

Elektroninių įtaisų darbingumo kontrolės periodiškumo analizė

V. Stupak

Kauno policijos fakultetas, Mykolo Romerio universitetas,

V. Putvinskio g. 70, LT-44211 Kaunas ACP, Lietuva, tel. +370 37 303645, el. p. v.stupak@ltukf.lt

Įvadas

Nagrinėjami elektroniniai įtaisai (EI). Laiko intervale tarp patikrinimų periodiškai vidiniais kontrolės įrenginiais pravedama jų darbingumo kontrolė.

Projektuojant, gaminant ir eksploatuojant EI, atliekami patikimumo ir efektyvaus naudojimo užtikrinimo darbai. Sprendžiant šiuos klausimus parenkama racionali EI eksploatavimo sistema, numatanti techninės priežiūros priemonių ir remontų visumą.

Atsižvelgiant į įtaisų savybes ir ekonominius rodiklius, pateikiamas darbingumo kontrolių periodiškumo nustatymo metodas. Parodyta, kad siūlomas metodas taip pat leidžia apskaičiuoti ir racionalų darbingumo kontrolių skaičių laiko intervale tarp periodinių patikrinimų bei racionalų laiko intervalą tarp jų.

EI techninės priežiūros sistemą apibūdinantys rodikliai

Nagrinėdami EI eksploatavimo procesą, analizuosime atvejį, kada laiko intervale tarp periodinių patikrinimų numatyta N darbingumo kontrolių periodiškumu T .

Techninės priežiūros sistemą apibūdiname rodikliais N , T ir laiko intervalu tarp periodinių patikrinimų τ_{PP} . Rodikliai N ir T gali būti parenkami taikant įvairius kriterijus [1]. Šiuos rodiklius apskaičiuosime, atsižvelgdami į EI eksploatacijos išlaidas:

$$C \rightarrow \min_{N,T}; \quad (1)$$

čia C – rodiklis, apibūdinantis išlaidas, patirtas eksploatuojant EI per vienerius metus.

Laiko intervalą tarp periodinių patikrinimų τ_{PP} galime rasti naudodamiesi šia formule:

$$\tau_{PP} = (N+1)T + N\tau_K; \quad (2)$$

čia τ_K – darbingumo kontrolės trukmės matematinė viltis.

Nagrinėjant EI techninės priežiūros sistemą, būtina, atsižvelgiant į EI gedimus, atlikti įtaisų būsenų analizę. EI gedimus eksploatacijos metu priklausomai nuo jų aptikimo būdo suskirstysime į dvi grupes [2]. Pirmoji grupė – tai gedimai, aptinkami tiesiogiai pagal išorinius požymius,

antroji – gedimai, aptinkami patikrinimų arba darbingumo kontrolės metu. Darysime ir šias prielaidas [2]:

- antrosios grupės gedimai darbingumo kontrolės metu aptinkami su tikimybe α ($0 < \alpha < 1$), patikrinimo metu – su tikimybe, lygia 1;

- gedimų atsiradimo tikimybės darbingumo kontrolės ar patikrinimo metu nedidelės (artimos nuliui);

- darbingumas atkuriamas visiškai, t.y. su tikimybe, lygia 1.

Tuomet gali būti analizuojamos šios EI būsenos (būsenų aibė – E) [2]: X_0 – EI darbingumo atkūrimo būsenos; X_{01} – patikrinimo po darbingumo atkūrimo būsenos; X_{11} , X_{12} , ..., $X_{1(N+1)}$ – būsenos, kai EI yra darbingas ir naudojamas pagal paskirtį laiko intervalais po patikrinimo, pirmosios, ..., N – osios darbingumo kontrolės (būsenų aibė – E_1); X_{21} , X_{22} , ..., $X_{2(N+1)}$ – būsenos, kai EI nedarbingas dėl antrosios grupės gedimo atsiradimo ir naudojamas pagal paskirtį laiko intervalais po patikrinimo, pirmosios, ..., N – osios darbingumo kontrolės (būsenų aibė – E_2); X_{31} , X_{32} , ..., X_{3N} – būsenos, kai EI nedarbingas dėl antrosios grupės gedimo ir atliekama pirmoji, antroji, ..., N – oji darbingumo kontrolė (būsenų aibė – E_3); $X_{3(N+1)}$ – būsenos, kai EI nedarbingas dėl antrosios grupės gedimo ir atliekamas periodinis patikrinimas; X_{41} , X_{42} , ..., X_{4N} – būsenos, kai EI darbingas ir atliekama pirmoji, antroji, ..., N – oji darbingumo kontrolė (būsenų aibė – E_4); $X_{4(N+1)}$ – būsenos, kai EI darbingas ir atliekamas periodinis patikrinimas.

