

Statistinis informacinių elektroninių sistemų dinaminė poveikių įvertinimas

P. Balaišis, D. Eidukas, I. Barysaitė

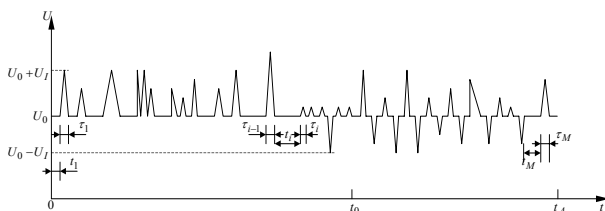
Elektronikos inžinerijos katedra, Kauno technologijos universitetas
Studentų g. 50, 51368 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 300520

Įvadas

Dinaminis poveikis [1] vadinamas poveikiu, kurio parametrai kinta laikui bėgant. Elektroninį įtaisą (EI) veikia daugybė elektrinių, mechaninių, biologinių ir kitų poveikių. Panagrinėkime vienos klasės poveikių statistinio modeliavimo galimybes. Tebūnie tai trumpalaikiai elektriniai poveikiai.

Kiekvieną elektrinį poveikį gali nusakyti gana didelis rodiklių skaičius R . Modeliuojant elektrinę apkrovą (pvz., įtampą), dažniausiai $R=6$, t.y. įtampos ženklas, nuolatinės dedamosios lygis U_0 , impulso pradžios laiko momentas t_0 , impulso trukmė τ , jo amplitudė U_I bei frontų statumai (ΔU) (1 pav).

Trumpalaikiai poveikiai bet kurioje informacinėje elektroninėje sistemoje (IES) susidaro periodiškai arba atsitiktinai. Atsitiktinės gali būti visų šešių rodiklių vertės. Dažniausiai kiekvieno rodiklio vertė iš dalies yra atsitiktinė ir ją galima nusakyti skirstinio tankiu.



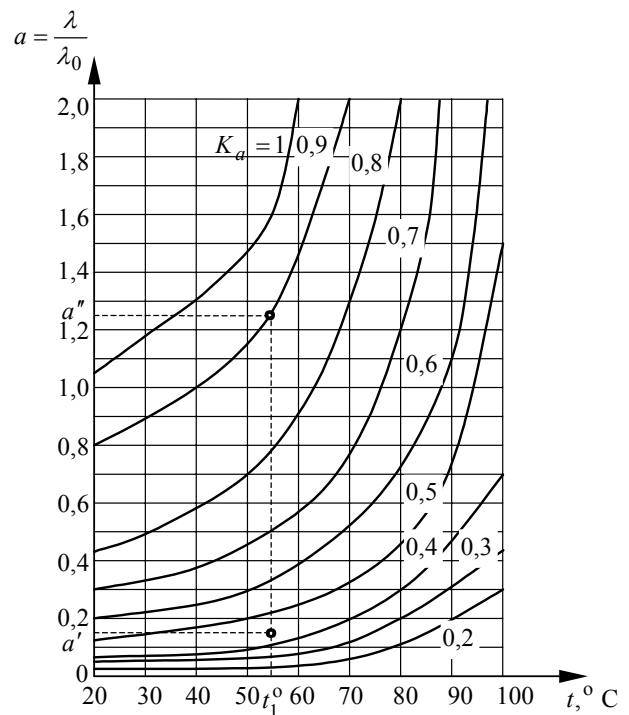
1 pav. Trumpalaikių poveikių seka

Kintant impulso amplitudei ir trukmei, jo įtaka IES negendamumui keičiasi netiesiškai.

Iš 2 paveikslėlio matyti, kad, kai $t^0 = t_1^0$, dvigubai padidėjus K_a vertei (nuo 0,45 iki 0,9), koeficiento a vertė padidėja daugiau negu du kartus ir yra aprašoma netiesine priklausomybe

$$\lambda = f(K_a). \quad (1)$$

Skirstant impulsus į klases pagal jų amplitudes, visą kitimo intervalą tikslinga suskirstyti į sistemingai siaurėjančius intervalus. Tik tokiu atveju gausime vienodas klasifikavimo įtakos negendamumo vertinimui paklaidas visiems intervalams.

