

Elektros energetikos sistemos statinio dažninio charakteristikų parametrų įvertinimo tyrimas

Virginijus Radziukynas

*Lietuvos energetikos institutas,
Sistemų valdymo ir automatizavimo
laboratorija, Breslaujos g. 3,
LT-44403 Kaunas*

Pertvarkant elektros energetikos sektorį, ateityje kiekvienas valdymo rajonas turės dalyvauti pirminiam ir antriniam dažnio ir galios reguliavime jungtinėje elektros energetikos sistemoje ar atsidalijus. Todėl norint sudaryti valdymo algoritmus, reikia žinoti sistemos charakteristikas. Šiame darbe apžvelgiami elektros energetikos sistemos dažninio charakteristikų įvertinimo metodai, jų trūkumai. Pasiūlytas naujas metodas elektros energetikos sistemos statinėms dažninėms charakteristikoms bei laiko pastoviosioms nustatyti.

Raktažodžiai: Elektros energetikos sistema, matematinis modelis, identifikavimas, identifikuojamumas, perdavimo funkcija, statinės dažninės charakteristikos

1. AVADAS

Šiuo metu vykstant permainoms jungtinei elektros energetikos sistemoje (JEES) aktualu sukurti gerai veikiančią elektros rinką, užtikrinančią efektyvesnę JEES darbą bei valdymą. Ryšium su elektros rinkos kūrimu keliami tam tikri techniniai reikalavimai elektros energetikos sistemoms (EES), priklausančioms JEES. JEES sudaro valdymo rajonai, kuriems vienas keliamas reikalavimas yra palaikyti tam tikrą dažnį t. y. EES kaip valdymo rajonas (VR) turi vykdyti pirminą ir antriną dažnio bei galios reguliavimą (ADGR). Šiuo metu nei Lietuvos EES, nei Baltijos jungtinė EES nevykdo ADGR. Norint vykdyti galios ir dažnio reguliavimą, reikia žinoti sistemos dažnines charakteristikas.

Straipsnyje pateikiamas elektros energetikos sistemos statinio dažninio charakteristikų parametrų įvertinimo tyrimas. Atsižvelgiant šiuo metu taikomus metodus, buvo sukurta metodika sistemos statinio dažninio charakteristikų parametrų nustatymui, kuri paremta identifikacijos metodais. Tam tikslui buvo sukurtas EES matematinis modelis, kuriuo galima tirti EES pagrindinio parametro įvertinimo galimybes, kai generuojama ir apkrovos galia yra stacionariu atsitiktiniai bei šuoliu kintantys procesai.

Elektros energetikos sistema yra daugiamačė automatinio reguliavimo sistema (ARS) su neigiamais grąžtamaisiais ryšiais pagal dažnį ir generuojamąją galią. Įvertinant EES tiesinio modelio perdavimo funkcijas bei parametrus būtina atsižvelgti į identifikuojamumo sąlygas [1]. Trumpai šias identifikuojamumo sąlygas galima formuluoti taip: 1) Sistema veikiantys kintamieji dydžiai turi sužadinti sistemą kuo didesniame dažnio diapazone, nes viena sinusinė dedamoji (harmonika) leidžia įvertinti tik du parametrus [2], ir 2) Identifikuojamos dalies perdavi-

mo funkcijos eilė turi būti mažesnė už likusias uždarąją kontūro dalies perdavimo funkcijos eilę, arba neidentifikuojama dalis turi turėti vėlinimą [3]. Pažymėsime, kad EES kaip ARS turi ne vieną uždarą reguliavimo kontūrą, todėl identifikuojamumo sąlygos gali būti sudėtingesnės. EES statinio dažninio charakteristikų parametrų įvertinimo tyrimą atliksime imitacinio modeliavimo metodu, kai identifikuojamos perdavimo funkcijos ir parametrai yra žinomi, todėl nesunku palyginti gaunamas perdavimo funkcijos ir parametrų vertes su tikrosiomis jų reikšmėmis. Perdavimo funkcijos identifikuojamumo sąlygos detalios nenagrinėjamos, o apsiribojama tik svarbiu EES parametru – apkrovos reguliuojamo efekto koeficiento k_a , ekvivalentinės elektros perdavimo linijos asinchroninės dedamosios koeficiento k_{opl} ir dažnio pirminio reguliavimo pagrindinio kontūro stiprinimo koeficiento k_R identifikuojamumo tyrimu, kai EES veikia šuoliu kintantys signalai. Identifikuojamumo tyrimas, kai EES veikia atsitiktiniai signalai, pateiktas [4].

