;
MOVLW   048H                   ;72 10-msek timing cyckles
MOVWF   REPEAT

```

```

REPEAT_INTERVAL2:
BTFSS    PIR1,TMR1IF           ;Wait for TMR1 overflow
GOTO     $-1
          banksel   PIR1
          BCF      PIR1, TMR1IF
          MOVLW   0EFH
          banksel   TMR1L
          MOVWF   TMR1L
          MOVLW   0D8H
          banksel   TMR1H
          MOVWF   TMR1H
DECFSZ   REPEAT, F
GOTO     REPEAT_INTERVAL2
GOTO     STRT
END

```

```

/
;*****
;* Supervisor for ALSN coding generator KPTS-E (SCB equipment) Firmware V 1.0 b
;*****
;* FileName:      KPTS-E_Supervisor.asm
;* Dependencies:
;* Processor:     PIC16F630
;* Compiler:      Microchip MPASM Assembler
;* Company:      ----
;*
;* Author          Date          Comment
;* ~~~~~
;* Maksim Ivanov   20.03.2010    Original.
;* Maksim Ivanov   04.07.2010    Original (ready for testing in equipment)
;*****
/
; Clock:  20.000 MHz
          #include <P16f630.inc>
; Device configuration;
          _CONFIG           _BODEN & _PWRTE_ON & _MCLRE_OFF & _WDT_OFF & _HS_OSC & _CP
          org               0           ;Reset vector
          goto             Start

```

```

org      4      ;Interrupt vector
goto    Service
;-----
; Variables
cblock  0x020
G_IMP1_L, G_IMP1_H, G_INT1_L, G_INT1_H      ;
G_IMP2_L, G_IMP2_H, G_INT2_L, G_INT2_H      ;
G_IMP3_L, G_IMP3_H, G_INT3_L, G_INT3_H      ;
Y_IMP1_L, Y_IMP1_H, Y_INT1_L, Y_INT1_H      ;
Y_IMP2_L, Y_IMP2_H, Y_INT2_L, Y_INT2_H      ;
RY_IMP1_L, RY_IMP1_H, RY_INT1_L, RY_INT1_H;
TEMP, G_TIME_L, G_TIME_H, Y_TIME_L          ; TEMP - for temporary use
Y_TIME_H, RY_TIME_L, RY_TIME_H              ;
G_EDG_CNT, Y_EDG_CNT, RY_EDG_CNT           ;
MNTR_CONTROL, FLAGS                         ;
W_TEMP, STATUS_TEMP, PCLATH_TEMP           ; Context saving registers
G_POINTER, Y_POINTER, RY_POINTER           ;
RY_ACC, Y_ACC, RY_SG_L, RY_SG_H            ;
Y_SG_L, Y_SG_H, G_SG_L, G_SG_H            ;
CMP_TIMER, BUZZ_TIME_1, BUZZ_TIME_2       ;
LED_TIME, Y_CRIT_DISCNT, RY_CRIT_DISCNT    ;
endc
; DEFINE section
;#DEFINE KPTS_5
;#DEFINE KPTS_7
;#DEFINE PORTA_CONFIG  b'1111111';
;#DEFINE PORTC_CONFIG  b'000000';
;#DEFINE RY_SG_INT     MNTR_CONTROL, 0;
;#DEFINE Y_SG_INT      MNTR_CONTROL, 1;
;#DEFINE G_SG_INT      MNTR_CONTROL, 2;
;#DEFINE RY_OK         MNTR_CONTROL, 3;
;#DEFINE Y_OK          MNTR_CONTROL, 4;
;#DEFINE G_OK          MNTR_CONTROL, 5;
;#DEFINE BUZZER_ON     MNTR_CONTROL, 6;
;#DEFINE LED_FLASH_ON MNTR_CONTROL, 7;
;#DEFINE G_WAIT_INT    FLAGS, 0
;#DEFINE Y_WAIT_INT    FLAGS, 1
;#DEFINE RY_WAIT_INT   FLAGS, 2
;#DEFINE RY_LNG_INT    FLAGS, 3
;#DEFINE Y_LNG_INT     FLAGS, 4
;#DEFINE G_LNG_INT     FLAGS, 5
; Device pin assignment section
;#DEFINE PWR_CNTRL_1   PORTC, 0; OUT
;#DEFINE PWR_CNTRL_2   PORTC, 1; OUT
;#DEFINE FEEDBACK      PORTC, 2; OUT
;#DEFINE BUZZER        PORTC, 3; OUT
;#DEFINE LED_RED       PORTC, 4; OUT
;#DEFINE LED_GRN       PORTC, 5; OUT
;#DEFINE G_IN          PORTA, 3; D_IN
;#DEFINE Y_IN          PORTA, 1; D_IN
;#DEFINE RY_IN         PORTA, 2; D_IN
;#DEFINE V_CONTR       PORTA, 0; A_IN
;-----
; Initialisation
;-----
Start
clrf  STATUS          ; Reset memory after power on
clrf  TMR0             ;
clrf  FLAGS           ;
clrf  G_TIME_L        ;
clrf  G_TIME_H        ;
clrf  Y_TIME_L        ;
clrf  Y_TIME_H        ;
clrf  RY_TIME_H       ;
clrf  RY_TIME_L       ;
clrf  MNTR_CONTROL    ;
clrf  RY_ACC           ;
clrf  Y_ACC           ;
clrf  RY_EDG_CNT      ;
clrf  Y_EDG_CNT       ;
clrf  G_EDG_CNT       ;
clrf  BUZZ_TIME_1     ;

```

```

        clrf      BUZZ_TIME_2      ;
        clrf      RY_CRIT_DISCNT   ;
        clrf      Y_CRIT_DISCNT   ;
        BANKSEL   PORTA            ; Bank 0
        clrf      PORTA            ; Init PORTA
        clrf      PORTC            ; Init PORTC
        movlw    07h               ; Set RA<2:0> to
        movwf    CMCON             ; digital I/O, comparator off
        BANKSEL   TRISA            ; Bank 1
        movlw    b'0000100'        ; presc. 1/32
        movwf    OPTION_REG        ; PORTA pull-ups enabled
        movlw    PORTA_CONFIG      ;
        movwf    TRISA             ;
        movlw    b'110111'        ; pull-ups
        movwf    WPUA              ; setting
        movlw    PORTC_CONFIG      ;
        movwf    TRISC             ;
        BANKSEL   PORTA            ; Bank 0
        movlw    b'1010000'        ;
        movwf    INTCON            ;
        movlw    0xAA              ;
        movwf    BUZZ_TIME_2      ;
        goto     Main              ;
;-----
; Main program
;-----
Main
        call     Power_control
        call     RY_proc
        call     RY_sig
        call     Y_proc
        call     Y_sig
        call     G_proc
        call     G_sig
        call     Wrn_check
        goto     Main
;-----
; Procedures
;-----
; Write Data from W to EEPROM register Nr.0
;-----
Reg_crit
        BANKSEL   EEDATA          ; Bank 1
        btfscl   EECON1, WR       ; If writing not finished
        goto     Reg_ret          ;
        movwf    EEDATA           ; Write data from W to EEDATA
        clrf     EEADR            ; Clear EEPROM register address
        bsf      EECON1, WREN      ; Enable write mode
        bcf      INTCON, GIE       ; Disable INTs
;-----
        movlw    055              ;
        movwf    EECON2           ; Standart procedure
        movlw    0AA              ;
        movwf    EECON2           ;
;-----
        bsf      EECON1, WR       ; Enter write data
        bsf      INTCON, GIE       ; Enable INTS
;
        btfscl   EECON1, WR       ; If writing not finished
;
        goto     $-1              ; then wait.
        bcf      EECON1, WREN      ; Disable write mode
        BANKSEL   PORTA            ; Bank 0
Reg_ret
        return
;-----
; Interrupt service procedure
;-----
Service
        MOVWF    W_TEMP           ; Copy W to TEMP register
        SWAPF    STATUS, W        ; Swap status to be saved into W
        CLRF     STATUS           ; bank 0, regardless of current bank, Clears IRP,RP1,RP0
        MOVWF    STATUS_TEMP      ; Save status to bank zero STATUS_TEMP register
        MOVF     PCLATH, W        ; Only required if using pages 1, 2 and/or 3

```

