ISSN 1392 – 1215 ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA. 2004. Nr. 4(53)

T 170 ELEKTRONIKA

Statistiniai elektroninių įtaisų negendamumo ir efektyvumo vertinimai

N. Bagdanavičius, A. Žickis, I. Barysaitė
Elektronikos inžinerijos katedra, Kauno technologijos universitetas,
Studentų g. 50, 51368, Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 351389, el. paštas nerijus.b@one.lt

Uždavinio formulavimas

Daugelis elektroninių įtaisų (EĮ), tarp jų ir elektroninių sistemų (ES), veikia nestacionarioje [1] aplinkoje, kurios veiksniai ir jų rodiklių vertės iš anksto nenustatyti (atsitiktiniai). Techninėje ES dokumentacijoje nurodytos savybės garantuojamos tik veikiant joje numatytiems aplinkos poveikiams, kurių rodiklių vertės ten taip pat nurodytos. Tačiau visada yra didesnė ar mažesnė tikimybė, kad realios eksploatacijos (pas konkretų vartotoją) metu ES gali patekti į nenumatytą aplinką. Jos būsena tuo metu taip pat gali būti atsitiktinė. Todėl bet kurio įvykio (efektyvumo sumažėjimo, gedimo ir kt.) tikimybės vertė yra atsitiktinė. EĮ (ES) vartotoją domina šių įtaisų savybės ne tik numatytoje, bet ir nenumatytoje aplinkoje. Priklausomai nuo to, kurią gedimų poveikių ir EĮ būsenų dalį įvertinsime skaičiavimo metu, gautą ar geresnį rezultatą galėsime garantuoti su atitinkama tikimybe. Šio darbo uždavinys ir yra sudaryti tokių įverčių skaičiavimo metodą.

Statistinis poveikių aibės interpretavimas

Kiekvieną EĮ (ES) veikia daug įvairių (elektrinių, šiluminių, mechaninių ir kt.) poveikių. Metodo esmei pateikti pasirinkime elektrinius poveikius EĮ ir (ar) jo komponentams. Kai šių poveikių rodiklių vertės pastovios, EĮ savybių vertinimo problemų nekyla. Jų atsiranda tada, kai šie poveikiai trumpalaikiai, atsitiktiniai (laiko atžvilgiu) ir jų rodiklių vertės taip pat atsitiktinės. Trumpalaikių elektrinių poveikių (TEP) stiprumą (įtaką EĮ) labiausiai lemia jų įtampa *(U)*. Eksperimento metu sudaroma įvykių aibė (erdvė) **U**, kurios kiekvieno i - ojo įvykio rodiklio vertė u_i. Todėl

$$\mathbf{U} = \{u_i : i = \overline{1, N}\}. \tag{1}$$

Akivaizdu, kad

$$\mathbf{U} = f[\mathbf{F}, t]; \tag{2}$$

čia **F** – atsitiktinių, nekontroliuojamų veiksnių EĮ aibė; t – laiko momentas. Todėl **U –** atsitiktinis įvykis (poaibis). Atsitiktinių įvykių $\{u_i\}$ erdvės **U** poaibių sistema [2]

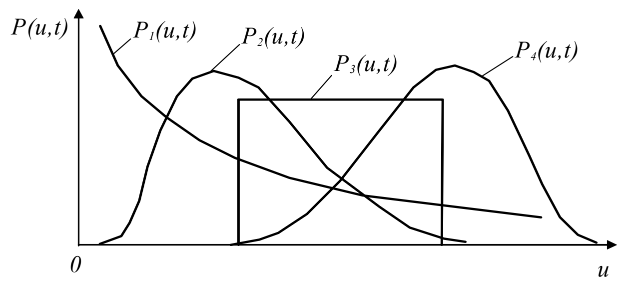
$$\mathbf{S}_u = \{\varnothing, u_1, \ldots u_i, \ldots u_N, \mathbf{U}\}; \tag{3}$$

čia Ø – negalimų įvykių aibė:

$$\varnothing \in \mathbf{S}_u; \ \overline{\varnothing} = \mathbf{U} \in \mathbf{S}_u. \tag{4}$$

Susidaro atsitiktinis procesas − atsitiktinių dydžių sistema $\{X(t),\ t \in T\}$, nusakyta erdvėje $(\mathbf{U}, \mathbf{S}_u, \mathbf{P})$; čia **P −** įvykių tikimybių aibė; $X(t)$ − atsitiktinis procesas; T − tiriamasis laikotarpis. $X(t)$ yra dviejų kintamųjų funkcija: elementaraus įvykio $u_i (u_i \in \mathbf{U})$ ir laiko t.