2. DABAR TAIKOMI STATINIO DAŽNINIO CHARAKTERISTIKŲ PARAMETRŲ ĮVERTINIMO METODAI

Vartotojų statinė dažninė charakteristika yra bendros suminės vartotojų apkrovos $\sum_i P_{ai}$ priklausomybė nuo EES srovės dažnio f , t. y.

$$\sum_i P_{ai}(f) = P_a(f). \quad (1)$$

Elektros energetikos sistemos vartotojus galima suskirstyti į kelias grupes pagal jų pareikalaujamą galios priklausomybę nuo dažnio f .

$$P_a(f/f_v) = P_{a0} + P_{a1}(f/f_v) + P_{a2}(f/f_v)^2 + P_{a3}(f/f_v)^3 + \dots + P_{an}(f/f_v)^n; \quad (2)$$

čia f_v – vardinis dažnis, $P_{a0} = \text{const}$, t. y. apkrovos dalis, kuri nepriklauso nuo dažnio f , pvz., šviesos krosnių, kaitinimo lempų, išlygintos srovės vartotojų galia ir pan. Antrąją narą sudaro apkrova besisukančio mechanizmo su pastoviu pasipriešinimo momentu, pvz., metalo pjovimo staklės ir kt. [5, 6]. Iš (2) priklausomybės matyti, kad vartotojų pareikalaujamos galios P_a priklausomybė nuo f yra netiesinė, tačiau siaurame dažnio diapazone ją galima aproksimuoti tiese. Mažėjant/didėjant dažniui f , mažėja/didėja ir pareikalaujama vartotojų galia P_a , o tai garantuoja galios balansą esant kitam dažniui f :

$$\Sigma P_{af} - \Sigma P_a = 0; \quad (3)$$

čia ΣP_{af} – suminė generuojama galia esant dažniui f , ΣP_a – vartotojų apkrovos suminė galia esant dažniui f .

Šis reiškinys vadinamas apkrovos reguliavimo efektu ir įvertinamas vadinamuoju apkrovos reguliavimo koeficientu $k_a = D$, o dydis D vadinamas EES slopinimo koeficientu. Koeficientas k_a yra teigiamas dydis ir parodo, kiek procentų sumažėja (padidėja) EES suminės apkrovos galia sumažinant (padidinant) dažnį 1%, t. y. 0,5 Hz. Dažniui kintant 45–50 Hz diapazone, koeficientas k_a yra beveik pastovus.

Pinodami $P_a(f/f_v)$ analitinę išraišką (2), koeficientą k_a galime apskaičiuoti analitiškai:

$$k_a = \frac{f_v}{P_a} \frac{\partial P_a}{\partial f} = \frac{P_{a1} + 2P_{a2} \frac{f}{f_v} + 3P_{a3} (\frac{f}{f_v})^2 + \dots + nP_{an} (\frac{f}{f_v})^{n-1}}{P_{a0} + P_{a1} + P_{a2} + \dots + P_{an}}. \quad (4)$$

Tačiau praktiškai pasinaudoti šia priklausomybe sunku, nes nežinomos dydžių $P_{a0}, P_{a1}, \dots, P_{an}$ vertės.

Kitu metodu koeficiento k_a reikšmę galima apskaičiuoti švykus dažnio pokyčiui sistemoje. Šis pokytis gali atsirasti dėl šviesos priepasėdžių. Skaičiavimams atlikti gali būti vykdomas eksperimentas, kurio metu nukraunami arba atjungiami keli generatoriai. Generatorių galia ir sistemos dažnis yra matuojami. Didensnio dažnio nuokrypiui sukelti sistemoje kai kada yra ribojamas generatorių turbinų reguliatorių darbas. Tačiau tai – daug darbo reikalaujantis procesas, taip pat sumažėja sistemos patikimumas eksperimento metu. Abiem atvejais bendro tiksruma neigiamai veikia natūralus apkrovos kitimas (triukšmas). Dėl to reikia tinkamai parinkti bandymo laiką, kai apkrovos kitimas yra kuo mažesnis, arba eksperimentą atlikti ne palaipsniui mažinant sistemos dažnį, bet sukuriant didelę galios pokytį atjungiant keletą parinktų generatorių ar atskiras tarp-sistemines linijas.

Pažymėsime, kad veikiančioje didelėje EES pakankamai tiksliai išmatuoti visų veikiančių generatorių generuojamas galias arba visų apkrovų galios pokytį ΔP_a dėl dažnio pokyčio Δf yra gana sudėtinga.