EI darbingumo kontrolių periodiškumo nustatymas

Analizuojant darbingumo kontrolių periodiškumą T , darbingumo kontrolių skaičių laiko intervale tarp periodinių patikrinimų N ir laiko intervalą tarp periodinių patikrinimų τ_{PP} , pirmiausiai turi būti parinktas eksploatacijos proceso modelis. Toliau apskaičiuojamas rodiklis C , nustatomi techninės priežiūros sistemos parametrai T , N ir τ_{PP} .

Eksploatacijos proceso modelyje būsenų kaitai aprašyti naudosime pusmarkovį atsitiktinį procesą [2]. Šį procesą apibūdina Markovo grandies perėjimų tikimybės

$\|P_{ij}(t)\|$ matrica su elementais $p_{ij}(i, j \in E)$ bei sąlyginių būsenų trukmių pasiskirstymo funkcijų $\|F_{ij}(t)\|$ matrica su elementais $F_{ij}(i, j \in E)$.

Atsižvelgiant į techninės priežiūros sistemą ir į EĮ būsenas, rodiklis C turi apibūdinti išlaidas, susijusias su:

techninės priežiūros ir darbingumo atkūrimo darbais; nuostoliais dėl prastovų atliekant su techninės priežiūros ir darbingumo atkūrimo darbus pravedimu; nuostoliais dėl naudojimo pagal paskirtį įtaisų, turinčių antrosios grupės gedimų.

Eksploatacijos išlaidos, kurias apibūdina rodiklis C , yra atsitiktinis dydis. Todėl toliau nagrinėsime šių išlaidų, susidariusių, kai įtaiso darbo be gedimų trukmė lygi V , matematinę viltį C_* . Didėjant trukmei V , didėja ir išlaidos C_* , todėl tikslinga pereiti prie neadityvių V atžvilgiu vidutinių išlaidų $I_* = C_*/V$. Tuomet išlaidos I_* bus lygios:

$$I_* = I + I_{el}, \quad (3)$$

$$I = P_1^{-1} \{ (s_0 + u_0)P_0 + (s_1 + u_1)(P_{3(N+1)} + P_{4(N+1)} + P_{01}) + u_2 \left(\sum_{i \in E_3} P_i + \sum_{i \in E_4} P_i \right) + u_3 \sum_{i \in E_2} P_i \}, \quad (4)$$