```

MOVWF PCLATH_TEMP ; Save PCLATH into W
CLRF PCLATH ;
bcf INTCON, T0IF ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
goto $+1 ;
movlw .101 ;
movwf TMR0 ;
incf G_TIME_L, F ; increment lower byte
btsc STATUS, Z ; if lower byte value FF->0
incf G_TIME_H, F ; increment higher byte
incf Y_TIME_L, F ; increment lower byte
btsc STATUS, Z ; if lower byte value FF->0
incf Y_TIME_H, F ; increment higher byte
incf RY_TIME_L, F ; increment lower byte
btsc STATUS, Z ; if lower byte value FF->0
incf RY_TIME_H, F ; increment higher byte
incf RY_SG_L, F ; increment lower byte
btsc STATUS, Z ; if lower byte value FF->0
incf RY_SG_H, F ; increment higher byte
incf Y_SG_L, F ; increment lower byte
btsc STATUS, Z ; if lower byte value FF->0
incf Y_SG_H, F ; increment higher byte
incf G_SG_L, F ; increment lower byte
btsc STATUS, Z ; if lower byte value FF->0
incf G_SG_H, F ; increment higher byte
incf CMP_TIMER, F ;
;-----
; Buzzer servicing fragment BEGIN
        btfs BUZZER_ON ;
        goto Serv_1 ;
        movf BUZZ_TIME_2, W ;
        xorlw 0xAA ;
        btfs STATUS, Z ;
        goto Serv_3 ;
        bsf BUZZER ;
        clrf BUZZ_TIME_1 ;
        clrf BUZZ_TIME_2 ;
Serv_3  incf BUZZ_TIME_1, F ;
        btsc STATUS, Z ;
        incf BUZZ_TIME_2, F ;
        btsc BUZZER ;
        goto Serv_2 ;
        movf BUZZ_TIME_2, W ;
        sublw .24 ;
        btsc STATUS, C ;
        goto Serv_leds ;
        bsf BUZZER ;
        clrf BUZZ_TIME_1 ;
        clrf BUZZ_TIME_2 ;
        goto Serv_leds ;
Serv_2  movf BUZZ_TIME_2, W ;
        sublw .3 ;
        btsc STATUS, C ;
        goto Serv_leds ;
        bcf BUZZER ;
        clrf BUZZ_TIME_1 ;
        clrf BUZZ_TIME_2 ;
        goto Serv_leds ;
Serv_1  movlw 0xAA ;
        movwf BUZZ_TIME_2 ;
        bcf BUZZER ;
; Buzzer servicing fragment END

```

```

;-----
; LED flashing servicing fragment BEGIN
Serv_leds
    btfss    LED_FLASH_ON
    goto    Serv_6
    movf    LED_TIME, W
    xorlw   .220
    btfss   STATUS, Z
    goto    Serv_4
    bsf     LED_GRN
    bcf     LED_RED
    clrf   LED_TIME
Serv_4    incf   LED_TIME, F
    movf   LED_TIME, W
    sublw  .200
    btfsc  STATUS, C
    goto   Serv_ret
    clrf   LED_TIME
    btfss  LED_GRN
    goto   Serv_5
    bcf    LED_GRN
    bsf    LED_RED
    goto   Serv_ret
Serv_5    bsf    LED_GRN
    bcf    LED_RED
    goto   Serv_ret
Serv_6    movlw  .220
    movwf  LED_TIME
; LED flashing servicing fragment END
;-----
Serv_ret
    MOVF    PCLATH_TEMP, W ; Restore PCLATH
    MOVWF   PCLATH         ; Move W into PCLATH
    SWAPF   STATUS_TEMP, W ; Swap STATUS_TEMP register into W (sets bank to original state)
    MOVWF   STATUS         ; Move W into STATUS register
    SWAPF   W_TEMP, F     ; Swap W_TEMP
    SWAPF   W_TEMP, W     ; Swap W_TEMP into W
    retfie

;-----
; Processing RY-channell procedure
;-----
;-----
; Processing Y-channell procedure
;-----
; Y_proc
;
;;NOTE!!! The signal on XXX_IN is inverted 0 = impulse, 1=interval
;
Y_proc
    movf    Y_ACC, W      ;
    sublw   1             ;
    btfss   STATUS, C     ;
    goto    Y_ret         ;
    btfsc   Y_WAIT_INT   ; If Y_WAIT_INT=1
    goto    Y_wait_int   ; then goto Y_wait_nt
Y_wait_imp
    btfsc   Y_IN         ;
    goto    Y_no_imp     ;
    movf    Y_EDG_CNT, W ; if Y_EDG_CNT=0
    btfsc   STATUS, Z    ; then goto
    goto    Y_1_pulse   ; Y_1_pulse
    movf    Y_TIME_H, W ;
    btfss   STATUS, Z    ;
    goto    Y_sv        ;
    movf    Y_TIME_L, W ; else check
    sublw   .50         ; if
    btfsc   STATUS, C    ; interval > 50 ms
    goto    Y_short_int ; else save
Y_sv      call   Y_save   ; then
    clrf   Y_TIME_L     ; Clear
    clrf   Y_TIME_H     ; measurement

```

```

        bsf      Y_WAIT_INT          ; Y_WAIT_INT=1
        incf    Y_EDG_CNT, F        ;
        goto    Y_ret                ;
Y_1_pulse
        btfsc   Y_LNG_INT           ;
        call    Y_save               ; Save timing of ong interval
        bcf     Y_LNG_INT           ;
        call    Y_check              ;
        clrf   Y_TIME_H             ;
        clrf   Y_TIME_L             ;
        movlw   Y_IMP1_L            ; Initiaize pointer for
        movwf   Y_POINTER           ; saving Y channell time characteristic
        bsf     Y_WAIT_INT         ; Select wait for interval
        incf    Y_EDG_CNT, F        ;
        goto    Y_ret                ;
Y_short_int
        clrf   Y_TIME_L             ; for intervals shorter than
        clrf   Y_TIME_H             ; 50 mS reset time_counter
        bsf     Y_WAIT_INT         ; and waiting for interval
        bcf     Y_OK                ;
        goto    Y_ret                ; again
Y_wait_int
        btfss   Y_IN                ;
        goto    Y_ret                ;
        movf   Y_TIME_H, W          ;
        btfss   STATUS, Z           ;
        goto    Y_sv2              ;
        movf   Y_TIME_L, W          ;
        sublw  .50                  ;
        btfsc   STATUS, C           ;
        goto    Y_short_pulse       ;
Y_sv2
        call    Y_save               ;
        clrf   Y_TIME_L             ;
        clrf   Y_TIME_H             ;
        bcf     Y_WAIT_INT         ;
        incf    Y_EDG_CNT, F        ;
        goto    Y_ret                ;
Y_short_pulse
        clrf   Y_TIME_H             ;
        clrf   Y_TIME_L             ;
        bcf     Y_WAIT_INT         ;
        bcf     Y_OK                ;
        goto    Y_ret                ;
Y_no_imp
        btfsc   Y_LNG_INT           ; If we waiting end of long interval
        goto    Y_ret                ; else goto Y_wait_long
        movf   Y_TIME_H, W          ; then if
        sublw  0                    ;
        btfsc   STATUS, C           ; no pulse
        goto    Y_ret                ;
        movf   Y_TIME_L, W          ; about 400 mS
        sublw  .144                 ;
        btfsc   STATUS, C           ; then reset Y_OK flag
        goto    Y_ret                ;
; Check for Correct Y_EDG_CNT
        movf   Y_EDG_CNT, W          ; check edge count
        xorlw  .4                    ; on Y channell
        btfss   STATUS, Z           ;
        goto    Y_check_critical    ; long interval.
        call    Y_crit_discharge    ;
        clrf   Y_EDG_CNT           ; reset Edge Counter in
        bsf     Y_LNG_INT           ; enable waiting for long interval end
        goto    Y_ret                ; for measurement
; Check for Y_EDG_CNT > 4
Y_check_critical
        movf   Y_EDG_CNT, W          ; if Y_EDG_CNT > 4
        sublw  .4                    ; then
        btfss   STATUS, C           ;
        incf   Y_ACC, F             ; enable critical procedure
Y_clear_edge
        clrf   Y_EDG_CNT           ; another reset time
        clrf   Y_TIME_L             ; and edge counter

```

