

Sparčiai senstančių elektroninių sistemų efektyvumas

P. Balaišis, D. Eidukas, A. Besakirskas, P. Tervydis

Elektronikos inžinerijos katedra, Kauno technologijos universitetas

Studentų g. 50, 51368 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 351389; el. paštas Almantas.Besakirskas@stud.ktu.lt

Elektroninių sistemų dinamika

Didėjantys informacinės visuomenės veiklos tempai neišvengiamai lemia naudojamų priemonių, tarp jų ir elektroninių sistemų (ES), jų savybių dinamiką.

Dinamika (gr. dinamikos – stiprus) – kitimas. ES dinamika – tai jų sudėties, savybių, būsenų, funkcijų, vertės ir kitų atributų kitimas. Ją lemia vartotojų poreikių ir ES pokyčiai, veikiant vidiniams bei išoriniams veiksniams, laikui ir kt. Dėl to keičiasi ES tikslai, funkcijos, būsenos, struktūros, vyksta senėjimo ir atkūrimo procesai, kinta atkaklumas, ji tobulėja. Dažnai vienu ES atributų kitimas lemia kitų dinamiką (pvz., kintant elektroniniams įtaisams (EĮ), jų savybėms, tenka keisti sistemos struktūrą, dėl to kinta jos atliekamos funkcijos, informacijos šrautai ir kt.), o kartu ir veikimo rezultatus. Tai keičia ES efektyvumo lygį – jis yra laiko funkcija. Be to, atsitiktinėje aplinkoje ES efektyvumas iš dalies yra atsitiktinis. Norint nustatyti sistemos vertę, tenka skaičiuoti jos efektyvumą (suminį ar (ir) vidutinį) per visą eksploatacijos laikotarpį.

Vienas iš pagrindinių uždavinių – sukurti dinaminio (nestacionaraus, statistinio) efektyvumo vertinimo metodus. Šie metodai turi apimti visas pagrindines ES dinamikos kryptis:

- funkcinių būsenų kitimą;
- savybių kitimą;
- adaptaciją;
- senėjimą;
- integraciją ir
- tobulėjimą.

Nepretenduodami į išsamų tyrimą, pabandykime suformuluoti pagrindinius vienos iš šių kryptių efektyvumo vertinimo principus.

ES senėjimas, ilgaamžiškumas ir efektyvumas

Kadangi ES ilgaamžiškumas [1] yra jos gebėjimas išlaikyti tinkamą eksploatauoti (neskaitant remontų ir įvertinant techninį aptarnavimą) iki suirimo ar kitos kritinės būsenos, tai jį lemia įtaisų ir juose vykstančių procesų senėjimas.

Sparčiai senstančiomis vadinsime tokias ES, kurių ilgaamžiškumas gerokai mažesnis už jas sudarančių komponentų ilgaamžiškumą, taip pat kai visos sistemos ilgaamžiškumas mažesnis už atskirų jos įtaisų ilgaamžiškumą, o juose vykstančių procesų ilgaamžiškumas – už įtaisų ilgaamžiškumą ir kt.

Šiuo metu gaminamų ES ir jų komponentų (EĮ) patikimumas yra nemažas. Pavyzdžiui, asmeninių kompiuterių (AK) atskirų mazgų išdirbis iki gedimo sudaro [2] dešimtis ir net šimtus tūkstančių valandų (1 lentelė).

1 lentelė. Statistiniai duomenys

Eil. Nr.	Mazgo pavadinimas	Mazgo tipas (tipai)	Vidutinis gedimų dažnis, $1/h \lambda$	Vidutinis išdirbis iki gedimo T_V, h	Ilgaamžiškumas $T_I, metais$
1	Pagrindinė plokštė	DDR, Sound Card, VIA KT333	$2,06 \cdot 10^{-5}$	48540	5,62
2	Operatyvioji atmintis	DDR PC 3200 256 MB	$5,14 \cdot 10^{-6}$	194550	22,5
3	Vaizdo plokštė	GeForce4 64 MB DDR TVout	$1,029 \cdot 10^{-5}$	97180	11,2
4	Pastovioji atmintis	20 GB 5400rpm UATA/133	$1,54 \cdot 10^{-5}$	64930	7,5
5	Procesorius	1700 MHz 266FSB	$5,14 \cdot 10^{-6}$	194550	22,5
			$5,657 \cdot 10^{-5}$	17680	2,0