$$P_i = \pi_i a_i / \sum_{r \in E} \pi_r a_r, \quad (5)$$

$$P_1 = \sum_{r \in E_1} \pi_r a_r / \sum_{r \in E} \pi_r a_r, \quad (6)$$

$$I_{el} = W \sum_j \lambda_j C_{elj}, \quad (7)$$

čia I – vidutinės išlaidos (neįskaitant kainos elementų, pakeičiamų į darbingus), susijusios su techninės priežiūros ir darbingumo atkūrimo darbais, su nuostoliais dėl prastovų atliekant šiuos darbus ir su nuostoliais dėl naudojimo pagal paskirtį įtaisų, turinčių antrosios grupės gedimų; s_0 – išlaidos (per laiko vienetą), susijusios su darbingumo atkūrimo darbais (neįskaitant kainos elementų, pakeičiamų į darbingus); s_1 – išlaidos (per laiko vienetą), susijusios su patikrinimais; u_0 – nuostolių, susidariusių dėl EĮ prastovų atliekant darbingumo atkūrimo darbus, kaina (per laiko vienetą); u_1 – nuostolių, susidariusių dėl EĮ prastovų atliekant patikrinimus, kaina (per laiko vienetą); u_2 – nuostolių, susidariusių dėl EĮ prastovų atliekant darbingumo kontrolę, kaina (per laiko vienetą); u_3 – nuostolių, susidariusių dėl naudojimo pagal paskirtį įtaisų, turinčių antrosios grupės gedimų, kaina (per laiko vienetą); P_i – stacionarioji tikimybė, kad EĮ bus j -osios būsenos; π_i – stacionarioji Markovo grandies būsenos X_i tikimybė; a_i – vidutinė besąlyginė būsenos X_i trukmė; P_1 – stacionariųjų tikimybių, kad EĮ yra darbingi ir

naudojami pagal paskirtį, suma; I_{el} – vidutinė kaina elementų, pakeičiamų į darbingus įtaiso taisymo metu; λ_j – EĮ j -ojo tipo elemento, tiesiogiai pakeičiamo į darbingą taisymo metu, gedimų intensyvumas; C_{elj} – EĮ j -ojo tipo elemento, tiesiogiai pakeičiamo į darbingą taisymo metu, kaina; W – keitimų koeficientas. Koeficientas W leidžia įvertinti visus gedimus, kurie įvyksta naudojant EĮ pagal paskirtį, darbingumo kontrolės, patikrinimų ir taisymo metu [2].

Išlaidos s_0 , atsižvelgiant į EĮ taisymo trukmės struktūrą [3], gali būti nustatomos taip:

$$s_0 = (T_{tr}s_{01} + T_{op}s_{02})T_t^{-1}; \quad (8)$$

čia T_{tr} – vidutinis laikas, reikalingas įtaisui gabenti į remonto įstaigą ir atgal į eksploatacijos vietą; s_{01} – išlaidos (per laiko vienetą), susijusios su įtaiso gabenimu į remonto įstaigą ir atgal į eksploatacijos vietą; T_{op} – vidutinė operatyvioji EĮ taisymo (tiesioginio taisymo) trukmė; s_{02} – išlaidos (per laiko vienetą), susijusios su įtaiso tiesioginiu taisymu; T_t – vidutinė EĮ taisymo trukmė, apskaičiuojama pagal formulę [3]:

$$T_t = T_{tr} + T_{lk} + T_{pr} + T_{op}; \quad (9)$$

čia T_{lk} – EĮ vidutinė laukimo eilėje taisymo darbų pradžios trukmė; T_{pr} – vidutinė darbingų EĮ elementų, reikalingų taisymo darbams atlikti, laukimo eilėje trukmė.

Darysime prielaidą, kad EĮ gedimų srantai yra paprasčiausi, ir žymėsime Λ – EĮ gedimų srauto parametru; α – koeficientą, apibūdinantį antrosios grupės gedimų dalį bendrame EĮ gedimų sraute; $F(t)$ – EĮ darbo be gedimų trukmės pasiskirstymo funkcija; $F(t) = 1 - \exp(-\Lambda t)$; $F_1(t)$ – EĮ darbo be pirmosios grupės gedimų trukmės pasiskirstymo funkcija, $F_1(t) = 1 - \exp\{-(1 - \alpha)\Lambda t\}$; T_0 – vidutinę EĮ darbo tarp gretimų gedimų trukmę, $T_0 = 1/\Lambda$; τ_k, τ_p – darbingumo kontrolės ir patikrinimo trukmių matematinę viltį.