```

        clrf      Y_TIME_H          ; for new cycle
Y_ret   return
;-----
; Processing G-channell procedure
;-----
;G_proc
;
;;NOTE!!! The signal on XXX_IN is inverted 0 = impulse, 1=interval
;
G_proc
    btfsc      G_WAIT_INT          ; If G_WAIT_INT=1
    goto      G_wait_int          ; then goto G_wait_int
G_wait_imp
    btfsc      G_IN                ;
    goto      G_no_imp            ;
    movf      G_EDG_CNT, W        ;
    btfsc      STATUS, Z          ;
    goto      G_1_pulse          ;
    call      G_save              ;
    clrf      G_TIME_L            ; Clear
    clrf      G_TIME_H            ; measurement
    bsf      G_WAIT_INT          ; G_WAIT_INT=1
    incf      G_EDG_CNT, F        ;
    goto      G_ret              ;
G_1_pulse
    btfsc      G_LNG_INT          ;
    call      G_save              ; Save timing of ong interval
    bcf      G_LNG_INT          ;
    call      G_check            ;
    clrf      G_TIME_H            ;
    clrf      G_TIME_L            ;
    movlw     G_IMP1_L           ; Initiaize pointer for
    movwf     G_POINTER          ; saving Y channell time characteristic
    bsf      G_WAIT_INT          ; Select wait for interval
    incf      G_EDG_CNT, F        ;
    goto      G_ret              ;
G_wait_int
    btfss     G_IN                ;
    goto      G_ret              ;
    call      G_save              ;
    clrf      G_TIME_L            ;
    clrf      G_TIME_H            ;
    bcf      G_WAIT_INT          ;
    incf      G_EDG_CNT, F        ;
    goto      G_ret              ;
G_no_imp
    btfsc     G_LNG_INT          ; If we waiting end of long interval
    goto      G_ret              ; else goto G_wait_long
G_wait_long
    movf      G_TIME_H, W        ; else
    sublw    0                   ; check
    btfsc     STATUS, C          ; If Interval > 400 mS
    goto      G_ret              ;
    movf      G_TIME_L, W        ;
    sublw    .144                ; then goto
    btfsc     STATUS, C          ; check for Correct G_EDG_CNT
    goto      G_ret              ; else return from procedure
; Check for Correct G_EDG_CNT
    clrf      G_EDG_CNT          ; reset Edge Counter in
    bsf      G_LNG_INT          ; enable waiting for long interval end
    goto      G_ret              ; for measurement
G_ret   return
;-----
; Checking for RY channell connection procedure
;-----
RY_sig
    btfsc     PWR_CNTRL_1
    goto      RY_sig_chg
    clrf      RY_SG_L
    clrf      RY_SG_H
    goto      RY_sig_ret
RY_sig_chg

```

```

        btfsc    RY_SG_INT
        goto    $+7
        btfs    RY_IN
        goto    RY_sig_chk
        clrf    RY_SG_L
        clrf    RY_SG_H
        bsf     RY_SG_INT
        goto    RY_sig_ret
        btfsc   RY_IN
        goto    RY_sig_chk
        clrf    RY_SG_L
        clrf    RY_SG_H
        bcf     RY_SG_INT
        goto    RY_sig_ret
RY_sig_chk
        movf    RY_SG_H, W      ;
        sublw  .3              ;
        btfsc  STATUS, C      ;
        goto   RY_sig_ret     ;
        bcf    RY_OK          ;
        movf   RY_SG_H, W      ;
        sublw  .10            ;
        btfsc  STATUS, C      ;
        goto   RY_sig_ret     ;
        movlw  0xA            ;
        movwf  RY_ACC         ;
RY_sig_ret
        return
;-----
; Checking for Y channell signal procedure
;-----
Y_sig
        btfsc   PWR_CNTRL_1
        goto    Y_sig_chg
        clrf    Y_SG_L
        clrf    Y_SG_H
        goto    Y_sig_ret
Y_sig_chg
        btfsc   Y_SG_INT
        goto    $+7
        btfs    Y_IN
        goto    Y_sig_chk
        clrf    Y_SG_L
        clrf    Y_SG_H
        bsf     Y_SG_INT
        goto    Y_sig_ret
        btfsc   Y_IN
        goto    Y_sig_chk
        clrf    Y_SG_L
        clrf    Y_SG_H
        bcf     Y_SG_INT
        goto    Y_sig_ret
Y_sig_chk
        movf    Y_SG_H, W      ;
        sublw  .3              ;
        btfsc  STATUS, C      ;
        goto   Y_sig_ret ;
        bcf    Y_OK          ;
        movf   Y_SG_H, W      ;
        sublw  .10            ;
        btfsc  STATUS, C      ;
        goto   Y_sig_ret ;
        movlw  0xA            ;
        movwf  Y_ACC         ;
Y_sig_ret
        return
;-----
; Checking for G channell signal procedure
;-----
G_sig
        btfs    PWR_CNTRL_1
        goto    G_sig_ret

```

```

        btfss    PWR_CNTRL_2
        goto    G_sig_ret
        btfsc   G_SG_INT
        goto    $+7
        btfss   G_IN
        goto    G_sig_chk
        clrf    G_SG_L
        clrf    G_SG_H
        bsf     G_SG_INT
        goto    G_sig_ret
        btfsc   G_IN
        goto    G_sig_chk
        clrf    G_SG_L
        clrf    G_SG_H
        bcf     G_SG_INT
        goto    G_sig_ret
G_sig_chk
        movf    G_SG_H, W      ;
        sublw   .3           ;
        btfsc   STATUS, C     ;
        goto    G_sig_ret ;
        bcf     G_OK        ;
G_sig_ret
        return
;-----
; Critical errors discharging procedure RY-Channell
;-----
RY_crit_discharge
        movf    RY_ACC, W
        sublw   0
        btfsc   STATUS, C
        goto    RY_crit_discharge_ret
        incf    RY_CRIT_DISCNT, F
        movf    RY_CRIT_DISCNT, W
        xorlw   .10
        btfss   STATUS, Z
        goto    RY_crit_discharge_ret
        clrf    RY_CRIT_DISCNT
        decf    RY_ACC, F
RY_crit_discharge_ret
        return
;-----
; Critical errors discharging procedure Y-Channell
;-----
Y_crit_discharge
        movf    Y_ACC, W
        sublw   0
        btfsc   STATUS, C
        goto    Y_crit_discharge_ret
        incf    Y_CRIT_DISCNT, F
        movf    Y_CRIT_DISCNT, W
        xorlw   .10
        btfss   STATUS, Z
        goto    Y_crit_discharge_ret
        clrf    Y_CRIT_DISCNT
        decf    Y_ACC, F
Y_crit_discharge_ret
        return
;-----
; Saving result for RY-channell
;-----
RY_save
        movf    RY_POINTER, W ;
        sublw   RY_IMP1_L+2 ;
        btfss   STATUS, C     ;
        goto    RY_save_ret  ;
        movf    RY_POINTER, W ;
        movwf   FSR          ;
        movf    RY_TIME_L, W ;
        movwf   INDF        ;
        incf    RY_POINTER, F ;
        movf    RY_POINTER, W ;

```

