

## Elektroninių įtaisų taisymo trukmės analizė

### V. Stupak

Lietuvos teisės universitetas

V. Putvinskio g.70, LT-3000 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 303673, el. paštas v.stupak@ltukf.lt

#### Ivadas

Projektuojant, gaminant ir eksploatuojant elektroninius įtaisus (EI), atliekami patikimumo ir efektyvaus naudojimo [1] užtikrinimo darbai. Sprendžiant efektyvumo klausimus, parenkama racionali EI eksploatavimo sistema, numatanti techninės priežiūros priemonių ir remontų visumą. Planuojant šiuos darbus reikia turėti informaciją ir apie EI taisymo trukmę.

Straipsnyje analizuojamas EI pataisomumo rodiklis – vidutinė taisymo trukmė. Pateiktas dviejų šio rodiklio sudėtinių dalių vertinimo metodas: vidutinio laiko, apibūdinančio laukimą eilėje taisymo darbų pradžios įstaigoje, atliekančioje neplaninius remontus (toliau – remonto įstaigoje), ir vidutinio laiko, susijusio su laukimu eilėje remonto įstaigoje taisymo darbams atlikti reikalingų komponentų (darbingų EI komplektuojamų gaminių, medžiagų ir kt.; toliau – elementų). Atliekama remonto įstaigoje funkcionuojančios techninės priežiūros ir remonto įstaigos aprūpinimo elementais sistemų analizė.

#### EI taisymo būsenos modelis

EI pataisomumą lemia įtaisų savybės ir eksploatacijos sistemos organizavimas. Bet nors EI savybės ir eksploatacijos sistemos skiriasi, visas įtaisams taisyti sugaišamas laikas gali būti sąlygiškai skirstomas į tris pagrindines dalis [2]: administravimo laiką, tiekimo laiką ir tiesioginio taisymo laiką (toliau – operatyvusis taisymo laikas).

Atlikdami taisymo trukmės analizę, nagrinėsime atvejį, kai EI galima pavaizduoti kaip susidedančius iš  $N$  nuosekliai patikimumo atžvilgiu sujungtų elementų, kurie, kai sugenda, tiesiogiai pakeičiami į darbingus. Elementais, atsižvelgiant į numatytą EI taisymo technologiją, gali būti ir diskretiniai elementai, atskiri blokai ir pan.

Toliau darysime prielaidą, kad :

elementų darbo be gedimų trukmė turi matematinę viltį  $\lambda_i^{-1}$  ( $\lambda_i$  –  $i$ -ojo elemento gedimų intensyvumas) ir yra pasiskirsčiusi pagal eksponentinį dėsnį;

EI taisymo trukmė, sugedus  $i$ -ajam elementui, turi matematinę viltį  $t_{ii}$  ( $i = \overline{1, N}$ ) ir yra pasiskirsčiusi pagal dėsnį, nesutampantį su eksponentiniu dėsniumi.

Be to, galima tarti, kad  $t_{ii} \ll \lambda_i^{-1}$ , ir, atsižvelgiant į [3], EI vidutinė taisymo trukmė gali būti apskaičiuota taip:

$$T_t = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\Lambda} t_{ii}, \quad (1)$$

$$t_{ii} = t_{tri} + t_{lki} + t_{pri} + t_{opi}, \quad (2)$$

čia  $\Lambda$  – EI gedimų srauto parametras;  $t_{tri}$  – laikas, reikalingas įtaisui gabenti į remonto įstaigą ir atgal į eksploatacijos vietą sugedus  $i$ -ajam elementui;  $t_{lki}$  – laukimo taisymo darbų pradžios eilėje trukmė sugedus  $i$ -ajam elementui;  $t_{pri}$  – laukimo eilėje darbingo elemento, reikalingo taisymo darbams atlikti, trukmė sugedus  $i$ -ajam elementui;  $t_{opi}$  – operatyvioji EI taisymo trukmė sugedus  $i$ -ajam elementui.