Elektrinio poveikio U rodiklio verčių $\{u_i\}$ tikimybes bet kuriuo laiko momentu t galima nusakyti šių verčių skirstinio tankiu $P(u)$ (pvz., vienu iš pateiktų 1 pav.).



1 pav. U rodiklio verčių skirstinio tankiai

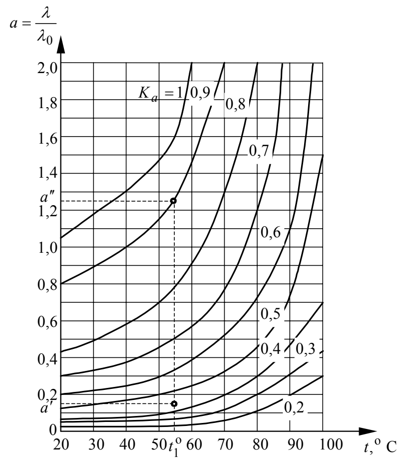
Dažnai sunku rasti tolydinę atsitiktinių dydžių skirstinio funkciją. Todėl visos poveikio rodiklio vertės suskirstomos į atskiras klases proporcingai šio lygio poveikio įtakai EĮ patikimumo rodikliui (pvz., gedimų intensyvumui λ). Ši įtaka nusakoma gedimų intensyvumo pokyčio koeficientu a:

$$\lambda = a\lambda_0; \tag{5}$$

čia λ_0 − gedimų intensyvumas normaliomis (laboratorinėmis) sąlygomis. Atsižvelgiant į skaičiavimo metodikos tikslumą, imamas toks pirmojo poveikių rodiklių verčių intervalo plotis, kad koeficiento a vertė a_1 kistų nuo 0,0 iki 0,1. Tada

$$a_2 = a_1 + 0{,}1; \ \ldots \ a_i = a_{i-1} + 0{,}1. \tag{6}$$

Tarkime, kad EĮ gedimų intensyvumo priklausomybė nuo poveikių stiprumo pateikta 2 pav. [3].



2 pav. Koeficiento $a = f(K_a, t^\circ)$ grafikai

Šiame paveiksle

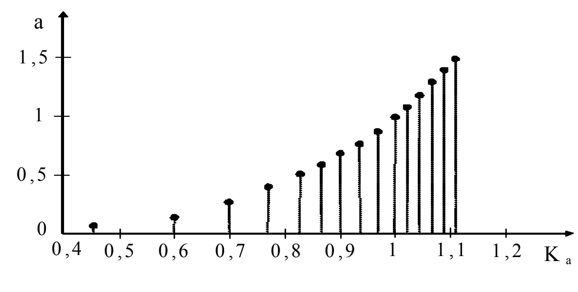
$$K_a = \frac{U}{U_n}; \qquad (7)$$

t° − aplinkos temperatūra; U ir U_n – faktinė ir normalioji EĮ darbo įtampos. Palyginus bet kurioje temperatūroje (pvz., t_1°) dirbančio EĮ gedimų intensyvumo pokyčio koeficiento vertes (a' ir a''), matyti, kad ši priklausomybė yra netiesinė. Todėl ir U rodiklio verčių intervalai bus nevienodi. Kai U_n = 50 V, gaunamos 1 lentelėje pateiktos poveikio rodiklio verčių ribos.