```

        movwf   FSR           ;
        movf   RY_TIME_H, W   ;
        movwf   INDF          ;
        incf   RY_POINTER, F  ;
RY_save_ret
        return
;-----
; Saving result for Y-channell
;-----
Y_save
        movf   Y_POINTER, W   ;
        sublw  Y_IMP1_L+6     ;
        btfss  STATUS, C      ;
        goto   Y_save_ret     ;
        movf   Y_POINTER, W   ;
        movwf  FSR            ;
        movf   Y_TIME_L, W    ;
        movwf  INDF           ;
        incf   Y_POINTER, F   ;
        movf   Y_POINTER, W   ;
        movwf  FSR            ;
        movf   Y_TIME_H, W    ;
        movwf  INDF           ;
        incf   Y_POINTER, F   ;
Y_save_ret
        return
;-----
; Saving result for G-channell
;-----
G_save
        movf   G_POINTER, W   ;
        sublw  G_IMP1_L+.10   ;
        btfss  STATUS, C      ;
        goto   G_save_ret     ;
        movf   G_POINTER, W   ;
        movwf  FSR            ;
        movf   G_TIME_L, W    ;
        movwf  INDF           ;
        incf   G_POINTER, F   ;
        movf   G_POINTER, W   ;
        movwf  FSR            ;
        movf   G_TIME_H, W    ;
        movwf  INDF           ;
        incf   G_POINTER, F   ;
G_save_ret
        return
;-----
; Timing characterictic checking for RY-channell
;-----
RY_check
#IFDEF KPTS_5
        movf   RY_IMP1_H, W   ;
        btfss  STATUS, Z      ;
        goto   RY_time_error  ;
        movf   RY_IMP1_L, W   ; if RY_IMP1_L > 234 mS
        sublw  .234           ; (margins 226..234 mS)
        btfss  STATUS, C      ;
        goto   RY_time_error  ; then goto RY_time_error
        movf   RY_IMP1_L, W   ; or
        sublw  .225           ; if RY_IMP1_L < 226 mS
        btfsc  STATUS, C      ;
        goto   RY_time_error  ;
        movf   RY_INT1_H, W   ;
        xorlw  .2             ;
        btfss  STATUS, Z      ;
        goto   RY_time_error  ;
        movf   RY_INT1_L, W   ; if RY_INT1_L > 574 mS
        sublw  .62            ; (margins 566..574 mS)
        btfss  STATUS, C      ;
        goto   RY_time_error  ; then goto RY_time_error
        movf   RY_INT1_L, W   ; or
        sublw  .53            ; if RY_INT1_L < 566 mS

```

```

        btfscl STATUS, C          ;
        goto   RY_time_error      ;
        bsf   RY_OK               ;
        goto   RY_check_ret       ;
#ENDIF
#IFDEF KPTS_7
        movf  RY_IMP1_H, W        ;
        xorlw 1                   ;
        btfsz STATUS, Z          ;
        goto   RY_time_error      ;
        movf  RY_IMP1_L, W        ; if RY_IMP1_L > 304 mS
        sublw .48                 ; (margins 296...304 mS)
        btfsz STATUS, C          ;
        goto   RY_time_error      ; then goto RY_time_error
        movf  RY_IMP1_L, W        ; or
        sublw .39                 ; if RY_IMP1_L < 296 mS
        btfscl STATUS, C         ;
        goto   RY_time_error      ;
        movf  RY_INT1_H, W        ;
        xorlw .2                   ;
        btfsz STATUS, Z          ;
        goto   RY_time_error      ;
        movf  RY_INT1_L, W        ; if RY_INT1_L > 634 mS
        sublw .122                ; (margins 626...634 mS)
        btfsz STATUS, C          ;
        goto   RY_time_error      ; then goto RY_time_error
        movf  RY_INT1_L, W        ; or
        sublw .113                ; if RY_INT1_L < 626 mS
        btfscl STATUS, C         ;
        goto   RY_time_error      ;
        bsf   RY_OK               ;
        goto   RY_check_ret       ;
#ENDIF
RY_time_error
        bcf   RY_OK               ;
RY_check_ret
        clrf  RY_IMP1_H           ;
        clrf  RY_IMP1_L           ;
        clrf  RY_INT1_H           ;
        clrf  RY_INT1_L           ;
        return                    ;
;-----
; Timing characteristic checking for Y-channell
;-----
Y_check
#IFDEF KPTS_5
        movf  Y_IMP1_H, W         ; if Y_IMP1_H != 1
        xorlw 1                   ; then
        btfsz STATUS, Z          ;
        goto   Y_time_error       ; goto Y_time_error
        movf  Y_IMP1_L, W         ; if Y_IMP1_L > 384 mS
        sublw .128                ; (margins 376...384 mS)
        btfsz STATUS, C          ;
        goto   Y_time_error       ; then goto Y_time_error
        movf  Y_IMP1_L, W         ; or
        sublw .119                ; if Y_IMP1_L < 376 mS
        btfscl STATUS, C         ;
        goto   Y_time_error       ;
;check 1 interval
        movf  Y_INT1_H, W         ;
        btfsz STATUS, Z          ;
        goto   Y_time_error       ;
        movf  Y_INT1_L, W         ; if Y_INT1_L > 124 mS
        sublw .124                ; (margins 116...124 mS)
        btfsz STATUS, C          ;
        goto   Y_time_error       ; then goto Y_time_error
        movf  Y_INT1_L, W         ; or
        sublw .115                ; if Y_INT1_L < 116 mS
        btfscl STATUS, C         ;
        goto   Y_time_error       ;
;check 2 impulse
        movf  Y_IMP2_H, W         ; if Y_IMP2_H != 1

```

```

        xorlw    1                ; then
        btfss   STATUS, Z         ; goto Y_time_error
        goto    Y_time_error     ; else
        movf   Y_IMP2_L, W       ; if Y_IMP2_L > 384 mS
        sublw  .128              ; (margins 376...384 mS)
        btfss   STATUS, C         ;
        goto    Y_time_error     ; then goto Y_time_error
        movf   Y_IMP2_L, W       ; or
        sublw  .119              ; if Y_IMP2_L < 376 mS
        btfsc   STATUS, C         ;
        goto    Y_time_error     ;
;check long interval
        movf   Y_INT2_H, W       ;
        xorlw  .2                ;
        btfss   STATUS, Z         ;
        goto    Y_time_error     ;
        movf   Y_INT2_L, W       ; if Y_INT1_L > 724 mS
        sublw  .212              ; (margins 716...724 mS)
        btfss   STATUS, C         ;
        goto    Y_time_error     ; then goto Y_time_error
        movf   Y_INT2_L, W       ; or
        sublw  .203              ; if Y_INT1_L < 626 mS
        btfsc   STATUS, C         ;
        goto    Y_time_error     ;
        bsf    Y_OK              ;
        goto    Y_check_ret      ;
#ENDIF
#IFDEF KPTS_7
        movf   Y_IMP1_H, W       ; if Y_IMP1_H != 1
        xorlw  1                ; then
        btfss   STATUS, Z         ;
        goto    Y_time_error     ; goto Y_time_error
        movf   Y_IMP1_L, W       ; if Y_IMP1_L > 354 mS
        sublw  .98               ; (margins 346...354 mS)
        btfss   STATUS, C         ;
        goto    Y_time_error     ; then goto Y_time_error
        movf   Y_IMP1_L, W       ; or
        sublw  .89               ; if Y_IMP1_L < 346 mS
        btfsc   STATUS, C         ;
        goto    Y_time_error     ;
;check 1 interval
        movf   Y_INT1_H, W       ;
        btfss   STATUS, Z         ;
        goto    Y_time_error     ;
        movf   Y_INT1_L, W       ; if Y_INT1_L > 124 mS
        sublw  .124              ; (margins 116...124 mS)
        btfss   STATUS, C         ;
        goto    Y_time_error     ; then goto Y_time_error
        movf   Y_INT1_L, W       ; or
        sublw  .115              ; if Y_INT1_L < 116 mS
        btfsc   STATUS, C         ;
        goto    Y_time_error     ;
;check 2 impulse
        movf   Y_IMP2_H, W       ; if Y_IMP1_H != 2
        xorlw  2                ; then
        btfss   STATUS, Z         ; goto Y_time_error
        goto    Y_time_error     ; else
        movf   Y_IMP2_L, W       ; if Y_IMP1_L > 604 mS
        sublw  .92               ; (margins 596...604 mS)
        btfss   STATUS, C         ;
        goto    Y_time_error     ; then goto Y_time_error
        movf   Y_IMP2_L, W       ; or
        sublw  .83               ; if Y_IMP1_L < 596 mS
        btfsc   STATUS, C         ;
        goto    Y_time_error     ;
;check long interval
        movf   Y_INT2_H, W       ;
        xorlw  .3                ;
        btfss   STATUS, Z         ;
        goto    Y_time_error     ;
        movf   Y_INT2_L, W       ; if Y_INT1_L > 794 mS
        sublw  .26               ; (margins 786...794 mS)

```