EI vidutinės taisymo trukmės sudėtinės dalys  $T_{tr}$  ir  $T_{lk}$ , apibūdinančios vidutinį laiką, reikalingą įtaisui gabenti į remonto įstaigą ir atgal į eksploatacijos vietą ( $T_{tr}$ ) ir EI vidutinę laukimo eilėje taisymo darbų pradžios trukmę ( $T_{lk}$ ), nėra sugedusio elemento numerio funkcijos. Šių dalių vertėms turi įtakos kiti faktoriai. Tuomet (1) formulę galima užrašyti taip:

$$T_t = T_{tr} + T_{lk} + T_{pr} + T_{op}, \quad (3)$$

$$T_{pr} = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\Lambda} t_{pri}, \quad (4)$$

$$T_{op} = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\Lambda} t_{opi}, \quad (5)$$

čia  $T_{pr}$  – vidutinė darbingų EI elementų, reikalingų taisymo darbams atlikti, laukimo eilėje trukmė;  $T_{op}$  – EI vidutinė operatyvioji taisymo trukmė.

Atsižvelgiant į anksčiau pateiktą viso EI taisyti sugaišamo laiko suskirstymą, laiką  $T_{tr}$  ir  $T_{lk}$  galima priskirti administravimo laikui. Laikas  $T_{pr}$  yra tiekimo laikas, o  $T_{op}$  – tai tiesioginio taisymo arba operatyvusis taisymo laikas.

$T_{tr}$  vertė priklauso nuo EI techninės priežiūros sistemos, kurioje remonto įstaiga gali būti numatyta EI



Pagal (8) formulę apskaičiuota  $T_{lk}$  vertė apibūdina vidutinį vienkartinio buvimo nagrinėjamo tipo EĮ eilėje remonto įstaigoje laukiant taisymo darbų pradžios.

**EĮ darbingų elementų, reikalingų taisymo darbams atlikti, laukimo eilėje vidutinės trukmės apskaičiavimas.** Analizuodami vidutinę laukimo eilėje darbingų elementų, reikalingų taisymo darbams atlikti, trukmę  $T_{pr}$ , nagrinėsime du elementų atsargų komplektavimo būdus. Pirmas būdas – remonto įstaigoje kiekvienam iš aptarnaujamų EĮ numatytos vienodos apimties nagrinėjamo tipo elementų atsargos; antras – remonto įstaigoje grupei aptarnaujamų EĮ numatytos tam tikros apimties nagrinėjamo tipo elementų atsargos.

Vidutinio laiko  $T_{pr}$  vertinimo metodas numato šio laiko sudėtinės dalies  $t_{prj}$  nustatymą. Laiką  $T_{pr}$ , turėdami informaciją apie  $t_{prj}$  ir atsižvelgdami į (4), apskaičiuosime taip:

$$T_{pr} = \Lambda^{-1} \sum_{j=1}^{L_0} m_j \lambda_j t_{prj}; \quad (19)$$

čia  $\lambda_j$  – EĮ  $j$ -ojo tipo elemento gedimų intensyvumas;  $m_j$  –  $j$ -ojo tipo elementų skaičius EĮ;  $L_0$  – EĮ elementų, tiesiogiai pakeičiamų į darbingus, tipų skaičius. Tuomet galioja tokia lygybė:

$$\sum_{j=1}^{L_0} m_j = N. \quad (20)$$

Atliekant apskaičiavimus, vietoj elementų gedimų intensyvumo  $\lambda_j$  gali būti naudojamas elementų keitimų intensyvumas  $\lambda_{kj}$ :

$$\lambda_{kj} = W \lambda_j; \quad (21)$$

čia  $W$  – keitimų koeficientas. Koeficientas  $W$  leidžia įvertinti visus gedimus, kurie įvyksta naudojant EĮ pagal paskirtį, darbingumo kontrolės ir patikrinimų metu.