Įvairiuose šaltiniuose analogiški duomenys pateikiami ir apie kitų komponentų (EĮ) patikimumą: procesorių ($\lambda=1,23 \cdot 10^{-5} 1/h$; $T_I=81300 h$; $T_I=9,41 m$), programuojamųjų pastoviosios atminties įtaisų (64K PROM - $T_I=5,3 m$; 256K PROM - $T_I=1,336 m$), maitinimo šaltinių ($\lambda=0,65 \cdot 10^{-5} 1/h$; $T_I=153850 h$; $T_I=17,8 m$) ir kt.

Manoma, kad AK moraliai pasensta per 3–5 metus nuo modelio gamybos pradžios. Tai reiškia, kad tokių EĮ (ES) ilgaamžiškumą dar lemia ir įtaisų, ir vykstančių juose procesų ypatumai. Tinkamus eksploatacijos rezultatus užtikrins racionalus šių ypatumų derinys. ES techninės dalies ilgaamžiškumą galima apskaičiuoti taikant tipinius patikimumo vertinimo metodus. Tačiau neišku, kaip įvertinti atskirų dalių senėjimo įtaką visos sistemos ilgaamžiškumui. Moralinį sistemos senėjimą lemia jos išvaizda, patogumas naudoti bei joje vykstančių procesų ypatumai. Akivaizdu, kad techniniu požiūriu svarbiausias yra trečiasis veiksnys.

Šiuo metu dar nevisiškai suformuluoti ES moralinio senėjimo rodikliai, nenustatyti kriterijai. Dar sunku įvertinti procesų įtaką ES ilgaamžiškumui. Akivaizdu, kad, senstant EĮ, juose vykstantiems procesams, nuolatos mažėja ES efektyvumas. Jis yra nežinoma laiko funkcija. Pabandykime ją išreikšti.

Vienodas užduotis vykdančių ES efektyvumas

Jei ergonominiai bei estetiniai šių ES rodikliai esminės įtakos ilgaamžiškumui nedaro, o greitaveika ir veiklos rezultatų tikslumas nekinta, tai joms senstant gali kisti tik užduočių įvykdymo tikimybė. Vykdydama šias užduotis ES dažnai naudoja įvairius integruotus (sudarytus iš smulkesnių komponentų) resursus ar rezervus (atminties, sąsajų ir kt.). Kiekvieno i -ojo įtaiso rodiklį pažymėkime R_i , o jo reikšmę – raide r_i . Tada viso rezervo dydis

$$r_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N r_i ; \quad (1)$$

čia N – integruoto rezervo komponentų skaičius. Pažymėkime i -ojo įtaiso gedimų intensyvumo reikšmę simboliu λ_i . Kadangi ES aplinka yra atsitiktinė, tai ir λ_i – atsitiktinė. Šių reikšmių skirstinio tankis – $p_i(\lambda_i)$. Viso rezervo gedimų intensyvumas (esant paprasčiausiam gedimo srautui)

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \lambda_i , \quad (2)$$

o reikšmių pasiskirstymo tankis bet kuriuo laiko momentu t

$$p_{\Sigma}(\lambda_{\Sigma}, t) = f[p_1(\lambda_1, t), \dots, p_N(\lambda_N, t), t]. \quad (3)$$

Jei, norėdami supaprastinti skaičiavimus, tartume, kad

$$p_i(\lambda_i, t) \Big|_{t=0, \infty} = const., \quad (4)$$

tai gautume, kad ir

$$p_{\Sigma}(\lambda_{\Sigma}, t) \Big|_{t=0, \infty} = const. \quad (5)$$

Iš r_{Σ} ir λ_{Σ} statistinių duomenų porinės koreliacijos metodu galima rasti šią priklausomybę:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda' + r_{\Sigma} \cdot \lambda_1'; \quad (6)$$