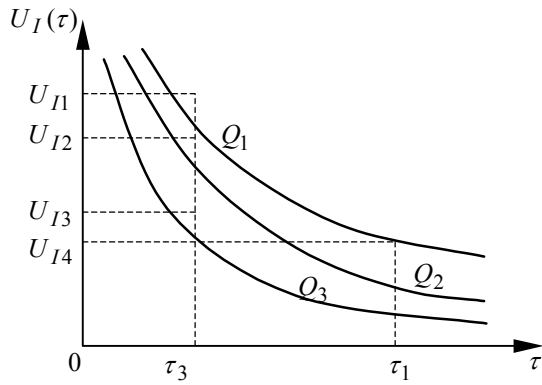


2 pav. Pataisos koeficiento (a) priklausomybė nuo elektrinės apkrovos koeficiento vertės: čia λ – faktinis gedimų intensyvumas; λ_0 – gedimų intensyvumas laboratorinėmis sąlygomis

Atskirai klasifikuojant impulsus pagal trukmę τ , galima būtų manyti, kad IES suteikiamos energijos kiekis tiesiai proporcingas impulso trukmei ir todėl intervalų pločiai $\tau_1 = \tau_2 - \tau_1$ ir impulso amplitudė U_I :

$$\tau_1 = \tau_2 - \tau_1 = \tau_3 - \tau_2 = \dots \quad (2)$$

Tačiau [2] šių dviejų rodiklių vertes galima atsietai (vieną nuo kitos) klasifikuoti tik tuo atveju, kai jų derinys nesukelia staigaus gedimo su didele tikimybe ($Q_{EI} = 1 - \Delta Q$, $\Delta Q \rightarrow 0$). Jei ši sąlyga netenkinama, U_I ir τ rodiklių vertes būtina skirstyti intervalais ir klasifikuoti atsižvelgiant į jų derinio įtaką EI negendamumui. Dažnai pavojingus (gendamumo požiūriu) derinius galima nurodyti $U_I(\tau)$ priklausomybe (3 pav.).



3 pav. $U_I(\tau)$ priklausomybės, kai $Q_1 > Q_2 > Q_3$

Jei impulso amplitudė yra U_{I3} , o trukmė – τ_3 , tai, jam susidarius, su tikimybe Q_3 galima teigti, kad IES staigiai suges. Kai $U_I = U_{I2}$, o $\tau = \tau_3$, tai $Q = Q_3$. Kiekvieno rodiklio verčių klasių skaičių lemia jo įtakos IES (ar komponento) negendamumui kitimas.

Ei neįvykdys užduoties [4] tais atvejais, kai ges arba kai laikinai sutriks [3] jo darbas (bus iškraipyta informacija). Kai šie įvykiai nesuderinami, pažymėję pirmojo atvejo išvengimo tikimybę simboliu $P(t)$, o antrojo – $P_1(t)$, gausime, kad bendra negendamumo tikimybė

$$P_{\Sigma}(t) = P(t)P_1(t);$$

$$P(t) = P_1(t)[P_2(t) + (1 - P_2(t))(1 - Q)]; \quad (3)$$

čia $P_1(t)$ – IES negendamumo tikimybė, kai impulsų amplitudės ir jų trukmės mažesnės už 3 pav. nurodytus derinius; $P_2(t)$ – pavojingų (su tikimybe Q , artima vienetui, garantuojančių IES gedimus) poveikių (įtakos turinčių U_i ir τ derinių: $U_{I1}, \tau_3; U_{I4}, \tau_1$ ir kt.) išvengimo tikimybė.

Be abejo, gedimus gali sąlygoti ir kai kurie elektrinių ar (ir) kitų poveikių deriniai. Jei IES (jo komponentą veikia aibė F_E (F_{EV} – vidinių ir F_{EI} – išorinių) elektrinių poveikių, kiekvienas i -asis poveikis F_{Ei} (F_{EVi}, F_{Eli}) nusakomas pastoviaja bei kintamąja dalimi, rodiklių aibėmis $\{F_{EiPj}\}$ ir $\{F_{EiKj}\}$, kurių vertės yra $\{f_{EiPj}\}$ bei $\{f_{EiKj}\}$, tai šios sistemos būseną

$$A(t) = \gamma(f_{E1P1}(t), \dots, f_{E1PN}(t), f_{E2P1}(t), \dots, f_{E2PM}(t), \dots, f_{EVPL}(t), \dots, f_{E1K1}(t), \dots, f_{E1KO}(t), \dots, f_{E2K1}(t), \dots, f_{E2K2}(t), \dots, f_{EWKC}(t), t) \begin{matrix} \xrightarrow{f_{MO}} \\ \dots \\ \xrightarrow{f_T} \end{matrix}; \quad (4)$$