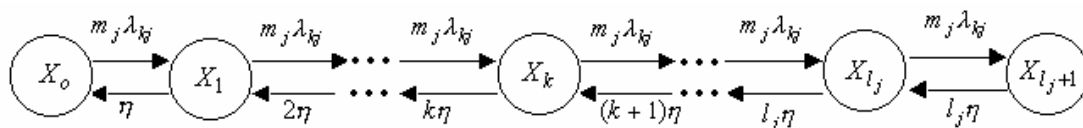
Toliau darysime prielaidą, kad:

elementų atsargos remonto įstaigoje papildomos iškart po elementų sunaudojimo;

elementų atsargų apimtis bet kuriais laiko momentais neviršija pirminio šių elementų kiekio remonto įstaigoje;

elementų atsargų remonto įstaigoje papildymo laikas turi matematinę viltį  $\eta^{-1}$  ( $\eta$  –  $j$ -ojo tipo elemento atsargų papildymo intensyvumas,  $j = \overline{1, L_0}$ ) ir pasiskirstytas pagal eksponentinį dėsnį.

Pereisime prie vidutinio laiko  $T_{pr}$  sudėtinės dalies  $t_{prj}$  vertinimo ir nagrinėsime pirmąjį elementų atsargų komplektavimo būdą. Analizuosime atvejį, kada:



2 pav. EĮ aprūpinimo  $j$  – ojo tipo elementais sistemos būsenų grafas taikant pirmąjį atsargų komplektavimo būdą

$j$  – ojo tipo elementų atsargos, skirtos nagrinėjamo EĮ taisymo darbams atlikti, susideda iš  $l_j$  elementų;

po  $l_j$   $j$  – ojo tipo elementų sunaudojimo nagrinėjamo EĮ taisymo darbams atlikti, įtaisas laukia darbingų elementų eilėje, turinčioje vieną vietą.

Kaip EĮ aprūpinimo  $j$  – ojo tipo elementais sistemos modelis gali būti panaudota atviro tipo daugiakanalė masinio aptarnavimo sistema su apribotu eilės ilgiu. Be to, nagrinėsime FIFO paraiškų aptarnavimo tvarką. Analizuojamos sistemos būsenų grafas pateiktas 2 pav. Čia nurodytos šios būsenos  $X_k$  –  $j$  – ojo tipo elementų atsargos, numatytos nagrinėjamo EĮ taisymo darbams atlikti, susideda iš  $(l_j - k)$  elementų ( $k = \overline{0, l_j}$ );  $X_{l_j+1}$  – sunaudotos  $j$  – ojo tipo elementų atsargos, numatytos nagrinėjamo EĮ taisymo darbams atlikti ( $l_j = 0$ ).

Analizuojant pirmąjį elementų atsargų komplektavimo būdą, EĮ bus darbingas, kai aprūpinimo elementais sistemos būsenos bus  $X_k$ , kur  $k = \overline{0, l_j}$ . Tuo atveju, kai nagrinėjama sistema bus  $X_{l_j+1}$  būsenos, EĮ bus nedarbingas dėl  $j$  – ojo tipo elemento gedimo ir lauks šio elemento eilėje, turinčioje vieną vietą. Tuomet, atsižvelgiant į [5], vidutinio laiko  $T_{pr}$  sudėtinėi daliai  $t_{prj}$  gausime:

$$t_{prj} = \frac{P_j}{\eta l_j}, \quad (22)$$

$$P_j = \frac{P(l_j, \rho_j)}{R(l_j, \rho_j) + P(l_j, \rho_j) \chi_j}, \quad (23)$$