Stacionariųjų tikimybių, kad EĮ yra darbingi ir naudojami pagal paskirtį, sumai P_1 gauname [2]:

$$P_1 = \left\{ 1 + T_{t*} + \tau_{p*} + \frac{1}{1 - p_1^{N+1}} \left[\left(\frac{1 - p_1^{N+1}}{1 - p_1} - 1 \right) \tau_{k*} + \tau_{p*} p_1^{N+1} + \frac{p_2}{p_3 p_4 - p_1} \left(\left(\frac{1 - (p_3 p_4)^{N+1}}{1 - p_3 p_4} - \frac{1 - p_1^{N+1}}{1 - p_1} \right) B_1 + \left((p_3 p_4)^{N+1} - p_1^{N+1} \right) B_2 \right) \right] \right\}^{-1}, \quad (10)$$

čia $B_1 = \frac{1 - p_3}{1 - \alpha} + \tau_{k*} p_3$; $B_2 = \frac{1 - p_3}{1 - \alpha} + \tau_{p*} p_3$; $T_{t*} = \frac{T_t}{T_0}$;

$$\tau_{p^*} = \frac{\tau_p}{T_0}; \quad \tau_{k^*} = \frac{\tau_k}{T_0}; \quad p_1 = 1 - F(T); \quad p_2 = \alpha F(T);$$

$$p_3 = 1 - F_1(T); \quad p_4 = 1 - \alpha.$$

Vidutinės išlaidos I , atsižvelgiant į (4), (8) ir į [2], bus lygios:

$$I = \left\{ \left[(T_{tr} s_{01} + T_{op} s_{02}) T_t^{-1} + u_0 \right] T_{t^*} + \right.$$

$$\left. + (s_1 + u_1)(Z_1 + 1)\tau_{p^*} + u_2 Z_2 \tau_{k^*} + u_3 Z_3 \right\}, \quad (11)$$

$$Z_1 = \frac{p_2 p_3 \left[(p_3 p_4)^{N+1} - p_1^{N+1} \right] + p_1^{N+1} (p_3 p_4 - 1)}{(1 - p_1^{N+1})(p_3 p_4 - 1)}, \quad (12)$$

$$Z_2 = \left[(1 - p_1^{N+1})(p_3 p_4 - 1) \right]^{-1} \left\{ p_2 p_3 [B_3 - B_4] + \right.$$

$$\left. + (p_3 p_4 - p_1)(B_4 - 1) \right\}, \quad (13)$$

$$Z_3 = \frac{p_2 (1 - p_3)}{(1 - p_1^{N+1})(p_3 p_4 - 1)(1 - \alpha)} \left[B_3 - B_4 - p_1^{N+1} + \right.$$

$$\left. + (p_3 p_4)^{N+1} \right]; \quad (14)$$

čia $B_3 = \frac{1 - (p_3 p_4)^{N+1}}{1 - p_3 p_4}$; $B_4 = \frac{1 - p^{N+1}}{1 - p}$.

Taigi, atsižvelgiant į išlaidų I^* struktūrą ir į (7), EĮ techninės priežiūros sistemą apibūdinančius rodiklius N ir T galima rasti naudojantis šia sąlyga:

$$I \rightarrow \min_{N, T}. \quad (15)$$

Rodiklius N ir T , apskaičiuotus pagal (15), toliau žymėsime N_R ir T_R , čia N_R – racionalus darbingumo kontrolių skaičius laiko intervale tarp periodinių patikrinimų, T_R – racionalus darbingumo kontrolių periodiškumas. Racionalų laiko intervalą tarp periodinių patikrinimų galima rasti taip:

$$\tau_{PPR} = (N_R + 1)T_R + N_R \tau_K. \quad (16)$$

Tais atvejais, kai

$$s_0 + u_0 = s_1 + u_1 = u_2 = u_3 = S, \quad (17)$$

išlaidos I apskaičiuojamos pagal formulę:

$$I = S(1 - P_1)P_1^{-1}. \quad (18)$$

Tada rodikliai N_R ir T_R nustatomi iš šios sąlygos:

$$P_1 \rightarrow \max_{N, T}. \quad (19)$$

Rodiklių N_R , T_R ir τ_{PPR} priklausomybė nuo α , τ_{p^*} ir τ_{k^*} pateikta 1 lentelėje. Tais atvejais, kada darbingumo kontrolė nenumatyta, nagrinėjamas tik vienas rodiklis – τ_{PPR} . EĮ techninės priežiūros sistemą apibūdinančių rodiklių analizei atlikti naudojama sudaryta kompiuterinė programa.