Tačiau tuo atveju, kai visų generatorių apkrovos yra vardinės, visų turbinų sklendės visiškai atidarytos, tada didėjant apkrovai (prijungiant papildomus vartotojus), dažnis mažėja, nes pirminio reguliavimo procesas nevyksta. Kadangi šiuo atveju turbinų greičio reguliatoriai neveikia, visa ΔP_g lygi ΔP_a , t. y. $\Delta P_s = \Delta P_a$; čia ΔP_s – sistemos galios pokytis. Tada labai paprasta panaudoti priklausomybę parametru k_a nustatyti:

$$k_a = \frac{f_v}{P_a} \frac{\Delta P_{af}}{\Delta f}; \quad (5)$$

čia $\Delta f = f_v - f$ – dažnio pokytis [Hz], ΔP_{af} – apkrovos pokytis dėl dažnio f pasikeitimo dydžio Δf , P_a – apkrova esant vardiniam dažniui.

Tačiau ir šis eksperimentą atlikti palyginti nedidelėje izoliuotoje sistemoje.

Praktikoje vartojama ir apkrovos statinės dažninės charakteristikos statumo sąvoka [5, 6]. Statumas σ_a yra išreiškiamas taip:

$$\Delta P_a = \sigma_a \Delta f = \frac{P_a}{f_v} k_a \Delta f, \quad (6)$$

$$\text{taigi} \quad \sigma_a = \frac{P_a}{f_v} k_a. \quad (7)$$

Jis parodo, kiek MW pasikeičia suminė apkrova P_a , pasikeitus dažniui f 1 Hz.

Analogiškai, kaip ir apkrovos reguliuojamo efekto koeficiento k_a atveju, vartojama energetinio agregato statinės dažninės charakteristikos statumo σ_g sąvoka:

$$\sigma_g = \frac{\Delta P_g}{\Delta f} = \frac{P_{gv}}{f_v} \frac{100\%}{S\%}; \quad (8)$$

čia $\Delta f = f_v - f$ – dažnio pokytis [Hz], ΔP_g – generacijos pokytis, P_{gv} – EES besisukančio agregato vardinė galia.

EES atstojamasis (bendras) statumas σ_s priklauso nuo statinio dažninio charakteristikų generuojamos ir vartotojų dalies [5, 6]:

$$\sigma_s = -\frac{\Delta P_s}{\Delta f} = \frac{\Delta P_g + \Delta P_a}{\Delta f} = \sigma_g - \sigma_a; \quad (9)$$

čia σ_g – EES generuojamos dalies statinės dažninės charakteristikos statumas (neigiamas dydis), $\sigma_a = (P_a/f_v)k_a$ – EES apkrovos statinės dažninės charakteristikos statumas (teigiamas dydis) [5–8].

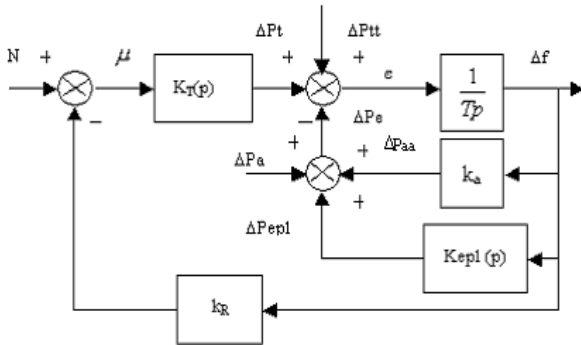
Šiais metodais skaičiuojant rezultatas labai priklauso nuo vidinio EES triukšmo ir duomenų atskaitymo tiksrumo.

Kitas taikomas metodas yra EES sistemos modeliavimas naudojant tipines dinamines grandis. Iš jų sudaryta struktūra aprašoma diferencialinėmis lygtimis. Sudarant reguliavimo sistemos modelius yra tinkamai parenkama jų struktūra bei geriausiai dinaminis pro-

cesus atspindinėios grandys. Labai svarbu pakankamai tiksliai nustatyti grandžių perdavimo funkcijų parametrų reikšmes. Dažnai tai būna sudėtinga atlikti. Visi skirtingas dimensijas turintys dydžiai išreiškiami santykiniais vienetais, o laiko pastoviosios – sekundėmis. Parenkant modelio struktūrą būtina tinkamai parinkti ėjimo ir išėjimo signalus bei jų skaičių [9].