čia N, M ir L – pirmojo, antrojo ir V -ojo elektrinių poveikių pastoviųjų dalių parametrų skaičiai; O, Z ir C – pirmojo, antrojo ir W -ojo elektrinių poveikių kintamųjų dalių parametrų skaičiai; f_{MO}, \dots, f_T – mechaninių, temperatūrinių ir kitų poveikių parametrų verčių aibės. Todėl, norint rasti IES būseną, būtina žinoti laiko momentą t ir rodiklių

vertes $\{f_{EiPj}(t)\}, \{f_{EiKj}(t)\}, f_{MO}, \dots, f_T$. Rodikliai $\{F_{EiPj}\}$ parenkami, o jų vertės $\{f_{EiPj}\}$ randamos naudojantis klasikine literatūra patikimumo klausimais.

Teorinis modelis

Jeigu skirtingų amplitudžių ir skirtingų trukmių dinamikos dinaminiai poveikiai (1 pav.) sąlygoja skirtingi, tarpusavyje nepriklausomi atsitiktiniai veiksniai, tai įvairių amplitudžių ir trukmių klasių derinius galima vadinti atsitiktiniais, sudarančiais paprasčiausius įvykių srautus. Žinoma, kad paprasčiausių srautų suma sudaro paprasčiausią srautą. Todėl atskirų klasių elektrinius poveikius galima modeliuoti atskirai.

Praktikoje sunku analitiškai susieti atsitiktinių trumpalaikių elektrinių poveikių (TEP) tikimybes, jų amplitudes, trukmes, grupių dydžius ir kt. Kadangi pagrindinis kriterijus skirstant TEP yra jų įtaka IES gedimų intensyvumui, tai modelius galima kiek supaprastinti.

Paanalizuokime pavienių atsitiktinių TEP tikimybių charakteristikų susidarymą. Tarkime, kad IES gedimų intensyvumas

$$\lambda = f(U \cap \tau); \quad (5)$$

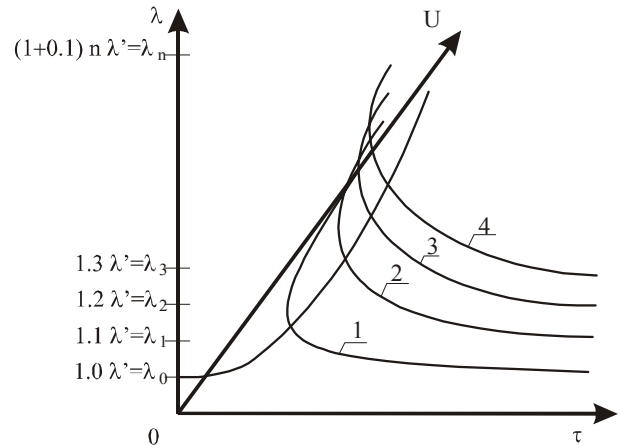
čia U ir τ – TEP amplitudė ir trukmė, o TEP augimo ir kritimo trukmės yra artimos nuliui. Priklausomybė $\lambda = f_1(U)$ daugeliui IES komponentų paprasčiausiu būdu išreiškiama taip:

$$\lambda = \lambda' + \lambda_0 \left(\frac{U}{U_n} \right)^\alpha; \quad (6)$$

čia U_n – nominalioji darbo įtampa; α – statistiškai apskaičiuotas koeficientas ($0,5 \leq \alpha \leq 10$); λ_0 – gedimų intensyvumas sutartinėmis sąlygomis; λ' – elektriškai neapkrautos sistemos gedimų intensyvumas.

Analogiškai kinta ir $\lambda(\tau)$ funkcija. Kai $U = \text{const}$, $\lambda = \lambda' + \lambda(\tau)$; čia $\lambda(\tau)$ komponento gedimų intensyvumo priklausomybė nuo TEP trukmės.