čia λ' – pastovioji gedimų intensyvumo dedamoji; λ_1' – elementaraus rezervinio įtaiso gedimų intensyvumas. Kai

$$\lambda' \ll \lambda_1' \quad (7)$$

ir λ_1' reikšmės pasiskirsčiusios normaliuoju skirstiniu, t.y.

$$p(\lambda_1') = c \cdot e^{-\frac{(\lambda_1' - \bar{\lambda}_1')^2}{2\sigma_1'^2}} ; \quad (8)$$

čia

$$c = \frac{\sqrt{\frac{2}{\pi}}}{\sigma_1' \left[1 - \phi\left(\frac{\bar{\lambda}_1'}{\sigma_1' \sqrt{2}}\right) \right]} ; \quad (9)$$

$$0 \leq \lambda_1' \leq \infty ; \quad (10)$$

$\bar{\lambda}_1'$ – aritmetinis λ_1' reikšmių vidurkis; $\phi\left(\frac{\bar{\lambda}_1'}{\sigma_1' \sqrt{2}}\right)$ –

Laplaso funkcija; σ_1' – λ_1' reikšmių vidutinis kvadratinis nuokrypis. Tada, tarus, kad

$$\lambda_1' = const., \quad (11)$$

o

$$\frac{\sigma_1'}{\lambda_1'} = \frac{\sigma_{\Sigma}}{\lambda_{\Sigma}} = const. \quad (12)$$

(σ_{Σ} – λ_{Σ} reikšmių vidutinis kvadratinis nuokrypis), galima apskaičiuoti elementaraus rezervinio įtaiso negendamumo tikimybę per laiką t' .

$$P_1(t') = e^{-\lambda_1' t'} . \quad (13)$$

Kadangi į 6σ intervalą telpa ~99,8 % visų λ_1' realizacijų, tai galime užrašyti, kad

$$\lambda_{1\min}' \approx \bar{\lambda}_1' - 3\sigma_1' ; \quad (14)$$

o

$$\lambda_{1\max}' \approx \bar{\lambda}_1' + 3\sigma_1' . \quad (15)$$

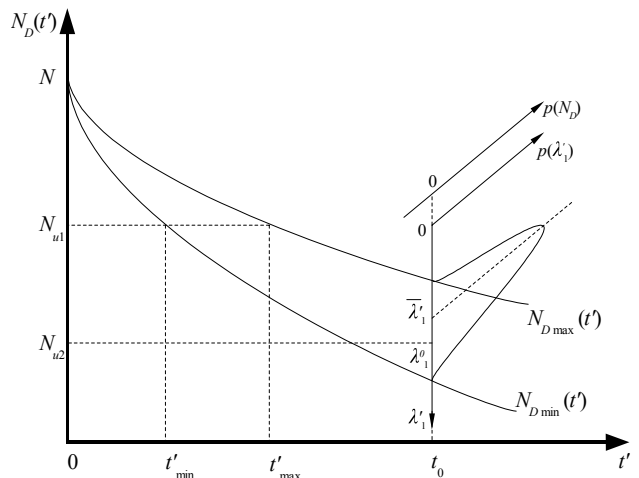
Bet kuriuo laiko momentu t' veikiančių elementarių rezervinių įtaisų minimalus skaičius (kai sugedę įtaisai netaisomi)

$$N_{D\min}(t') = N \cdot e^{-\lambda_{1\max}' t'} , \quad (16)$$

o maksimalus

$$N_{D\max}(t') = N \cdot e^{-\lambda_{1\min}' t'} . \quad (17)$$

$N_{D\min}(t')$ ir $N_{D\max}(t')$ grafikai pateikti 1 pav.