1 lentelė. Poveikių klasės

Poveikių klasės Nr.	α koeficientų verčių ribos	Elektrinės apkrovos koeficiento (K_a) ribos	Elektrinių poveikių įtampos (u) ribos, V	Vidutinė tos klasės poveikių įtampa (u_{iv})
1	0÷0,1	0÷0,45	0÷22,5	11,25
2	0,1÷0,2	0,45÷0,6	22,5÷30	15
3	0,2÷0,3	0,6÷0,7	30÷35	17,5
4	0,3÷0,4	0,7÷0,77	35÷38,5	19,25
5	0,4÷0,5	0,77÷0,83	38,5÷41,5	20,75
6	0,5÷0,6	0,83÷0,865	41,5÷43,25	21,625
7	0,6÷0,7	0,865÷0,9	43,25÷45	22,5
8	0,7÷0,8	0,9÷0,935	45÷46,75	23,375
9	0,8÷0,9	0,935÷0,97	46,75÷48,5	24,25
10	0,9÷1,0	0,97÷1,0	48,5÷50	25
11	1,0÷1,1	1,0÷1,025	50÷51,25	25,625
12	1,1÷1,2	1,025÷1,05	51,25÷52,5	26,25
13	1,2÷1,3	1,05÷1,07	52,5÷53,5	26,75
14	1,3÷1,4	1,07÷1,09	53,5÷54,5	27,25
15	1,4÷1,5	1,09÷1,11	54,5÷55,5	27,75

Gauta $a = f(K_a)$ sąsaja pateikta 3 pav.

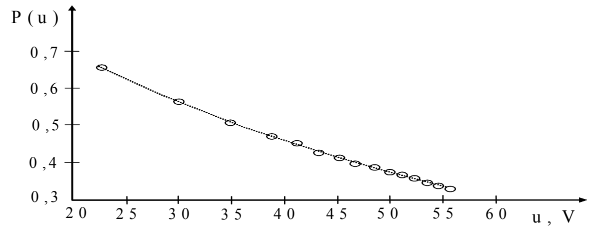


3 pav. Poveikio stiprumo klasių ribos

Jei eksperimento metu paaiškėtų, kad bet kuriuo laiko momentu t rodiklio U verčių skirstinio tankį (žr. 1 pav.) galima išreikšti lygtimi:

$$P(u) = e^{-\frac{u}{50}}, \qquad (8)$$

tai galėtume sudaryti 4 pav. pateiktą grafiką.



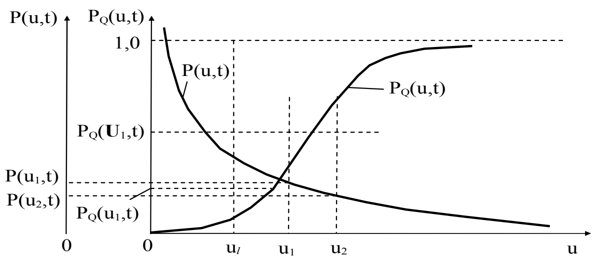
4 pav. P(u) grafikas

Statistinis EĮ gedimų priežasčių prognozavimas

EĮ gedimo tikimybę, veikiant laiko momentu t poveikiui, kurio U rodiklio vertės − {u_i}, galima išreikšti taip:

$$Q_{EĮ}(u,t) = P(u,t) \cdot P_Q(u,t); \qquad (9)$$

čia $P(u,t)$ – tikimybė, kad laiko momentu t susidarys u stiprumo poveikis; $P_Q(u,t)$ – tikimybė, kad laiko momentu t u stiprumo poveikis sugadins EĮ. Jei šio poveikio stiprumas yra tolydinė funkcija, tai $P(u,t)$ ir $P_Q(u,t)$ vaizduos 5 pav. pateiktos kreivės.