```

        btfss    STATUS, C        ;
        goto    Y_time_error    ; then goto Y_time_error
        movf    Y_INT2_L, W      ; or
        sublw   .17             ; if Y_INT1_L < 786 mS
        btfsc   STATUS, C        ;
        goto    Y_time_error    ;
        bsf     Y_OK             ;
        goto    Y_check_ret     ;
#ENDIF
Y_time_error    ;
        bcf     Y_OK             ;
Y_check_ret
        clrf   Y_IMP1_H         ;
        clrf   Y_IMP1_L         ;
        clrf   Y_INT1_H         ;
        clrf   Y_INT1_L;
        clrf   Y_IMP2_H         ;
        clrf   Y_IMP2_L         ;
        clrf   Y_INT2_H         ;
        clrf   Y_INT2_L;
        return
;-----
; Timing characteristic checking for G-channel
;-----
G_check
#IFDEF KPTS_5
        movf    G_IMP1_H, W      ; if G_IMP1_H != 1
        xorlw   1                ; then
        btfss   STATUS, Z        ;
        goto    G_time_error    ; goto G_time_error
        movf    G_IMP1_L, W      ; if G_IMP1_L > 354 mS
        sublw   .98             ; (margins 346...354 mS)
        btfss   STATUS, C        ;
        goto    G_time_error    ; then goto G_time_error
        movf    G_IMP1_L, W      ; or
        sublw   .89             ; if G_IMP1_L < 346 mS
        btfsc   STATUS, C        ;
        goto    G_time_error    ;
;check 1 interval
        movf    G_INT1_H, W      ; if G_INT1_H != 0
        btfss   STATUS, Z        ; then
        goto    G_time_error    ; goto G_time_error
        movf    G_INT1_L, W      ; if G_INT1_L > 124 mS
        sublw   .124            ; (margins 116...124 mS)
        btfss   STATUS, C        ;
        goto    G_time_error    ; then goto G_time_error
        movf    G_INT1_L, W      ; or
        sublw   .115            ; if G_INT1_L < 116 mS
        btfsc   STATUS, C        ;
        goto    G_time_error    ;
;check 2 impulse
        movf    G_IMP2_H, W      ; if G_IMP2_H != 0
        btfss   STATUS, Z        ; goto G_time_error
        goto    G_time_error    ; else
        movf    G_IMP2_L, W      ; if G_IMP2_L > 224 mS
        sublw   .224            ; (margins 216...224 mS)
        btfss   STATUS, C        ;
        goto    G_time_error    ; then goto G_time_error
        movf    G_IMP2_L, W      ; or
        sublw   .215            ; if G_IMP2_L < 216 mS
        btfsc   STATUS, C        ;
        goto    G_time_error    ;
;check 2 interval
        movf    G_INT2_H, W      ; if G_INT2_H != 0
        btfss   STATUS, Z        ;
        goto    G_time_error    ; goto G_time_error
        movf    G_INT2_L, W      ; if G_INT2_L > 124 mS
        sublw   .124            ; (margins 116...124 mS)
        btfss   STATUS, C        ;
        goto    G_time_error    ; then goto G_time_error
        movf    G_INT2_L, W      ; or
        sublw   .115            ; if G_INT2_L < 116 mS

```

```

        btfscl STATUS, C          ;
        goto G_time_error        ;
;check 3 impulse
        movf G_IMP3_H, W         ; if G_IMP3_H != 0
        btfscl STATUS, Z          ;
        goto G_time_error        ; goto G_time_error
        movf G_IMP3_L, W         ; if G_IMP3_L > 224 mS
        sublw .224                ; (margins 216...224 mS)
        btfscl STATUS, C          ;
        goto G_time_error        ; then goto G_time_error
        movf G_IMP3_L, W         ; or
        sublw .215                ; if G_IMP3_L < 216 mS
        btfscl STATUS, C          ;
        goto G_time_error        ;
;check long interval
        movf G_INT3_H, W         ; if G_INT3_H != 2
        xorlw .2                    ;
        btfscl STATUS, Z          ; goto G_time_error
        goto G_time_error        ; else
        movf G_INT3_L, W         ; if G_INT3_L > 574 mS
        sublw .62                  ; (margins 566...574 mS)
        btfscl STATUS, C          ;
        goto G_time_error        ; then goto G_time_error
        movf G_INT3_L, W         ; or
        sublw .53                  ; if G_INT3_L < 566 mS
        btfscl STATUS, C          ;
        goto G_time_error        ;
        bsf G_OK                    ;
        goto G_check_ret          ;
#ENDIF
#IFDEF KPTS_7
        movf G_IMP1_H, W         ; if G_IMP1_H != 1
        xorlw 1                    ; then
        btfscl STATUS, Z          ;
        goto G_time_error        ; goto G_time_error
        movf G_IMP1_L, W         ; if G_IMP1_L > 354 mS
        sublw .98                  ; (margins 346...354 mS)
        btfscl STATUS, C          ;
        goto G_time_error        ; then goto G_time_error
        movf G_IMP1_L, W         ; or
        sublw .89                  ; if G_IMP1_L < 346 mS
        btfscl STATUS, C          ;
        goto G_time_error        ;
;check 1 interval
        movf G_INT1_H, W         ; if G_INT1_H != 0
        btfscl STATUS, Z          ; then
        goto G_time_error        ; goto G_time_error
        movf G_INT1_L, W         ; if G_INT1_L > 124 mS
        sublw .124                 ; (margins 116...124 mS)
        btfscl STATUS, C          ;
        goto G_time_error        ; then goto G_time_error
        movf G_INT1_L, W         ; or
        sublw .115                 ; if G_INT1_L < 116 mS
        btfscl STATUS, C          ;
        goto G_time_error        ;
;check 2 impulse
        movf G_IMP2_H, W         ; if G_IMP2_H != 0
        btfscl STATUS, Z          ; goto G_time_error
        goto G_time_error        ; else
        movf G_IMP2_L, W         ; if G_IMP2_L > 244 mS
        sublw .244                 ; (margins 236...244 mS)
        btfscl STATUS, C          ;
        goto G_time_error        ; then goto G_time_error
        movf G_IMP2_L, W         ; or
        sublw .235                 ; if G_IMP2_L < 236 mS
        btfscl STATUS, C          ;
        goto G_time_error        ;
;check 2 interval
        movf G_INT2_H, W         ; if G_INT2_H != 0
        btfscl STATUS, Z          ;
        goto G_time_error        ; goto G_time_error
        movf G_INT2_L, W         ; if G_INT2_L > 124 mS

```

```

        sublw    .124          ; (margins 116...124 mS)
        btfs    STATUS, C      ;
        goto    G_time_error   ; then goto G_time_error
        movf    G_INT2_L, W    ; or
        sublw    .115          ; if G_INT2_L < 116 mS
        btfs    STATUS, C      ;
        goto    G_time_error   ;
;check 3 impulse
        movf    G_IMP3_H, W    ; if G_IMP3_H != 0
        btfs    STATUS, Z      ;
        goto    G_time_error   ; goto G_time_error
        movf    G_IMP3_L, W    ; if G_IMP3_L > 244 mS
        sublw    .244          ; (margins 236...244 mS)
        btfs    STATUS, C      ;
        goto    G_time_error   ; then goto G_time_error
        movf    G_IMP3_L, W    ; or
        sublw    .235          ; if G_IMP3_L < 236 mS
        btfs    STATUS, C      ;
        goto    G_time_error   ;
;check long interval
        movf    G_INT3_H, W    ; if G_INT3_H != 3
        xorlw    .3            ;
        btfs    STATUS, Z      ; goto G_time_error
        goto    G_time_error   ; else
        movf    G_INT3_L, W    ; if G_INT3_L > 794 mS
        sublw    .26           ; (margins 786...794 mS)
        btfs    STATUS, C      ;
        goto    G_time_error   ; then goto G_time_error
        movf    G_INT3_L, W    ; or
        sublw    .17           ; if G_INT3_L < 786 mS
        btfs    STATUS, C      ;
        goto    G_time_error   ;
        bsf     G_OK           ;
        goto    G_check_ret    ;
#ENDIF
G_time_error    ;
        bcf     G_OK           ;
G_check_ret    ;
        clrf   G_IMP1_H       ;
        clrf   G_IMP1_L       ;
        clrf   G_INT1_H       ;
        clrf   G_INT1_L;     ;
        clrf   G_IMP2_H       ;
        clrf   G_IMP2_L       ;
        clrf   G_INT2_H       ;
        clrf   G_INT2_L;     ;
        clrf   G_IMP3_H       ;
        clrf   G_IMP3_L       ;
        clrf   G_INT3_H       ;
        clrf   G_INT3_L;     ;
        return
;-----
; Power control procedure, disconnect the power TU on critical
; error or Voltage is lower of minimum value
;-----
Power_control
        btfs    PWR_CNTRL_1    ; Setting (VREF VRR = 1 (low range): CVREF = (VR3:VR0 / 24) x VDD)
        movlw   b'10101001'    ; else CVREF = 1,875 V
        btfs    PWR_CNTRL_1    ;
        movlw   b'10100111'    ; If PWR_CNTRL_1 = 1 then CVREF = 1,46 V
        BANKSEL VRCON          ;
        movwf   VRCON          ;
        BANKSEL CMCON          ;
        movlw   b'001110'      ; Select RA1 and RA0 to
        movwf   CMCON          ; analog input
        movlw   40              ; Wait 19 uS
        movwf   TEMP           ; aprox.
        decfsz TEMP, F          ; Comparator Settling
        goto    $-1            ; time
        btfs    PWR_CNTRL_1    ;
        goto    Pwr_cmp_1      ;
        btfs    CMCON, COUT    ; if Uin < CVREF

```