1 pav. $N_D(t')$ funkcijos grafikai

Akivaizdu, kad $N_{D\max}(t')$ ar didesnę reikšmę bet kuriuo laiko momentu t' galima garantuoti tik su tikimybe

0,001, o $N_{D_{\min}}(t')$ ar didesnę – su tikimybe 0,999. Jei užduočiai vykdyti (ES funkcionavimui užtikrinti) būtina N_{u1} veikiančių elementarių įtaisų, tai jos įvykdymą su skirtingomis tikimybėmis ($\{P_{uj}\}$) galėsime garantuoti ne ilgiau nei laiką t'_{\max} :

$$P_u(t' < t'_{\min.}) \approx 1,0; \quad (18)$$

$$0 < P_u(t'_{\min.} < t' < t'_{\max.}) < 1,0; \quad (19)$$

$$P_u(t' > t'_{\max.}) \approx 0,0. \quad (20)$$

Jei, vykdant užduotį, būtina turėti N_{u2} veikiančių įtaisų, o užduoties įvykdymą garantuoti su tikimybe ne mažesne už P_{u0} (pvz., $P_{u0}=0,9765$), tai tokios ES elementaraus įtaiso negendamumo tikimybė iki ilgaamžiškumo pabaigos turi būti ne mažesnė kaip

$$P_1 = \frac{N_{u2}}{N}. \quad (21)$$

Ribinis elementaraus įtaiso gedimų intensyvumas (λ_1^0) turi tenkinti šią sąlygą:

$$\int_{\lambda_1^0}^{\infty} p(\lambda_1') d\lambda_1' = 1 - P_{u0}. \quad (22)$$

$p(\lambda_1')$ funkciją nesunku pakeisti $p(N_D)$ funkcija - laiko momentu t_0 veikiančių elementarių įtaisų skaičiaus skirstinio tankio funkcija.

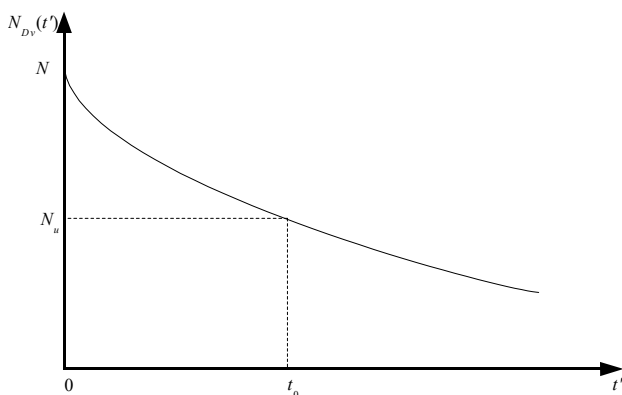
Kai $P_{u0} = 0,9765$, tada $1 - P_{u0} = 0,0235$ ir

$$\lambda_1^0 = \bar{\lambda}_1' + 2\sigma. \quad (23)$$

Šią sistemą bus galima naudoti laiką

$$t_0 = -\frac{\ln P_1}{\lambda_1^0}. \quad (24)$$

Tai reiškia, kad ES ilgaamžiškumas joje vykstančių procesų atžvilgiu bus $T_I = t_0$.



2 pav. $N_{Dv}(t')$ funkcijos grafikas

Kai pasekmės, neįvykdžius užduoties, labai didelės, ES ilgaamžiškumui vertinti galima naudoti supaprastintus skaičiavimus. Tada

$$\lambda_1^0 = \bar{\lambda}_1', \quad (25)$$

$$N_D(t') = N_{Dv}(t'); \quad (26)$$

čia $N_{Dv}(t')$ – vidutinis laiko momentu t' veikiančių įtaisų skaičius, o t_0 reikšmė randama iš grafiko (2 pav.).