5 pav. Tikimybių $P(u,t)$ ir $P_Q(u,t)$

Šiame paveiksle: u_l – nominalioji leistina poveikio U rodiklio vertė; u_1 ir u_2 – kurios nors klasės $\mathbf{U}_1$ poaibio faktinių verčių intervalo ribos; $P_Q(\mathbf{U}_1,t)$ – vidutinė tikimybė, kad $\mathbf{U}_1$ poaibio poveikis lems EĮ gedimą. Iš 5 pav. matyti, kad poaibio $\mathbf{U}_1$ poveikio tikimybė

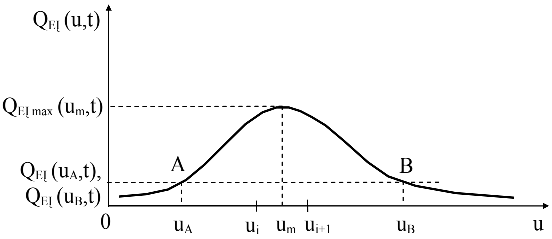
$$P(\mathbf{U}_1,t) = \int_{u_1}^{u_2} P(u,t)du, \qquad (10)$$

arba

$$P(\mathbf{U}_1,t) = \frac{[P(u_1,t)+P(u_2,t)](u_2-u_1)}{2}. \qquad (11)$$

$$Q_{EĮ}(\mathbf{U}_1,t) = P_Q(\mathbf{U}_1,t) \cdot \int_{u_1}^{u_2} P(u,t)du. \qquad (12)$$

Akivaizdu, kad esant atitinkamiems $P(u,t)$ ir $P_Q(u,t)$ kitimo pobūdžiams (9) funkcija gali turėti ekstremumą (6 pav.).



6 pav. Tikimybės $Q_{EĮ}(u,t)$ kitimo grafikas

Šiuo atveju (6 pav.) maksimalų pavojų EĮ keltų poveikiai, kurių vertės artimos u_m lygiui (yra $u_i \div u_{i+1}$ verčių intervale ir priklauso $\boldsymbol{U_1}$ poaibiui).

Su tikimybe

$$P^*(u,t) = \frac{\int_{u_A}^{u_B} Q_{EĮ}(u,t)du}{\int_{0}^{\infty} Q_{EĮ}(u,t)du} \tag{13}$$

galima teigti, kad EĮ gedimą (jei jis įvyks) lems poveikiai, kurių vertės bus nuo u_A iki u_B.

Keičiant įvairių stiprumų poveikių tikimybes (kreivę $P(u,t)$), galima keisti EĮ negendamumą.

Pasinaudokime 2 pav. − 4 pav. ir 1 lentelėje pateiktais duomenimis ir tarkime, kad turime tolygų poveikių srautą, kurio skvarba ρ = 0,33. Tai reiškia, kad bet kuriuo laiko momentu kurios nors klasės poveikio tikimybė P_* =0,33. Tada i – osios klasės poveikio tikimybė

$$P_i^{\circ} = P_* \cdot P_i\,; \tag{14}$$

čia

$$P_i = \int_{u_i}^{u_{i+1}} P(u,t)du\,. \tag{15}$$

Skaičiavimo rezultatai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Atskirų klasių poveikių tikimybės

Poveikių klasė	P_i°
1	0,1188
2	0,0297
3	0,0165
4	0,0132
5	0,006
6	0,0033
7	0,0066
8	0,0033
9	0,0033
10	0,0033
11	0,0033
12	0,0033
13	0,00231
14	0,00099
15	0,0033

EĮ gedimo, veikiant tik i – osios klasės poveikiams, tikimybė

$$Q_{EĮi}(t) = 1 - e^{-P_i^{\circ} \cdot t \cdot \lambda_0 \cdot a_{iv}}\,; \tag{16}$$