Apskaičiavimai atliekami pagal (19), kai $\alpha = 0,1$ ir $\alpha = 0,2$, $\alpha = 0,2$ ir $\alpha = 0,4$, $\tau_{p^*} = 0,001$ ir $\tau_{p^*} = 0,002$, esant $T_{t^*} = 0,01$ ir įvairioms τ_{k^*} ($\tau_{k^*} = 0,0006$; $\tau_{k^*} = 0,0004$; $\tau_{k^*} = 0,0003$; $\tau_{k^*} = 0,0002$; $\tau_{k^*} = 0,0001$) vertėms.

1 lentelė. T_R , N_R ir τ_{PPR} priklausomybė nuo α , τ_{p^*} ir τ_{k^*}

α, τ_{p^*}	Darbingumo kontrolė				
	atliekama				neatliekama
	τ_{k^*}	T_R / T_0	N_R	τ_{PPR} / T_0	τ_{PPR} / T_0
$\alpha = 0,1$ $\tau_{p^*} = 0,001$	0,0003	0,07	1	0,14	0,11
	0,0002	0,05	2	0,16	
	0,0001	0,02	1327	20,72	
$\alpha = 0,2$ $\tau_{p^*} = 0,001$	0,0003	0,05	1	0,10	0,07
	0,0002	0,04	2	0,11	
	0,0001	0,01	1868	19,81	
$\alpha = 0,1$ $\tau_{p^*} = 0,001$	0,0006	0,11	0	0,11	0,11
	0,0004	0,08	1	0,16	
	0,0002	0,03	653	20,08	
$\alpha = 0,1$ $\tau_{p^*} = 0,002$	0,0006	0,10	1	0,21	0,15
	0,0004	0,08	2	0,23	
	0,0002	0,02	961	21,84	

1 lentelės duomenų analizė tuo atveju, kai darbingumo kontrolė atliekama, rodo, kad didėjant koeficientui α , apibūdinančiam antrosios grupės gedimų dalį bendrame EĮ gedimų sraute, rodiklių T_R / T_o ir τ_{PPR} / T_o vertės mažėja. Didėjant darbingumo kontrolės trukmei τ_{k*} , rodiklių T_R / T_o vertės didėja, N_R – mažėja.

Tais atvejais, kada darbingumo kontrolė neatliekama, didėjant koeficientui α , rodiklio τ_{PPR} / T_o vertė mažėja. Didėjant patikrinimo trukmei τ_{pp*} , rodiklio τ_{PPR} / T_o vertė irgi didėja.

Išvados

1. Analizuojami pataisomieji EĮ. Nagrinėjamas atvejis, kada laiko intervale tarp periodinių patikrinimų vidiniais kontrolės įrenginiais atliekama N darbingumo kontrolių periodiškumu T . Atsižvelgiant į įtaisų savybes ir eksploatacijos išlaidas, pateikiamas darbingumo kontrolių periodiškumo apskaičiavimo metodas.

2. Nagrinėjama EĮ techninės priežiūros sistema, kuria apibūdinama rodikliai N , T ir laiko intervalas tarp periodinių patikrinimų τ_{pp} . EĮ būsenų kaitai eksploatacijos metu aprašyti siūloma naudoti pusmarkovį

atsitiktinį procesą, daroma prielaida, kad įtaisų gedimų srautai yra paprasčiausi.

3. Atlikta analizė išlaidų, turinčių įtakos darbingumo kontrolių periodiškumui. Nagrinėjamos įtaisų eksploatacijos išlaidos, susijusios su techninės priežiūros ir darbingumo atkūrimo darbais, su nuostoliais dėl prastovų atliekant techninės priežiūros ir darbingumo atkūrimo darbus ir su nuostoliais dėl naudojimo pagal paskirtį įtaisų, turinčių antrosios grupės gedimų. Nurodytos išlaidos apskaičiuojamos pagal (3) ir (11) lygtis.

4. Parodyta, kad siūlomas metodas leidžia apskaičiuoti ir šiuos techninės priežiūros sistemą apibūdinančius rodiklius – racionalų darbingumo kontrolių skaičių laiko intervale tarp periodinių patikrinimų bei racionalų laiko intervalą tarp periodinių patikrinimų.