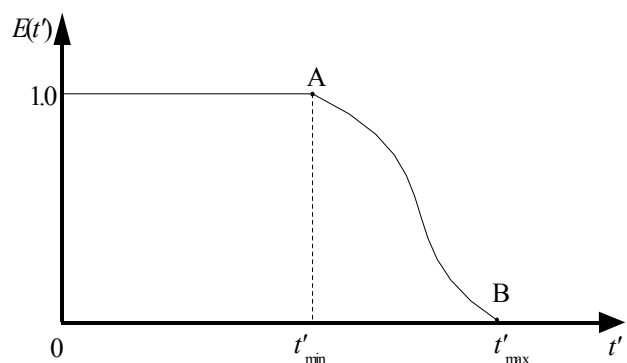
Kadangi dažnai techninis ES efektyvumas apibūdinamas užduoties įvykdymo tikimybe (P_u), tai (1 pav.), kai $N_u = N_{u1}$,

$$E(t' < t'_{\min.}) \approx 1,0; \quad (27)$$

$$0 < E(t'_{\min.} < t' < t'_{\max.}) < 1,0; \quad (28)$$

$$E(t' > t'_{\max.}) \approx 0,0. \quad (29)$$

$E(t')$ grafikas pateiktas 3 pav.



3 pav. $E(t')$ funkcijos grafikas

Nežinoma lieka $E(t')$ funkcija intervale nuo A iki B. Jos reikšmę bet kuriuo laiko momentui t'' ($t'_{\min.} < t'' < t'_{\max.}$) galima apskaičiuoti, žinant, kad (žr. (22) ir (24) formules)

$$\lambda_1^0 = -\frac{\ln P_1}{t''}; \quad (30)$$

$$P_u(t'') = 1 - \int_{\lambda_1^0}^{\infty} p(\lambda_1') d\lambda_1', \quad (31)$$

o

$$E(t'') = P_u(t''). \quad (32)$$

Šio metodo taikymo galimybes riboja tai, kad

$$N_u = const. \quad (33)$$

Reali ES dažnai vykdo įvairias užduotis. Kiekvienai jų atlikti reikalingi skirtingų tipų resursai (rezervai) ir skirtingi jų dydžiai.

Kintančius, atsitiktinius poreikius tenkinančių ES ilgaamžiškumas

Pas vartotoją ES veikia kintančioje, atsitiktinėje aplinkoje, jų būsenos yra atsitiktinės. Vartotojo poreikiai kiekvienu laiko momentu yra iš dalies atsitiktiniai (sistema vykdo įvairias užduotis, kurioms realizuoti reikia skirtingų

$$T_I = t_2. \quad (43)$$

Kai įtaisai labai patikimi,

$$N_{D1 \min}(t) = N_{D1 \max}(t) \approx N_1, \quad (44)$$

tada užduoties įvykdymo tikimybė t_4 laiko momentu

$$P_u(t_4) = \int_0^{N_1} p(N_{u1}, t_4) dN_{u1}. \quad (45)$$

Tai reiškia, kad ir techninis ES efektyvumas t_4 laiko momentu

$$E(t_4) = P_u(t_4). \quad (46)$$

Jei $P_{u0} = P_u(t_4)$ ir $T_I = t_4$, tai šiuo laiko momentu reikėtų baigti ES eksploatuoti, arba integruoti ją su kita sistema (pvz., nuo t_3 laiko momento), turinčia N_2 įtaisų, kurios $N_{D2}(t)$ rodiklio reikšmių skirstinys būtų nuo $N_{D2 \min}(t)$ iki $N_{D2 \max}(t)$. Centrinis integruotos ES (IES) valdymas paskirstytų užduotis (atsižvelgiant į N_u dydį) dviems sistemoms, sudarydamas galimybes pratęsti pirmosios ES eksploataciją (padidinti jos ilgaamžiškumą). Tačiau šiuo atveju bendras IES efektyvumas

$$E_{\Sigma}(t) = E_1(t) \cdot E_2(t) \cdot E_V(t); \quad (47)$$

čia $E_1(t)$, $E_2(t)$ ir $E_V(t)$ – pirmosios, antrosios sistemų ir centrinio valdymo priemonių efektyvumai.

Išvados

Pateiktas sparčiai senstančios ES ilgaamžiškumo ir efektyvumo vertinimo metodas sudaro galimybes įvertinti ne tik įtaisų negendamumą, bet ir juose vykstančių procesų įvairovę, jų dinamiką. Naudojant šį metodą, galima apskaičiuoti daugelio šiuo metu naudojamų automatizuotų daugiafunkcinių ES, tarp jų ir IES, ilgaamžiškumą bei efektyvumo dinamiką.