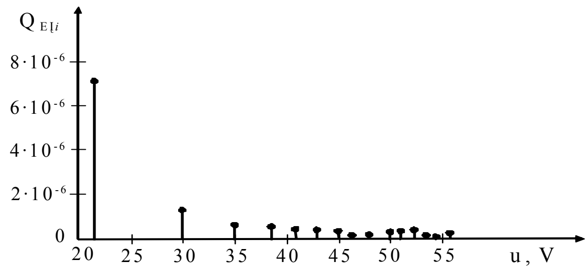
čia t – EĮ veikimo trukmė (imkime du variantus: $t = 10^5$ h ir $t = 10^7$ h);

$$a_{iv} = \frac{a_{i\max} + a_{i\min}}{2}\,; \tag{17}$$

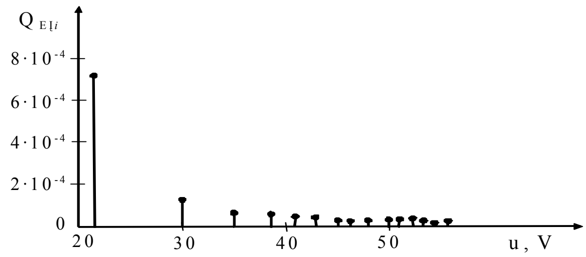
a_{imax} ir a_{imin} − maksimali ir minimali koeficiento a vertės, veikiant i - osios klasės poveikiams. Kai $\lambda_0 = 0{,}1 \cdot 10^{-6}$ 1/h, gauname 3 lentelėje ir 7 pav. bei 8 pav. pateiktus skaičiavimo rezultatus.

3 lentelė. Galimų atskirų klasių poveikių tikimybės

Poveikių klasės Nr.	a_{iv} vertė	$Q_i(t)$ vertė		$Q_{EĮi}(t) = P_i^{\circ} \cdot Q_i(t)$	
		$t = 10^5$ h	$t = 10^7$ h	$t = 10^5$ h	$t = 10^7$ h
1	0,05	$5{,}94 \cdot 10^{-5}$	$5{,}92 \cdot 10^{-3}$	$7{,}06 \cdot 10^{-6}$	0,000703
2	0,15	$4{,}46 \cdot 10^{-5}$	$4{,}45 \cdot 10^{-3}$	$1{,}33 \cdot 10^{-6}$	0,000132
3	0,25	$4{,}13 \cdot 10^{-5}$	$4{,}12 \cdot 10^{-3}$	$6{,}81 \cdot 10^{-7}$	$6{,}8 \cdot 10^{-5}$
4	0,35	$4{,}62 \cdot 10^{-5}$	$4{,}61 \cdot 10^{-3}$	$6{,}10 \cdot 10^{-7}$	$6{,}09 \cdot 10^{-5}$
5	0,45	$4{,}53 \cdot 10^{-5}$	$4{,}53 \cdot 10^{-3}$	$5{,}13 \cdot 10^{-7}$	$5{,}13 \cdot 10^{-5}$
6	0,55	$4{,}42 \cdot 10^{-5}$	$4{,}43 \cdot 10^{-3}$	$3{,}89 \cdot 10^{-7}$	$3{,}85 \cdot 10^{-5}$
7	0,65	$4{,}29 \cdot 10^{-5}$	$4{,}28 \cdot 10^{-3}$	$2{,}83 \cdot 10^{-7}$	$1{,}57 \cdot 10^{-5}$
8	0,75	$2{,}48 \cdot 10^{-5}$	$2{,}47 \cdot 10^{-3}$	$8{,}18 \cdot 10^{-8}$	$8{,}15 \cdot 10^{-6}$
9	0,85	$2{,}81 \cdot 10^{-5}$	$2{,}80 \cdot 10^{-3}$	$9{,}26 \cdot 10^{-8}$	$9{,}24 \cdot 10^{-6}$
10	0,95	$3{,}14 \cdot 10^{-5}$	$3{,}13 \cdot 10^{-3}$	$1{,}04 \cdot 10^{-7}$	$1{,}03 \cdot 10^{-5}$
11	1,05	$3{,}47 \cdot 10^{-5}$	$3{,}46 \cdot 10^{-3}$	$1{,}15 \cdot 10^{-7}$	$1{,}14 \cdot 10^{-5}$
12	1,15	$3{,}79 \cdot 10^{-5}$	$3{,}79 \cdot 10^{-3}$	$1{,}25 \cdot 10^{-7}$	$1{,}25 \cdot 10^{-5}$
13	1,25	$2{,}89 \cdot 10^{-5}$	$2{,}88 \cdot 10^{-3}$	$6{,}68 \cdot 10^{-8}$	$6{,}65 \cdot 10^{-6}$
14	1,35	$1{,}34 \cdot 10^{-5}$	$1{,}34 \cdot 10^{-3}$	$1{,}33 \cdot 10^{-8}$	$1{,}33 \cdot 10^{-6}$
15	1,45	$4{,}79 \cdot 10^{-4}$	$4{,}7710^{-2}$	$1{,}58 \cdot 10^{-7}$	$1{,}57 \cdot 10^{-5}$