$$\chi_j = \rho_j l_j^{-1}, \quad (24)$$

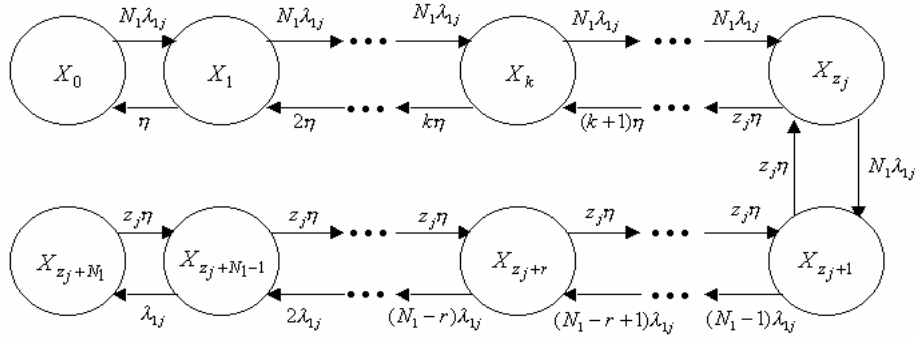
$$\rho_j = \frac{m_j \lambda_{kj}}{\eta}. \quad (25)$$

Dydžius  $P(l_j, \rho_j)$  ir  $R(l_j, \rho_j)$  galima apskaičiuoti pagal (13) ir (14) formules.

Toliau nagrinėsime antrąjį elementų atsargų komplektavimo būdą ir pereisime prie vidutinio laiko  $T_{pr}$  sudėtinės dalies  $t_{prj}$  vertinimo. Analizuosime atvejį, kada:

$j$  – ojo tipo elementų atsargos, skirtos grupės iš  $N_1$  EĮ taisymo darbams atlikti, susideda iš  $z_j$  elementų;

po  $z_j$   $j$  – ojo tipo elementų sunaudojimo nagrinėjamos grupės įtaisų taisymo darbams atlikti, EĮ laukia darbingų elementų eilėje, turinčioje  $N_1$  vietų.



3 pav. EĮ aprūpinimo  $j$  – ojo tipo elementais sistemos būsenų grafas taikant antrąjį atsargų komplektavimo būdą

Kaip EĮ aprūpinimo  $j$ –ojo tipo elementais sistemos modelis gali būti panaudota uždaro tipo masinio aptarnavimo sistema su apribotu eilės ilgiu. Be to, nagrinėsime FIFO paraiškų aptarnavimo tvarką. Analizuojamos sistemos būsenų grafas pateiktas 3 pav. Čia nurodytos šios būsenos:  $X_k$  –  $j$ –ojo tipo elementų atsargos, numatytos  $N_1$  EĮ taisymo darbams atlikti, susideda iš  $(z_j - k)$  elementų, ( $k = \overline{0, z_j}$ ), EĮ yra darbingi;  $X_{z_j+r}$  –  $j$ –ojo tipo elementų atsargos, numatytos  $N_1$  EĮ taisymo darbams atlikti, sunaudotos ( $z_j = 0$ ),  $r$  įtaisų sugedo ir laukia darbingų elementų eilėje ( $r = \overline{1, N_1}$ ), be to  $\lambda_{1j} = m_j \lambda_{kj}$ .

Nagrinėdami vidutinio laiko  $T_{pr}$  sudėtinės dalies  $t_{prj}$  vertinimo metodą, analizuosime įvykį  $A_o$  ir hipotezę  $H_i$ . Įvykį  $A_o$  sudaro tai, kad EĮ sugedo laiko intervale  $(t, t + dt)$ . Hipotezė  $H_i$  apibūdina tai, kad EĮ aprūpinimo elementais sistema esant stacionariam režimui bus  $H_i$  būsenos ( $i = \overline{0, (z_j + N_1 - 1)}$ ). Tuomet gauname :

$$t_{prj} = \frac{1}{z_j \eta} \sum_{r=0}^{N_1-1} (r+1) P(H_{z_j+r} / A_o). \quad (26)$$

Tikimybės  $P(H_{z_j+r} / A_o)$ , ( $r = \overline{0, (N_1 - 1)}$ ), atsižvelgiant į Bėjo formulę, gali būti apskaičiuotos taip :

$$P(H_{z_j+r} / A_o) = P(H_{z_j+r}) P(A_o / H_{z_j+r}) / P(A_o), \quad (27)$$

$$P(A_o) = \sum_{k=0}^{z_j-1} P(H_k) P(A_o / H_k) + \sum_{r=0}^{N_1-1} P(H_{z_j+r}) P(A_o / H_{z_j+r}). \quad (28)$$