Kadangi IES gedimų intensyvumas sąlygoja atskirų klasių TEP $U \cap \tau$ derinius, tai (6) šių veiksnių skirstymo į klases principas pateiktas 4 pav.



4 pav. Erdvinis $\lambda(U, \tau)$ grafikas

Atsitiktinių TEP rodiklio verčių neįmanoma atskirai vertinti, todėl juos reikia suskirstyti į keletą klasių. Klasių skaičius lemia gedimų intensyvumo vertinimo tikslumą. Siūloma suskirstyti TEP į klases pagal $U \cap \tau$ derinių įtaką gedimų intensyvumui taip:

pirmoji klasė –

$$f(U \cap \tau) \leq 1,1\lambda'; \quad (7)$$

antroji klasė –

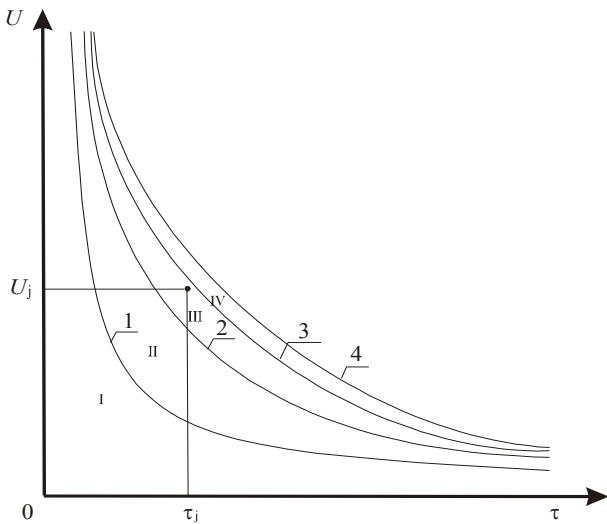
$$1,1\lambda' < f(U \cap \tau) \leq 1,2\lambda'; \quad (8)$$

n -oji klasė –

$$\left(1 + \frac{n-1}{10}\right)\lambda' < f(U \cap \tau) \leq \left(1 + \frac{n}{10}\right)\lambda'. \quad (9)$$

i -osios klasės TEP sąlygojamas IES gedimų intensyvumas

$$\lambda'[1 + 0,1(i-1)] < \lambda_i \leq (1 + 0,1 \cdot i). \quad (10)$$



5 pav. U ir τ derinių poveikių klasės

Suskirstius $f(U \cap \tau)$ paviršių plokštumomis į n lygių (4 pav.), gaunamos kreivės (1-4) ir TEP klasės (I, II, III,...) (5 pav.).

Suminė kurios nors klasės impulsų trukmė

$$t_{\tau 1} = \sum_{i=1}^{N_1} \tau_i^1; \quad (11)$$

čia $U_{I_{\min}}^1$ ir $U_{I_{\max}}^1$ – pirmosios klasės impulsų minimali ir maksimali amplitudės; τ_{\min}^1 ir τ_{\max}^1 – minimali ir maksimali šios klasės impulsų trukmės; N_1 – pirmosios klasės impulsų skaičius per laiką t_A . Tada tikimybė, kad bet kuriuo momentu t veiks pirmosios klasės poveikis,

$$P^{(1)}(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \tau_i^1}{t_A}. \quad (12)$$

Taip apskaičiuojamos ir kitų klasių TEP tikimybės.

Statistinis dinamių poveikių įtakos IES negendamumui vertinimas

IES apkrovos koeficientas, esant pirmosios klasės poveikiui,

$$K_a = \frac{U_{IV}^1 + U_0}{U_n}; \quad (13)$$

čia $U_{IV}^1 = \frac{U_{I_{\max}}^1 + U_{I_{\min}}^1}{2}$; U_n – nominalioji darbo įtampa.