3. EES DAŖNIO AUTOMATINIO REGULIAVIMO SISTEMOS MATEMATINIS MODELIS

EES tiesinio matematinio modelio struktūrinė schema parodyta 1 pav. [4, 9]. Schemoje pažymėta: $K_T(p)$ – ekvivalentinės turbino perdavimo funkcija, $K_{ep}(p)$



1 pav. EES dažnio automatinio reguliavimo sistemos struktūrinė schema

– elektros perdavimo linijose, jungiančiose su kitomis EES, asinchroninės dedamosios, kuri priklauso nuo dažnio nuokrypio Δf , perdavimo funkcija, k_R – dažnio ekvivalentinio regulatoriaus stiprinimo koeficientas, k_a – EES apkrovos reguliuojančio efekto koeficientas, T – EES besisukančio generatorio ir variklio ekvivalentinė laiko pastovioji, $\Delta P_a(t)$, $\Delta P_{aa}(t)$, $\Delta P_{it}(t)$, $\Delta P_e(t)$, $\Delta P_e(t)$, $N(t)$ – atitinkamai EES apkrovos galia (ji nepriklauso nuo dažnio), apkrovos reguliuojančio efekto galia, neturinti pirminio reguliavimo generuojama galia, ekvivalentinės turbino veleno galia, EES elektrinės galios ir rankinio generuojamos galios nustatymo signalas. Šiai struktūrinei ARS schemai galima parašyti tokias lygtis:

$$E = \Delta P_{it} + \Delta P_e - \Delta P_e \quad (10)$$

$$\Delta P_{it} = K_T(p)\mu = K_T(p)(N - k_R\Delta f), \quad (11)$$

$$\Delta P_e = \Delta P_a + k_a\Delta f + K_{ep}(p)\Delta f. \quad (12)$$

(11) ir (12) įrašę į (10) gauname:

$$\varepsilon = \Delta P_{it} + K_T(p)N - \Delta P_a - (K_T(p)k_R + k_a + K_{ep}(p))\Delta f, \quad (13)$$

$$\Delta f = \varepsilon / Tp = (\Delta P_{it} + K_T(p)N - \Delta P_a - (K_T(p)k_R + k_a + K_{ep}(p))\Delta f) / Tp. \quad (14)$$

Sutvarkę gauname

$$(Tp + k_R K_T(p) + k_a + K_{ep}(p))\Delta f = \Delta P_{it} + K_T(p)N - \Delta P_a. \quad (15)$$

Nustovėjusiuose rešime $p = d/dt = 0$, $K_T(p) = k_T$, $K_{ep}(p) = k_{ep}$ o vietoje (15) lygties turėsime

$$(k_R k_T + k_a + k_{ep}) \Delta f = \Delta P_{it} + k_T N - \Delta P_a. \quad (16)$$

Pastarojoje lygtyje ΔP_{it} , N ir ΔP_a yra ne kintantys, bet pastovūs dydžiai.

Lygtys (15) ir (16) yra pagrindinės EES modelio parametrų identifikavimo lygtys. Pagal ΔP_{it} , ΔP_e , ΔP_a , ΔP_e ir Δf matavimo duomenis galima apskaičiuoti turbino (ekvivalentinės turbino) perdavimo funkciją $K_T(p)$ ir $K_{ep}(p)$ žverčius, taip pat parametrus k_R , k_a , k_{ep} ir k_T žverčius.

Kadangi EES dažnio reguliavimo sistema yra dinaminė sistema, tai pagal minėtą dydžių kitimo laiką matavimo duomenis geriausia skaičiuoti atitinkamose perdavimo funkcijose žverčius, o iš jų nustatyti reikalingus parametrus – laiko pastoviasias ir perdavimo koeficientus k_R , k_a , k_{ep} ir k_T .

Panagrinėsime du būdingus atvejus:

1) $\Delta P_{it} = \text{var}$, $\sigma_{\Delta P_{it}} = \text{var}$, $\Delta P_{it} = 0$, $N = 0$. Iš (15) lygties gauname:

$$\Delta P_a = -(Tp + k_R K_T(p) + k_a + K_{ep}(p))\Delta f, \quad (17)$$

$$\Delta P_a = \Delta P_{a'} + \Delta P_{a''}. \quad (18)$$

ėia $\Delta P_{a'}$ – šuoliu kintantis procesas, $\Delta P_{a''}$ – stacionarus atsitiktinis procesas.