7 pav. Tikimybės $Q_{EĮi}(t)$ vertės, veikiant 10^5 h kiekvienos klasės poveikiams

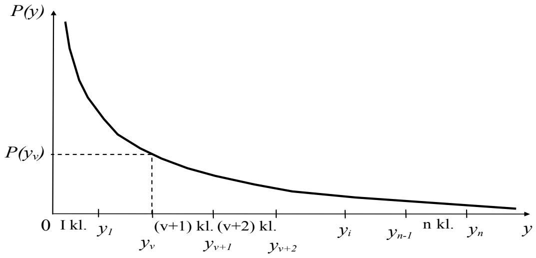


8 pav. Tikimybės $Q_{EĮi}(t)$ vertės, veikiant 10^7 h kiekvienos klasės poveikiams

Statistinis EĮ negendamumo ir efektyvumo nenumatytoje aplinkoje vertinimas

Kadangi, kaip jau buvo nurodyta, kiekvieno (o ypač dinaminio) poveikio vertę galima numatyti su kuria nors tikimybe, tai reikėtų naudoti tikimybinį negendamumo vertės vertinimo metodą.

Jei trumpalaikio poveikio Y verčių $\{y_i\}$ pasiskirstymo funkcijos tankis yra $P(y)$ (9 pav.) ir jos pagal įtaką EĮ suskirstytos į n klasių, tai, naudojantis anksčiau pateiktomis skaičiavimo formulėmis, galima gauti tikimybinę negendamumo rodiklio vertę.



9 pav. *Y* poveikio verčių $\{y_i\}$ skirstinio tankis

Tarkime, kad, skaičiuojant EĮ negendamą, buvo žinomi tik $I \div i$ klasių poveikiai. Apskaičiavę jų tikimybes, randame skirstinio tankį $P(y)\Big|_{0\div i}$. Ekstrapoliuodami $P(y)$ priklausomybę iki $P(y)\Big|_{0\div n}$, randame $(i+1)\div n$ klasių poveikių tikimybes. Nuo to, kurią poveikių dalį įvertinsime skaičiavimo metu, priklausys tikimybė, su kuria galėsime garantuoti, kad EĮ negendamumo rodiklio vertė bus apskaičiuotoji ar geresnė.

Įvertinę, skaičiuodami EĮ negendamumo tikimybę nestacionarioje aplinkoje (kai veikia trumpalaikiai poveikiai), $0 \div i$ klasių poveikių tikimybes ir pasinaudoję tipinėmis negendamumo tikimybės skaičiavimo formulėmis, randame jo negendamumo per laiką t_0 tikimybę $P_\Sigma(t_0)_\gamma$. Tai, kad EĮ negendamumo tikimybė bus $P_\Sigma(t_0)$ ar didesnė, mes garantuosime su tikimybe γ:

$$\gamma = \int_0^{y_i} P(y)dy . \qquad (18)$$

Akivaizdu, kad, didėjant γ, mažės $P_\Sigma(t_0)$. Tai reiškia, kad ir EĮ efektyvumas $E(t_0)$ bus garantuojamas tik su tikimybe γ. Kitaip tariant,

$$E_\gamma(t_0) = P_\Sigma(t_0)_\gamma \cdot E ; \qquad (19)$$

čia E – EĮ efektyvumas, kai jis veikia.

Iš 9 pav. matyti, kad tuo atveju, kai $P(y)$ yra eksponentė, skaičiavimuose panaudoję vidutinę *Y* poveikio vertę (y_v), EĮ negendamumą galėtume garantuoti tik su tikimybe $\gamma = 0{,}637$.