Hipotezių tikimybėms po pertvarkymų galime gauti :

$$P(H_k) = \frac{a_j^k}{k!} p_{oj}, (k = \overline{0, z_j}), \quad (29)$$

$$P(H_{z_j+r}) = \frac{a_j^{z_j} N_1!}{z_j! b_j^{N_1} (N_1 - r)!} p_{oj}, (r = \overline{0, (N_1 - 1)}) \quad (30)$$

$$a_j = N_1 \rho_j, \quad (31)$$

$$b_j = z_j / \rho_j, \quad (32)$$

$$\rho_j = \lambda_{1j} \eta^{-1} = m_j \lambda_{kj} \eta^{-1}; \quad (33)$$

čia  $p_{oj}$  – stacionarioji tikimybė, kad aprūpinimo elementais sistema bus  $j$ –osios būsenos. Sąlyginėms įvykio  $A_o$  tikimybėms, atsižvelgiant į 3 pav. pateiktą būsenų grafą, gaunama :

$$P(A_o / H_k) = N_1 \lambda_{1j} dt, (k = \overline{0, (z_j - 1)}), \quad (34)$$

$$P(A_o / H_{z_j+r}) = (N_1 - r) \lambda_{1j} dt, (r = \overline{0, (N_1 - 1)}). \quad (35)$$

Įvertinęs (29), (30), (34), (35) ir (27) lygtis, (26) formulę po pertvarkymų užrašysime taip :

$$t_{prj} = \frac{\frac{P(z_j, a_j)}{P(N_1, b_j)} [N_1 b_j R(N_1, b_j) - b_j^2 R(N_1 - 1, b_j)]}{z_j \eta \left[ N_1 R(z_j - 1, a_j) + \frac{P(z_j, a_j)}{P(N_1, b_j)} b_j R(N_1 - 1, b_j) \right]}, \quad (36)$$

Dydžiai  $P(z_j, a_j)$  ir  $P(N_1, b_j)$  nustatomi iš (13) formulės;  $R(N_1, b_j)$ ,  $R(N_1 - 1, b_j)$  ir  $R(z_j - 1, a_j)$  – iš (14) formulės.

Taigi vidutinį laiką  $T_{pr}$  galima apskaičiuoti pagal (19) formulę. Taikant pirmąjį elementų atsargų komplektavimo būdą, šio laiko sudėtinė dalis  $t_{prj}$  nustatoma iš (22) formulės, taikant antrąjį elementų atsargų komplektavimo būdą, – iš (36) formulės.

## Išvados

1. Nagrinėjamas EĮ pataisomumą apibūdinantis rodiklis – vidutinė taisymo trukmė. Analizuojamas viso EĮ taisyti sugaištamo laiko suskirstymas į šias sąlygines dalis: administravimo, tiekimo ir tiesioginio taisymo laiką. Rodiklį siūloma apskaičiuoti pagal (3) formulę.

2. Pateiktas vidutinio laiko  $T_{lk}$ , apibūdinančio laukimą eilėje remonto įstaigoje taisymo darbų pradžios, vertinimo metodas. Analizuojama remonto įstaigoje

funkcionuojanti techninės priežiūros sistema. Laikas  $T_{lk}$  apskaičiuojamas pagal (8) formulę.

3. Siūlomas vidutinio laiko  $T_{pr}$ , susijusio su laukimu eilėje remonto įstaigoje taisymo darbams atlikti reikalingų darbingų elementų, vertinimo metodas. Nagrinėjama remonto įstaigos aprūpinimo elementais sistema. Analizuojami du elementų atsargų komplektavimo būdai. Laikas  $T_{pr}$  apskaičiuojamas naudojant (19), (22) ir (36) formules.