```

        clrf    CMP_TIMER    ; then goto Pwr_1
        movf   CMP_TIMER, W  ; if Uin < CVREF
        sublw .100          ; longer for 100 ms
        btfsc STATUS, C     ; then goto Pwr_on
        goto   Pwr_on_cond  ;
        goto   Pwr_off      ;
Pwr_cmp_1
        clrf    CMP_TIMER    ;
        btfsc  CMCON, COUT   ;
        goto   Pwr_off      ;
        goto   Pwr_on_cond  ;
Pwr_on_cond
        ;checking Power_ON conditions
        movf   RY_ACC, W     ;
        sublw  1             ;
        btfss STATUS, C     ;
        goto   Pwr_alm      ; then goto
        movf   Y_ACC, W     ;
        sublw  1             ; POWER ON
        btfss STATUS, C     ;
        goto   Pwr_alm+2    ;
Pwr_on
        bsf    PWR_CNTRL_1   ; POWER ON
        bsf    PWR_CNTRL_2   ; for FKP
        goto   Pwr_ret      ;
Pwr_alm
        bcf    RY_OK         ;
        goto   $+2          ;
        bcf    Y_OK         ;
        movlw  0xAA         ;
        call  Reg_crit      ;
Pwr_off
        bcf    PWR_CNTRL_1   ; POWER ON
        bcf    PWR_CNTRL_2   ; for FKP
Pwr_ret
        BANKSEL    CMCON    ;
        movlw    07h        ; Set RA<2:0> to
        movwf   CMCON      ; digital I/O, comparator off
        movlw    40         ; Wait 19 uS
        movwf   TEMP       ; aprox.
        decfsz  TEMP, F    ; Comparator Settling
        goto    $-1        ; time
        return

;-----
; Visual and sound warning indication procedure
;-----
Wrm_check
        btfss  PWR_CNTRL_1  ; If power for FKP is switched off
        goto   Wrm_pwr_off  ; then return from this procedure
        movf   RY_ACC, W
        sublw  0
        btfss STATUS, C
        goto   Wrm_on
        btfss  RY_OK
        goto   Wrm_on
        movf   Y_ACC, W
        sublw  0
        btfss STATUS, C
        goto   Wrm_on
        btfss  Y_OK
        goto   Wrm_on
        btfss  G_OK
        goto   Wrm_on
Wrm_off
        bcf    LED_FLASH_ON
        bsf    LED_GRN
        bsf    FEEDBACK
        bcf    LED_RED
        bcf    BUZZER_ON
        goto   Wrm_ret
Wrm_on
        bsf    LED_FLASH_ON
        bcf    FEEDBACK
        bsf    BUZZER_ON

```