Iš grafikų, analogiškų pateiktam 2 pav., nesunku rasti šios sistemos gedimų intensyvumo pataisos koeficientą a_1 . Šios sistemos negendamumo (dėl 1-osios klasės poveikių) tikimybė per laiką t_0 ($t_0 \gg \tau$)

$$P_1^{(1)}(t_0) = e^{-\lambda_0 \prod_{v=1}^H a_v a_1 t_0} P^{(1)}(t); \quad (14)$$

čia a_v – pataisos koeficiento dėl v -ojo (iš aibių F_{MO}, \dots, F_T) poveikio (4) vertė; H – poveikių iš nurodytų aibių skaičius. Analogiškai randamos tikimybės $P_1^{(2)}(t_0), \dots, P_1^{(D)}(t_0)$ (D – elektrinių poveikių klasių skaičius). Todėl pilnutinė negendamumo tikimybė per laiką t_0

$$P_1^{\Sigma}(t_0) = e^{-\lambda_0 \prod_{v=1}^H a_v t_0 \sum_{i=1}^D a_i P^{(i)}(t)}. \quad (15)$$

Jei sistema susideda iš N_E komponentų ir visi jie dirba tuo pačiu metu, tai

$$P_1^{\Sigma}(t_0) = e^{-t_0 \sum_{j=1}^{N_E} \lambda_{0j} \prod_{v=1}^H a_v \sum_{i=1}^{D_j} a_{ji} P_j^{(i)}(t)}; \quad (16)$$

čia D_j – elektrinių poveikių j -ajam komponentui klasių skaičius; $P_j^{(i)}(t)$ – j -ąjį komponentą veikiančių i -osios klasės poveikių tikimybė bet kuriuo laiko momentu t . Jei kiekvienas j -asis komponentas per laiką t_0 dirbs tik tam tikrą laikotarpį t_{0j} , tai

$$P_1^{\Sigma}(t_0) = e^{-\sum_{j=1}^{N_E} \lambda_{0j} t_{0j} \prod_{v=1}^H a_v \sum_{i=1}^{D_j} a_{ji} P_j^{(i)}(t)}. \quad (17)$$

Kai visi N_E komponentai suskirstyti į B mazgų, kurių kiekvienas (s -asis) per laiką t_0 dirba laiką t_{0s} , tai

$$P_1^{\Sigma}(t_0) = e^{-\sum_{s=1}^B t_{0s} \left[\sum_{j=1}^{N_s} \lambda_{0j} \prod_{v=1}^H a_v \sum_{i=1}^{D_j} a_{ji} P_j^{(i)}(t) \right]}; \quad (18)$$

čia N_s – komponentų skaičius s -ajame mazge

$$N_E = \sum_{s=1}^B N_s. \quad (19)$$

Toliau būtina įvertinti trumpalaikius elektrinius poveikius, beveik vienareikšmiškai sąlygojančius IES gedimus (3 pav.). Jų įtaka išreiškiama $P_2(t)$ ir Q (3). Tikimybę, kad bet kuriuo laiko momentu bus toks poveikis, galima išreikšti (12) analogiška formule. Tik šiuo atveju visi minėtos grupės poveikiai skirstomi į klases pagal tikimybės Q lygius (3 pav.). Prie pirmosios klasės priskiriami poveikiai, kurie su tikimybe Q_1 sąlygoja gedimus, prie antrosios – su tikimybe Q_2 ir t.t. Pirmosios klasės poveikių parametrų verčių apatinę ribą nurodo Q_1 kreivė, antrosios apatinę ribą – Q_2 , o viršutinę – Q_1 ir t. t.

Tikimybė, kad bet kuriuo laiko momentu veiks pirmosios pavojingų poveikių klasės impulsas ($U_{n1}+U_0, \tau_3$),

$$P_{p1}(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{p1}} \tau_{pi}^1}{t_A}; \quad (20)$$

čia N_{p1} – pirmosios klasės pavojingų elektrinių impulsų skaičius per laiką t_A ; τ_{pi}^1 – šios klasės i -ojo impulso trukmė. Tikimybė, kad per laiką t_0 išvengsime pavojingo pirmosios klasės poveikio,

$$P_2^{(1)}(t_0) = e^{-\frac{P_P^{(1)}(t)}{\tau_{v1}} t_0}; \quad (21)$$

čia $\tau_{v1} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{p1}} \tau_i^1}{N_{p1}}$.

Tikimybė, kad susidarys toks poveikis,

$$P_{Q1}(t_0) = 1 - e^{-\frac{P_P^{(1)}(t)}{\tau_{v1}} t_0}. \quad (22)$$

Gedimų tikimybės Q_1, Q_2, \dots, Q_G , veikiant atskirų klasių pavojingiems poveikiams, lemia IES ypatumai. Todėl šių tikimybių vertės nustatomos eksperimentiškai. Imama imtis N' IES ir jos veikiamos vienu (pavyzdžiui, pirmosios klasės) impulsiniu poveikiu, kurio amplitudė U_{Ik}^1 , esant nuolatinei dedamajai U_0 , o $\tau = \tau_k^1$:

$$Q_1 = \frac{n}{N'}; \quad (23)$$

čia n – bandymų metu sugedusių IES skaičius.