## Literatūra

1. **Stupak V.** Pataisomųjų elektroninių įtaisų naudojimo efektyvumo vertinimas// Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2001. –Nr.6(35) – P. 76 - 79.

Pateikta spaudai 2004 05 31

### **V. Stupak. Elektroninių įtaisų taisymo trukmės analizė // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr.7(56). – P. 61–65.**

Analizuojami elektroniniai įtaisai, kurie eksploatacijos metu yra taisomi. Nagrinėjamas įtaisų pataisomumo rodiklis – vidutinė taisymo trukmė. Pateiktas dviejų šio rodiklio sudėtinių dalių vertinimo metodas: vidutinio laiko, apibūdinančio laukimą eilėje remonto įstaigoje taisymo darbų pradžios, ir vidutinio laiko, susijusio su laukimu eilėje remonto įstaigoje taisymo darbams atlikti reikalingų komponentų. Analizuojamos remonto įstaigoje funkcionuojančia techninės priežiūros ir remonto įstaigos aprūpinimo komponentais sistemos. Kaip techninės priežiūros sistemos modelis naudojama uždaro tipo daugiakanalė masinio aptarnavimo sistema su apribotu eilės ilgiu. Analizuojant aprūpinimo komponentais sistemą, nagrinėjami du komponentų komplektavimo būdai. Kaip aprūpinimo komponentais sistemos modelis naudojant pirmąjį komponentų atsargų komplektavimo būdą, nagrinėjama atviro tipo, naudojant antrąjį komplektavimo būdą, – uždaro tipo daugiakanalės masinio aptarnavimo sistemos su apribotu eilės ilgiu. Visose nagrinėjamosiose masinio aptarnavimo sistemose numatyta FIFO paraiškų aptarnavimo tvarka. II. 3, bibl. 5 ( lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k. ).

### **V. Stupak. The Time Analysis of the Electronic Devices' Restoration // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No.7(56). – P. 61–65.**

The restoration of electronic devices in the process of exploitation is analyzed. The devices' maintainability index – a restoration mean time is regarded. The two components' evaluation method of the given index is offered: an expectation mean time in the repair regime from the beginning of the restoration work and an expectation mean time in the repair regime of the necessary components for the restoration work. The maintenance system in the repair regime is analyzed as well as the providing of the repair system with the necessary components. A closed multi – channel queueing system with a finite waiting room is used as a model of the maintenance system. Analyzing the providing of the repair organ with the necessary components the two complement ways are regarded. An open (in the first case) and a closed (in the second case) multi – channel queueing system with a finite waiting room are used as models for providing a repair organ with the necessary components. The FIFO method of the requests' service is used in all the analyzed systems of the mass cases. III. 3, bibl. 5 ( in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian ).

### **V. Ступак. Анализ времени восстановления электронных устройств // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. – №.7(56). – С. 61–65.**

Анализируются электронные устройства, которые в процессе эксплуатации подвергаются восстановительным работам. Рассматривается показатель ремонтпригодности устройств – среднее время восстановления. Предложен метод оценки двух составляющих данного показателя: среднего времени ожидания в очереди в ремонтном органе начала восстановительных работ и среднего времени ожидания в очереди в ремонтном органе необходимых компонент для проведения восстановительных работ. Анализируется действующая в ремонтном органе система технического обслуживания и система обеспечения ремонтного органа необходимыми компонентами. В качестве модели системы технического обслуживания используется закрытая многоканальная система массового обслуживания с ограниченной по длине очередью. Анализируя систему обеспечения ремонтного органа необходимыми компонентами рассматриваются два способа комплектования компонентами. В качестве модели системы обеспечения ремонтного органа необходимыми компонентами при первом способе комплектования используется разомкнутая, при втором способе – закрытая многоканальные системы массового обслуживания с ограниченной по длине очередью. Во всех рассматриваемых системах массового обслуживания предусмотрен FIFO порядок обслуживания требований. Ил. 3, библи. 5 ( на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.10881