```

        goto      Wrm_ret
Wrm_pwr_off
        bcf      FEEDBACK
        bcf      G_OK
        bcf      Y_OK
        bcf      RY_OK
        bcf      LED_GRN
        bsf      LED_RED
        bsf      BUZZER_ON
Wrm_ret  return
;-----
; Default data in EEPROM
;-----
        org      2100h
        de      0, 1, 0, 0      ;Registers Nr1 - Nr3 is a firmware version
        end

```

Elektroniska kodu transmittera prototips, oficiālie dokumenti



DZELZCEĻA TRANSPORTA INSTITŪTS

Indriķa 8a, Rīga, LV-1004
Tālr. 67234339, 67089696
Fakss: 67234289
E-mail: dzti@dzti.edu.lv

2012.g. 10.05. Nr. 40

Ekspertu darba atzinums

Rīga

2012. gada 07. maijs

Es, speciālists eksperts – Mareks Mezītis, RTU Dzelzceļa transporta institūta direktors, Dzelzceļa transporta automātikas un telemātikas katedras vadītājs, asociētais profesors, darba stāžs 11 gadi, pēc iesniegtā dokumenta „Доказательство безопасности. Кодовый путевой трансмиттер КПТ-Е”, kas ir šā atzinuma neatņemama sastāvdaļa, sniedzu slēdzienu par elektroniskā kodu transmittera КРТ-Е drošības un drošuma rādītāju aprēķināšanas metodiku un algoritmu.

Piedāvātā drošības un drošuma rādītāju metodika atbilst vispārpieņemtajiem noteikumiem un algoritmiem, kas tiek pielietoti, novērtējot jaunās iekārtas vai mezglu drošības un drošuma rādītājus. Lai apstiprinātu drošību, tika izmantots bīstamo atteižu plūsmas kritērijs, un uz tā pamata tika aprēķināts darba laiks bez atteicem, bīstamo atteižu intensitāte un bīstamās atteices iespējamība.

Atteices intensitātes rādītāja aprēķinātais lielums, ņemot vērā pieņemtos ietekmes koeficientus, sastādīja $2,7306450556 \cdot 10^{-14} \text{ st}^{-1}$, kas atbilst drošības līmenim, kas nav zemāks par SIL 3 pie nepārtrauktas izmantošanas 20 gadu garumā.

Eksperts:

M.Mezītis



LATVIJAS REPUBLIKA

Latvijas Republikas Patentu valde apliecina, ka

PATENTS

Nr. 14466

ir piešķirts saskaņā ar Latvijas Republikas Patentu likumu, pamatojoties uz ierakstu Valsts patentu reģistrā un ar šajā dokumentā uzrādītajiem izgudrojuma nosaukumu, autoru, īpašnieku, izgudrojuma aprakstu, zīmējumiem, pretenzijām un kopsavilkumu. Patents ir spēkā Latvijas Republikā 20 gadus no 24.11.2011., ja šis termiņš likumā paredzētā gadījumā nebeidzas agrāk.



Rīga

20.10.2012.

Patentu valdes
direktors

R. Bērziņš

①9



LATVIJAS REPUBLIKAS
PATENTU VALDE

①① LV 14466 B

⑤① Int.Cl B61L25/04
B61L23/22

Latvijas patents uz izgudrojumu
2007.g. 15.februāra Latvijas Republikas likums

①②

Īsziņas

②①	Pieteikuma numurs:	P-11-161
②②	Pieteikuma datums:	24.11.2011
④①	Pieteikuma publikācijas datums:	20.01.2012
④⑤	Patenta publikācijas datums:	20.10.2012

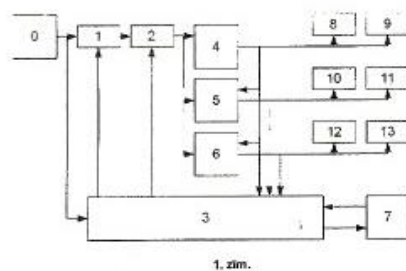
⑦③ Īpašnieks(i):
RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE;
Kaļķu iela 1, Rīga LV-1658, LV

⑦② Izgudrotājs(i):
Vladimirs KAREVS (LV),
Maksims IVANOVŠ (LV),
Mareks MEŽĪTIS (LV)

⑤④ Virsraksts: ELEKTRONISKAIS KODU TRANSMITERIS

⑤⑦ **Kopsavilkums:** Izgudrojums attiecas uz transporta nozari un var tikt izmantots dzelzceļa automātikas autobloķēšanas shēmās. Piedāvātais kodu transmitters satur (zīm.1): barošanas līniju komutējošos relejus 1 un 2; kontroles ierīci 3; sarkanā koda (SK), dzeltenā koda (DzK) un zaļā koda (ZK) kanālus 4, 5 un 6; interfeisu 7; SK kanāla kodu relejus 8 un 9; DzK kanāla kodu relejus 10 un 11; ZK kanāla kodu relejus 12 un 13. Pēc barošanas pieslēgšanas notiek kontroles ierīces 3 mikrokontrolera programmas inicializācija. Ja līnijas spriegums ir nominālā sprieguma robežās, tad uz barošanas komutatoru, kas sastāv no relejiem 1 un 2, tiek padoti ierosmes signāli. Vienlaicīgi kanālos 4, 5 un 6 tiek inicializētas mikrokontroleru programmas, kā arī kanālos 5 un 6 tiek padoti sinhronizācijas signāli no kanāla 4, un izejas signāli no kanāliem 4, 5 un 6 tiek padoti uz kontroles ierīces 3 ieeju, kurā kodu tiek validēti pēc to atbilstības kodu skaitlisko un laika raksturojumu precizitātes kritērijiem. Kontroles ierīce 3 vienlaicīgi kontrolē arī barošanas sprieguma kvalitāti. Gadījumā, ja barošanas spriegums zaudē kvalitāti un kodu neatbilst validācijas kritērijiem, tad no relejiem 1 un 2 tiek noņemti ierosmes signāli, kas apstādina transmittera darbību, un par to nosūta informāciju uz interfeisu 7. Gadījumā, kad barošanas līnija nezaudē kvalitāti un kodu atbilst validācijas kritērijiem, kontroles ierīce nodrošina ierosmes signālu padevi uz relejiem 1 un 2. Cikla beigās kanālu 4, 5 un 6 mikrokontroleri to programmas atgriež sākumstāvoklī, SK kanāls 4 atkal izveido sinhronizācijas signālus

kanāliem 5 un 6, un kontroles ierīces 3 darbība turpinās, pie kam interfeisam 7 tiek nosūtīta informācija par transmittera normālu darbību.



1. zīm.

Akumulatoru iekšēja pretestības mērījumus rezultāti

1. tabula

Akumulatoru iekšēja pretestības mērījumus rezultāti

n	U battery [V]	ESR n [mΩ]	8.00 mΩ	12.00 mΩ	Vidējais ESR 8.56 mΩ
0	12,76	7,29	8,00	12,00	8,56
1	12,77	7,80	8,00	12,00	8,56
2	12,96	7,37	8,00	12,00	8,56
3	13,00	7,60	8,00	12,00	8,56
4	13,01	9,36	8,00	12,00	8,56
5	13,12	7,75	8,00	12,00	8,56
6	13,15	8,07	8,00	12,00	8,56
7	13,18	8,05	8,00	12,00	8,56
8	13,20	9,25	8,00	12,00	8,56
9	13,22	7,37	8,00	12,00	8,56
10	13,22	7,91	8,00	12,00	8,56
11	13,22	7,90	8,00	12,00	8,56
12	13,26	9,47	8,00	12,00	8,56
13	13,26	9,87	8,00	12,00	8,56
14	13,30	9,86	8,00	12,00	8,56
15	13,30	9,43	8,00	12,00	8,56
16	13,32	9,43	8,00	12,00	8,56
17	13,33	7,96	8,00	12,00	8,56
18	13,33	9,10	8,00	12,00	8,56
19	13,34	10,50	8,00	12,00	8,56