Tikimybę $P(t_0)$ galime rasti taip:

$$P(t_0) = P_1^\Sigma(t_0) \prod_{j=1}^{N_E} \times \left[\prod_{k=1}^G \left[P_{2j}^{(k)}(t_0) + P_{Qjk}(t_0)(1 - Q_{jk}) \right] \right] \left| \begin{array}{c} \frac{f_{MO}}{\dots} \\ \frac{f_T}{\dots} \end{array} \right.; \quad (24)$$

čia $P_{2j}^{(k)}(t)$ – tikimybė, kad per laiką t_0 išvengsime k -osios klasės pavojingo poveikio j -ajam komponentui; $P_{Qjk}(t_0)$ –

tikimybė, kad per laiką t_0 susidarys vienas k -osios klasės poveikis j -ajam komponentui; Q_{jk} – tikimybė, kad suges j -asis komponentas, kai jį paveiks vienas k -osios klasės (kai jų skaičius – G) poveikis.

Jei komponento gedimą lemia ribota ($\tau = \tau_1$) ar ilgesnė ($\tau \geq \tau_1$) poveikio trukmė, tai

$$P(\tau' \leq \tau_1, t) = P_E(t)P(\tau' \leq \tau_1); \quad (25)$$

čia $P_E(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N_\Sigma} \tau_i}{t_A}$; N_Σ – bendras impulsinių poveikių

skaičius per laiką t_A . Tikimybė, kad tarp N_Σ impulsų bus tokių, kurių trukmės $\tau' \leq \tau_1$, yra

$$P(\tau' \leq \tau_1, t) = \frac{\sum_{i=1}^{N_E} \tau_i}{t_A} \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \tau_i | \tau' \leq \tau_1}{\sum_{i=1}^{N_E} \tau_i} = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \tau_i | \tau' \leq \tau_1}{t_A}; \quad (26)$$

čia N_1 – elektrinių poveikių, kurių trukmės $\tau' \leq \tau_1$, skaičius.

Tokio poveikio tikimybė per laiką t_0

$$P(\tau' \leq \tau_1, t_0) = 1 - e^{-\frac{\sum_{i=1}^{N_1} \tau_i | \tau' \leq \tau_1}{t_A \tau_v} t_0}; \quad (27)$$

čia τ_v – vidutinė N_1 aibės impulsų trukmė.

Analogiškai randama ir poveikio, kurio amplitudė $U \leq U_1$, tikimybė per laiką t_0 :

$$P(U \leq U_1, t_0) = 1 - e^{-\frac{\sum_{i=1}^{N_2} \tau_i | U \leq U_1}{t_A \tau_v} t_0}; \quad (28)$$

čia N_2 – poveikių, kurių amplitudės $U \leq U_1$, skaičius per laiką t_A .

Kartais, apskaičiuojant $P(t_0)$ ((24) formulė), reikia įvertinti elektrinių poveikių pasikartojimo galimybes. Esant paprasčiausiam poveikių srautui, jos įvertinamos n poveikių per laiką t_0 tikimybė

$$P_n(t_0) = \frac{(\lambda_p t_0)^n}{n!} e^{-\lambda_p t_0}; \quad (29)$$

čia λ_p – dinaminis, trumpalaikių poveikių susidarymo intensyvumas. Šiuo atveju išsiskiria keletas negendamumo ($P_{21}(t), P_{22}(t), \dots, P_{2n}(t)$) bei gedimo ($Q_{11}, \dots, Q_{1n}, \dots, Q_{Gn}$) tikimybių.

Tais atvejais, kai dinaminiai elektriniai poveikiai yra periodiniai, jų modeliai gerokai supaprastėja.

Kur kas sudėtingiau apskaičiuoti $P(t_0)$, kai

$$f_{MOi} = \gamma_{MOi}(t) \dots f_{Ti} = \gamma_{Ti}(t). \quad (30)$$

Į $\underline{f_{MO}}, \dots, \underline{f_T}$ aibes būtina įterpti ir poveikius IES įėjimo bei išėjimo grandinėms.