Kadangi EĮ aplinkos poveikių rodiklių vertės atsitiktinės, ji pati nevisiškai numatyta, o eksperimento apimtys ribotos, tai beveik visada patikimumo skaičiavimo rezultatą galima garantuoti tik su mažesne už vienetą tikimybe.

Išvados

Skaičiuojant EĮ patikimumo rodiklių vertes visada būtina nurodyti, kokioje aplinkoje jos bus garantuojamos.

Eksperimentiškai nustačius aplinkos poveikių rodiklių vertes, būtina apskaičiuoti jų tikimybes ir rasti jų skirstinį. Tai leis su pageidaujama tikimybe garantuoti skaičiavimo rezultatus.

Žinant TEP rodiklių verčių skirstinį, galima prognozuoti pavojingiausius EĮ poveikius ir bandyti jų išvengti arba specialiomis priemonėmis sumažinti jų įtaką.

Literatūra

1. **Balaišis P., Eidukas D., Navikas D.** Elektroninių įtaisų patikimumas ir eksploatacija. Trečioji knyga. Optimumų paieška. – Kaunas: Technologija, 2001. −190 p.
2. **Aksomaitis A.** Tikimybių teorija ir statistika. – Kaunas: Technologija, 2000. – 346 p.
3. **Balaišis P., Eidukas D., Barysaitė I.** Statistinis informacinių elektroninių sistemų dinaminių poveikių įvertinimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 1(50). – P. 73-77.

Pateikta spaudai 2004 02 09

N. Bagdanavičius, A. Žickis, I. Barysaitė. Statistiniai elektroninių įtaisų negendamumo ir efektyvumo vertinimai // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 4(53). – P. 38 - 41.

Pagrįsta elektroninių įtaisų (EĮ) patikimumo statistinio vertinimo problema. Suformuluotas statistinių įverčių skaičiavimo metodo sudarymo uždavinys. Atliktas statistinis poveikių aibės interpretavimas. Tam pasirinkti trumpalaikiai atsitiktiniai poveikiai, kurių rodiklių vertės taip pat atsitiktinės. Pateiktas statistinio EĮ gedimų priežasčių prognozavimo būdas. Atlikti atskirų klasių poveikių tikimybių skaičiavimai. Taikant tikimybinį negendamumo vertinimo metodą, išnagrinėtos EĮ statistinio negendamumo ir efektyvumo nenumatytoje aplinkoje vertinimo galimybės. Il. 9, bibl. 3 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų kalbomis).

N. Bagdanavičius, A. Žickis, I. Barysaitė. Statistical Evaluation of No-Failure and Efficiency of Electronic Devices // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 4(53). - P. 38-41.

Statistical reliability evaluation problem for electronic devices (ED) was based. Problem of formulating statistical criterion calculation method was formed. Statistical interpretation of impact set was performed. For this reason short-term random impacts were selected, which also have random values of indexes. Statistical method for ED failure prognostication was presented. Calculations of probabilities for separate impact classes were calculated. Statistical evaluation of ED incorruptibility and efficiency possibility in unintended environment were analysed, using stochastic incorruptibility evaluation method. Ill. 9, bibl. 3 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, Russian and English).

Н. Багданавичюс, А. Жицкис, И. Барисайте. Статистические оценки надежности и эффективности электронных устройств // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. – № 4(53). – С. 38-41.

Обоснована проблема статистической оценки надежности электронных устройств (ЭУ). Сформулирована задача синтеза метода расчета статистических оценок. Приведена статистическая интерпретация множества случайных воздействий на ЭУ. Для этого выбраны кратковременные электрические воздействия, значения параметров которых – случайны. Предложен метод статистического прогнозирования причин отказов ЭУ. Проведена вероятностная оценка надежности и эффективности ЭУ в нерпредвиденной среде, используя вероятностный метод оценки надежности. Ил. 9, библ.3 (на литовском языке; рефераты на литовском, русском и английском яз.).