20	13,34	8,70	8,00	12,00	8,56
21	13,35	7,38	8,00	12,00	8,56
22	13,35	7,76	8,00	12,00	8,56
23	13,36	8,23	8,00	12,00	8,56
24	13,38	7,79	8,00	12,00	8,56
25	13,39	8,10	8,00	12,00	8,56
26	13,39	7,88	8,00	12,00	8,56
27	13,40	8,80	8,00	12,00	8,56
28	13,47	8,60	8,00	12,00	8,56
29	13,47	8,30	8,00	12,00	8,56
30	13,48	8,58	8,00	12,00	8,56
31	13,50	7,60	8,00	12,00	8,56
32	13,51	7,74	8,00	12,00	8,56

33	13,52	7,68	8,00	12,00	8,56
34	13,52	9,91	8,00	12,00	8,56
35	13,52	9,71	8,00	12,00	8,56
36	13,53	7,60	8,00	12,00	8,56
37	13,53	9,35	8,00	12,00	8,56
38	13,55	8,40	8,00	12,00	8,56
39	13,55	7,99	8,00	12,00	8,56
40	13,56	7,87	8,00	12,00	8,56
41	13,57	9,40	8,00	12,00	8,56
42	13,58	9,24	8,00	12,00	8,56
43	13,58	9,35	8,00	12,00	8,56
44	13,59	8,67	8,00	12,00	8,56
45	13,59	8,50	8,00	12,00	8,56
46	13,59	7,67	8,00	12,00	8,56
47	13,60	9,29	8,00	12,00	8,56
48	13,61	7,68	8,00	12,00	8,56
49	13,61	7,40	8,00	12,00	8,56
50	13,63	8,15	8,00	12,00	8,56
51	13,63	9,05	8,00	12,00	8,56
52	13,64	10,50	8,00	12,00	8,56
53	13,65	8,40	8,00	12,00	8,56
54	13,65	9,35	8,00	12,00	8,56
55	13,65	8,00	8,00	12,00	8,56
56	13,65	7,80	8,00	12,00	8,56
57	13,65	9,30	8,00	12,00	8,56
58	13,66	8,05	8,00	12,00	8,56
59	13,70	10,40	8,00	12,00	8,56
60	13,70	7,35	8,00	12,00	8,56
61	13,74	8,70	8,00	12,00	8,56
62	13,74	7,48	8,00	12,00	8,56
63	13,78	7,83	8,00	12,00	8,56
64	13,80	8,00	8,00	12,00	8,56
65	13,80	8,80	8,00	12,00	8,56
66	13,85	7,90	8,00	12,00	8,56
67	13,90	7,82	8,00	12,00	8,56
68	13,90	7,77	8,00	12,00	8,56
69	13,93	7,43	8,00	12,00	8,56
70	14,01	9,41	8,00	12,00	8,56
71	14,05	9,24	8,00	12,00	8,56
72	14,15	7,45	8,00	12,00	8,56
73	14,15	7,40	8,00	12,00	8,56

74	14,15	8,27	8,00	12,00	8,56
75	14,15	7,67	8,00	12,00	8,56
76	14,17	9,33	8,00	12,00	8,56
77	14,18	9,00	8,00	12,00	8,56
78	14,19	9,67	8,00	12,00	8,56

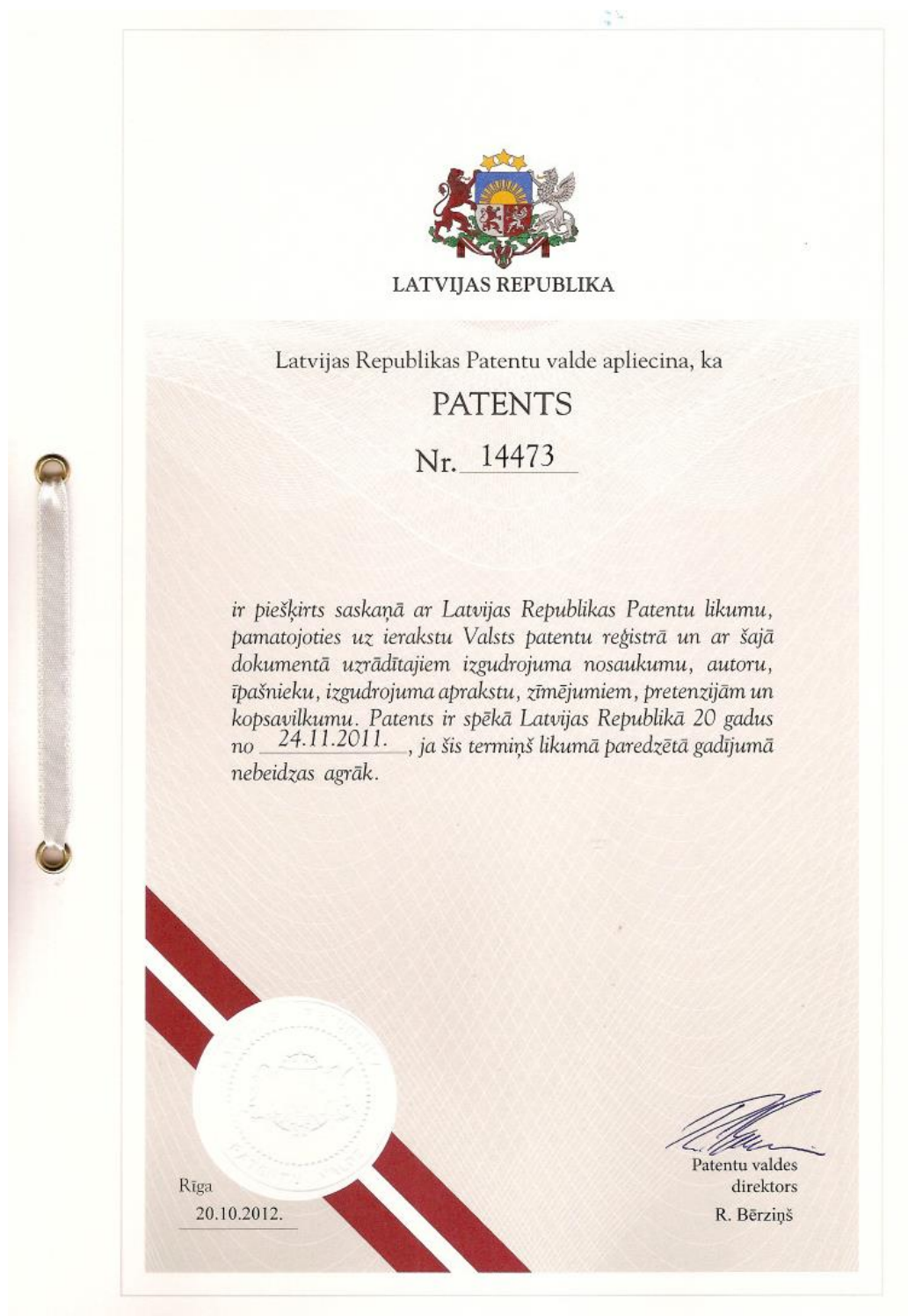
2. tabula

AKB voltage in buffer mode Buffer mode PS-2 (power source PS-2/RTA-1M)

Uc.akb. nom for cell =	2,25V ± 1%	2,25V ± 1%	25
Uc.akb.cell (T) =	2,28V ± ,02V	2,25V ± ,02V	20
Uc.akb.cell (T) =	2,3 V ± ,02V	2,25V ± ,02V	15
Uc.akb.cell (T) =	2,33V ± ,02V	2,25V ± ,02V	10
Uc.akb.cell (T) =	2,35V ± ,02V	2,27V ± ,02V	5
Uc.akb.cell (T) =	2,38V ± ,02V	2,29V ± ,02V	0
Uc.akb.cell (T) =	2,4 V ± ,02V	2,31V ± ,02V	-5
Uc.akb.cell (T) =	2,43V ± ,02V	2,33V ± ,02V	-10
Uc.akb.cell (T) =	2,45V ± ,02V	2,35V ± ,02V	-15
Uc.akb.cell (T) =	2,48V ± ,02V	2,37V ± ,02V	-20
Uc.akb.cell (T) =	2,5 V ± ,03V	2,39V ± ,02V	-25
Uc.akb.cell (T) =	2,53V ± ,03V	2,41V ± ,02V	-30

Type	A400	BAE	Temperature °C
Uc.akb. nom for AKB =	13,5 V ± 1%	15,75V ± 1%	25
Uc.akb. (T) =	13,65V ± ,14V	15,75V ± ,16V	20
Uc.akb. (T) =	13,8 V ± ,14V	15,75V ± ,16V	15
Uc.akb. (T) =	13,95V ± ,14V	15,75V ± ,16V	10
Uc.akb. (T) =	14,1 V ± ,14V	15,89V ± ,16V	5
Uc.akb. (T) =	14,25V ± ,14V	16,03V ± ,16V	0
Uc.akb. (T) =	14,4 V ± ,14V	16,17V ± ,16V	-5
Uc.akb. (T) =	14,55V ± ,15V	16,31V ± ,16V	-10
Uc.akb. (T) =	14,7 V ± ,15V	16,45V ± ,16V	-15
Uc.akb. (T) =	14,85V ± ,15V	16,59V ± ,17V	-20
Uc.akb. (T) =	15, V ± ,15V	16,73V ± ,17V	-25
Uc.akb. (T) =	15,15V ± ,15V	16,87V ± ,17V	-30

Slodzes sekojošais ģenerators, oficiālie dokumenti



19



LATVIJAS REPUBLIKAS
PATENTU VALDE

11 LV 14473 B

51 Int.Cl G01R31/36
H01M10/48

LV 14473

Latvijas patents uz izgudrojumu
2007.g. 15.februāra Latvijas Republikas likums

12 **Īsziņas**

21	Pieteikuma numurs:	P-11-160
22	Pieteikuma datums:	24.11.2011
41	Pieteikuma publikācijas datums:	20.01.2012
45	Patenta publikācijas datums:	20.10.2012

73 Īpašnieks(i):
RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE;
Kaļķu iela 1, Rīga LV-1658, LV

72 Izgudrotājs(i):
Vladimirs KAREVS (LV),
Mareks MEŽĪTIS (LV)

54 **Virsraksts: SEKUNDĀRA AKUMULATORA TESTĒŠANAS IERĪCE**

57 **Kopsavilkums:** Izgudrojums attiecas uz transporta līdzekļu un var tikt izmantots nepārtrauktas barošanas avotu testēšanai. Piedāvātā akumulatoru testēšanas ierīce (skat. 1.zīm.) satur: primāro barošanas avotu 1; sekundāro akumulatoru 2; slodzi 3; slodzes strāvas sensoru 4; slodzes ģenerators strāvas sensoru 5; summatoru 6; slodzes ģenerators 7; kļūdas pastiprinātāju 8; vadības bloku 9; atmiņu 10; lietotāja interfeisu 11. Testēšanas laikā ierīce periodiski, saskaņā ar vadības blokā 9 instalēto programmu, izveido rekonfigurācijas signālu, un vadības bloks 9 atslēdz primāro barošanas avotu 1 un pieslēdz slodzes 3 barošanu no sekundārā akumulatora 2, kā arī izveido signālu kļūdas pastiprinātājam 8, bet no akumulatora 2 nodrošina summārās iedarbes mērīšanu uz slodzi 3 un ģenerators 7 no sekundārā akumulatora 2 nodrošina vadības bloks 9 ar līdzstrāvas sensoru 4 un 5 palīdzību. Shēmas daļa, ko veido elementi 4, 5, 6, 7 un 8, veido slodzei sekojošu ģenerators. Primārā barošanas avota (akumulatora) 1 stāvoklis skaitliski tiek novērtēts pēc tā iekšējās pretestības lieluma, izmantojot slodzes strāvas palielināšanos minētās pārslēgšanas rezultātā. No atmiņā 10 iepriekš saglabātā sprieguma lieluma tiek atņemts reģistrētais spriegums un iegūtais rezultāts atkal tiek ierakstīts atmiņā 10. Avota 1 iekšējās pretestības novērtēšana notiek pēc formulas

$$R_{int}^{measured} = \Delta U_{battery} \cdot 10^n [V/A],$$

un rezultātā vadības bloks 9, ja ir izpildīts noteikts kritērijs, saņem rekonfigurācijas signālu, kas atjauno slodzes 2 barošanu no primārā barošanas avota 1. Interfeiss 11 izvada informāciju par testa izpildīšanu. Piedāvātā testēšanas iekārta ir iebūvējama barošanas blokā un nodrošina akumulatora 1 stāvokļa kontroli automātiskā režīmā.