Tobulinant šį metodą, reikėtų daugiau dėmesio skirti ekonominiam ES (IES) efektyvumui, efektyvumo dinamikai, apibendrinto efektyvumo vertinimui (per visą eksploatacijos laikotarpį), pataisomumo bei atkaklumo įtakai veikimo efektyvumui ir kt.

Literatūra

1. **Balaišis P., Eidukas D.** Elektroninių įtaisų patikimumas ir eksploatacija. Pirmoji knyga. Elektroninių įtaisų patikimumas. – Kaunas: Technologija, 1999. – 204 p.
2. **Urbonaitė J.** Kompiuterių patikimumas. Referatas. – Kaunas: KTU, 2003. – 12 p.
3. **Balaišis P., Eidukas D.** Elektroninių įtaisų patikimumas ir eksploatacija. Antroji knyga. Elektroninių įtaisų eksploatacija. – Kaunas: Technologija, 2000. – 264 p.

Pateikta spaudai 2004 03 04

P. Balaišis, D. Eidukas, A. Besakirskas, P. Tervydis. Sparčiai senstančių elektroninių sistemų efektyvumas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 3(52). – P. 73-77.

Aptarta elektroninių sistemų (ES) dinamikos samprata. Pateiktos pagrindinės jų kitimo kryptys. Išskirta sparčiai senstančių ES klasė. Parodyta, kad šių sistemų efektyvumą ir ilgaamžiškumą lemia įtaisų ir procesų ypatumai. Siūloma ateityje vartoti nestacionaraus, statistinio (dinaminio) ES efektyvumo sampratas. Patikslinta dinaminio efektyvumo samprata. Pateiktas nuolat vienodas užduotis atliekančių ES efektyvumo ir ilgaamžiškumo vertinimo metodas.

Sudarytas kintančius, atsitiktinius poreikius tenkinančios ES efektyvumo ir ilgaamžiškumo vertinimo modelis, atsižvelgiant į jos funkcinių galimybių dinamiką. Parodyta, kad pasiūlytus metodus galima naudoti ir tada, kai ES įtaisų negendamumas labai didelis. Il. 5, bibl. 3 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, rusų ir anglų k.).

P. Balaišis, D. Eidukas, A. Besakirskas, P. Tervydis. Efficiency of Rapidly Ageing Electronic Systems // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 3(52). – P. 73-77.

In this paper the conception of electronic systems (ES) dynamics is presented. The class of rapidly ageing electronic systems is marked out. It is shown, that efficiency and durability of these systems are determined by peculiarities of their devices and processes. It is recommended to use unstationary, statistical (dynamic) conceptions of ES efficiency. The conception of dynamic efficiency is specified.

The method, how to evaluate efficiency and durability of ES, which are performing the same tasks, is presented.

The evaluation model of durability for ES, performing changeable and random tasks, considering dynamics of system's functional potentiality, is made. Proposed methods could be used even when indefectibility of ES is very big. Ill.5, bibl.3 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, Russian, English).

П.А. Балайшис, Д.Ю. Эдукас, А.Ч. Бесакирскас, П. Г. Тервидис. Эффективность быстро стареющих электронных систем // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. – № 3(52). – С. 73-77.

Рассмотрено понятие динамики электронных систем (ЭС). Приведены основные направления их изменения. Выделен класс быстро стареющих ЭС. Показано, что эффективность и долговечность этих систем определяют особенности устройств и процессов в них. Предлагается в будущем выделить понятие нестационарной, статистической (динамической) эффективности ЭС. Приведено отличающееся от традиционного понятия динамической эффективности ЭС.

Приведен метод оценки эффективности и долговечности ЭС, постоянно выполняющих одинаковые задания.

Составлена модель оценки эффективности и долговечности ЭС, реализующих изменяющиеся, случайные потребности, учитывая динамику функциональных возможностей этих систем.

Показано, что предложенные методы могут применяться и тогда, когда безотказность устройств ЭС очень большая. Ил. 5, библи. 3 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.10916