Literatūra

1. **Balaišis P., Eidukas D.** Elektroninių įtaisų patikimumas ir eksploatacija. II knyga. Elektroninių įtaisų eksploatacija. – Kaunas: Technologija, 2002. – 262 p.
2. **Stupak V.** Vienos klasės elektroninių įtaisų naudojimo efektyvumo tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 7(49) – P. 70 – 74.
3. **Stupak V.** Elektroninių įtaisų taisymo trukmės analizė // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 7(56) – P. 61 - 65.

Pateikta spaudai 2005 08 30

V. Stupak. Elektroninių įtaisų darbingumo kontrolės periodiškumo analizė // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 7(63) – P. 27–30.

Nagrinėjami pataisomieji elektroniniai įtaisai. Laiko intervale tarp patikrinimų periodiškai vidiniais kontrolės įrenginiais atliekama jų darbingumo kontrolė. Atsižvelgiant į įtaisų savybes ir eksploatacijos išlaidas, pateiktas darbingumo kontrolių periodiškumo apskaičiavimo metodas. Analizuojant darbingumo kontrolių periodiškumą, nagrinėjamos įtaisų eksploatacijos išlaidos, susijusios su techninės priežiūros ir darbingumo atkūrimo darbais, su nuostoliais dėl prastovų atliekant techninės priežiūros ir darbingumo atkūrimo darbus ir su nuostoliais dėl naudojimo pagal paskirtį įtaisų, turinčių antrosios grupės gedimus. Eksploatacijos proceso modelyje EĮ būsenų kaitai aprašyti numatoma naudoti pusmarkovį atsitiktinį procesą. Siūlomas metodas taip pat leidžia apskaičiuoti ir šiuos techninės priežiūros sistemą apibūdinančius rodiklius – racionalų darbingumo kontrolių skaičių laiko intervale tarp periodinių patikrinimų bei racionalų laiko intervalą tarp periodinių patikrinimų. Bibl. 3 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

V. Stupak. Analysis of Periodicity of the Electronic Devices' Serviceability State Inspection // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2005. – No. 7(63) – P. 27–30.

The restorable electronic devices are being analyzed. Their serviceability is periodically controlled with the help of built-in test equipment in the time intervals. A calculation method of periodicity of the serviceability state inspection is offered due to some peculiarities of the devices and their running costs. Analyzing periodicity of the serviceability state inspection, some running costs are being examined. Such costs are caused by the following expenses: maintenance, restoration of the state of serviceability, situational stoppage, non-effective usage and failure of the second type. The semi-marker stochastic process is supposed to be used in an exploitation model for description of the electronic devices' changes. This method can be used for calculating some other maintenance indexes - the rational number of serviceability state inspection within time between periodical tests and also the rational durations of time between periodical tests. Bibl.3 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

B. Ступак. Анализ периодичности контроля работоспособности электронных устройств // Электроника и электротехника.- Каунас: Технология, 2005. - №. 7(63) – P. 27–30.

Рассматриваются восстанавливаемые электронные устройства. В интервале времени между периодическими проверками также периодически устройства подвергаются контролю работоспособности с помощью средств встроенного контроля. Предлагается, с учётом особенностей устройств и их эксплуатационных расходов, метод расчёта периодичности контроля работоспособности. При анализе периодичности контролей работоспособности рассматриваются эксплуатационные расходы, связанные с затратами на проведение технического обслуживания и работ по восстановлению работоспособного состояния, с затратами из – за простоя в связи с проведением данных мероприятий, с затратами от ущерба в связи с использованием по назначению устройств с отказами второго типа. В модели процесса эксплуатации для описания смены состояний электронных устройств предусматривается использовать полумарковский случайный процесс. Предлагаемый метод позволяет рассчитывать и другие, характеризующие систему технического обслуживания, показатели – рациональное число контролей работоспособности в интервале времени между периодическими проверками, а также и рациональные длительности интервалов времени между периодическими проверками. Библи. 3 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.10501