Išvados

Daugelis IES komponentų darbo metu gali keisti savo būsenas. Kiekvienos būsenos IES gedimo intensyvumas skirtingas. Šiuo atveju, apskaičiuojant $P(t_0)$, tenka įvertinti ir komponentų būsenų tikimybes per laikotarpį t_0 . Esant kelioms komponentų būsenoms, skirsis ir poveikių vertės U_{ik} bei τ_k pavojingi jų deriniai kiekvienai būsenai.

IES komponentų būsenų dinamikos įvertinimas [4] – tolesnių tyrimų objektas. Atskirą modeliavimo uždavinį sudaro trumpalaikių elektrinių poveikių metu IES grandinėse susidarantių pereinamųjų procesų formalizavimas bei jų įtakos įvertinimas.

Literatūra

1. **Balaišis P., Eidukas D., Navikas D., Vilutis G.** Persistence of Electronic Devices. Modern Problems of Radio

Pateikta spaudai 2003 09 15

P. Balaišis, D. Eidukas, I. Barysaitė. Statistinis informacinių elektroninių sistemų dinaminį poveikių įvertinimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 1(50). – P. 73-77.

Pagrįstas statistinio dinaminį poveikių informacinėms elektroninėms sistemoms (IES) modeliavimo būtinumas. Išskirtos dvi dinaminį poveikių grupės. Pateikti šių poveikių skirstymo į klases principai ir tikimybinio vertinimo būdai. Pateiktos formulės dinaminį poveikių įtakai IES negendamumui statistiškai vertinti. Nurodytos pagrindinės šių tyrimų plėtojimo kryptys.

Statistinio vertinimo metodas iliustruojamas trumpalaikių elektrinių poveikių modeliavimu, tačiau jį galima naudoti ir kitų grupių poveikiams modeliuoti. Il. 5, bibl. 4 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų kalbomis).

P. Balaišis, D. Eidukas, I. Barysaitė. Statistical Evaluation of Dynamic Influences of Informational Electronic Systems // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 1(50). – P. 73-77.

There is reasoned necessity of modeling of statistical dynamic influences for informational electronic systems (IES). There are distinguished two groups of dynamic influences, presented principals for their regimentation and methods of stochastic estimation. There are presented formulas for evaluation of dynamic influence to IES no failure.

The method of statistical estimation is illustrated by modeling of short lasting electrical influences, but it can be used for modeling of influences of other groups. Ill. 5, bibl. 4 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, Russian, English).

П. Балайшис, Д. Эйдукас, И. Барисайте. Статистическая оценка динамических влияний информационных электронных систем // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. - № 1(50). – С. 73-77.

Основана необходимость статистического моделирования динамических воздействий на информационные электронные системы (ИЭС). Выведены две группы динамических воздействий. Показаны принципы классификации указанных воздействий и способы вероятностной оценки возможностей их возникновения. Приведены формулы для статистической оценки влияния динамических воздействий на безотказность ИЭС. Указаны основные направления развития этих исследований.

Метод статистической оценки иллюстрируется моделированием кратковременных электрических воздействий на ИЭС. Однако, его можно использовать и для моделирования динамических воздействий других групп. Ил. 5, библи. 4 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

Engineering, Telecommunications and Computer Science. – Lvov: LPU, 2002. – 152 p.

2. **Balaišis P., Eidukas D., Besakirskas A.** Atypical Aspects of Reliability of Measuring Devices (MD) // Measurement Science Review. – Bratislava: Slovak Academy of Science, 2003. – Vol. 3, section 1. – P. 79-82.
3. **Balaišis P., Eidukas D., Navikas D., Vilutis G.** Research of Measurement Device Thermal States Dynamics // Measurement 2003: 4th International Conference on Measurement. Smolenice, Slovak Republic, June 15-19, 2003. – P. 463-466.
4. **Balaišis P., Eidukas D., Kavoliūnas R., Plėštys R., Vilutis G.** Transmission Efficiency of Electronic Information Network // RTU 44th International Scientific Conference Proceedings: Section for Electronics and Telecommunication. - Riga : Riga Technical University, 2003. – P. 1-6.