Iš pastarosios lygties matyti, kad pagal ΔP_a ir Δf matavimo duomenis galima apskaičiuoti koeficientų sumos $-(k_R k_T + k_a + k_{ep})$ žvertį. Be to, $\Delta P_{it} = -K_T(p)k_R\Delta f$, todėl, turėdami ΔP_{it} ir Δf matavimo duomenis, galime žvertinti $K_T(p)k_R$ o prilyginę $p = 0$, gausime $k_T k_R$. Taip pat iš schemos matyti, kad $\Delta P_e = \Delta P_a + (K_{ep}(p) + k_a)\Delta f$, arba $\Delta P_e - \Delta P_a = (K_{ep}(p) + k_a)\Delta f$, todėl turėdami ΔP_e , ΔP_a ir Δf matavimo duomenis, galime žvertinti perdavimo funkciją $(K_{ep}(p) + k_a)$, o prilyginę $p = 0$, gauname $k_{ep} + k_a$.

Visa tai galima užrašyti trumpai:

panaudodami matavimo duomenis ΔP_a ir Δf , žvertiname $(k_R k_T + k_a + k_{ep})$.

Pagal ΔP_{it} ir Δf žvertiname $k_T k_R$.

Pagal $\Delta P_e - \Delta P_a = \Delta P_d$ ir Δf žvertiname $(k_{ep} + k_a)$.

2) $\Delta P_{it} = \text{var}$, $\sigma_{\Delta P_{it}} = \text{var}$, $N = 0$. ΔP_{it} – šuoliu kintantis procesas.

Pagal matavimo duomenis ΔP_{it} ir Δf žvertiname $(k_R k_T + k_a + k_{ep})$.

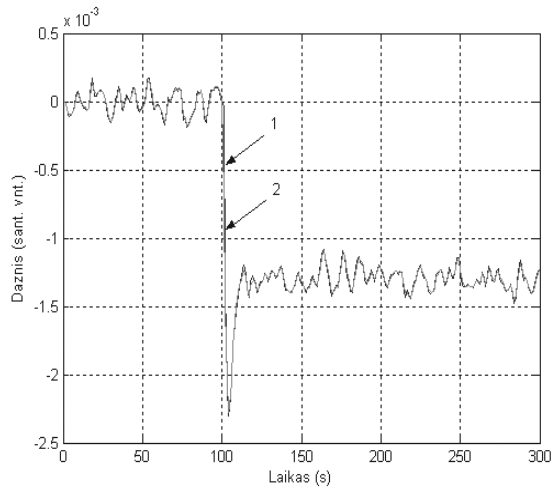
Pagal ΔP_{it} ir Δf žvertiname $k_T k_R$.

Pagal ΔP_e ir Δf žvertiname $(k_a + k_{ep})$.

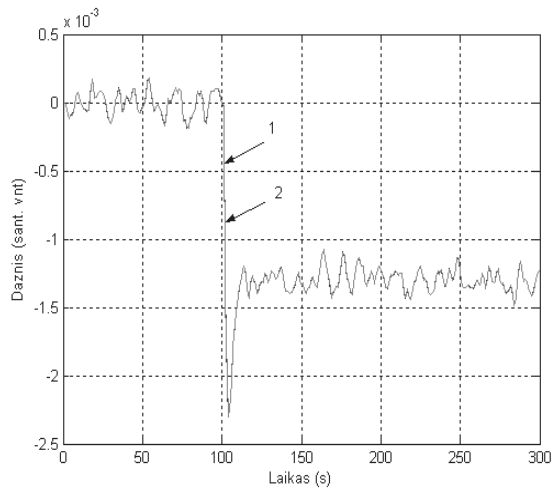
4. IMITACINIO MODELIAVIMO REZULTATAI

Tyrimui reikalingi duomenys gauti panaudojus EES matematiną modelį parodytą 2 paveiksle.

Imitaciniam EES statinio dažninių charakteristikų parametrų žvertinimo tyrimui pritaikysime diskretiną identifikavimo metodą. Atliekant diskretiną identifikaciją patogiau identifikuoti dinamines sistemas, kurių ėjimo signalas neturi triukšmo dedamosios, t. y. ėjimo signalas šinomas visiškai tiksliai, o išėjimo signalas turi triukšmo dedamąją. Naudojant identifikacijai tolydinius matematinus modelius gali būti gaunamos didelės paklaidos skaičiuojant matuojamą procesą išvestines.



3 pav. Dažnio kitimas. 1 – kreivė, gauta pagal tikrus parametrus, 2 – kreivė, gauta pagal identifikuotus parametrus



4 pav. Dažnio kitimas. 1 – kreivė, gauta pagal tikrus parametrus, 2 – kreivė, gauta pagal identifikuotus parametrus

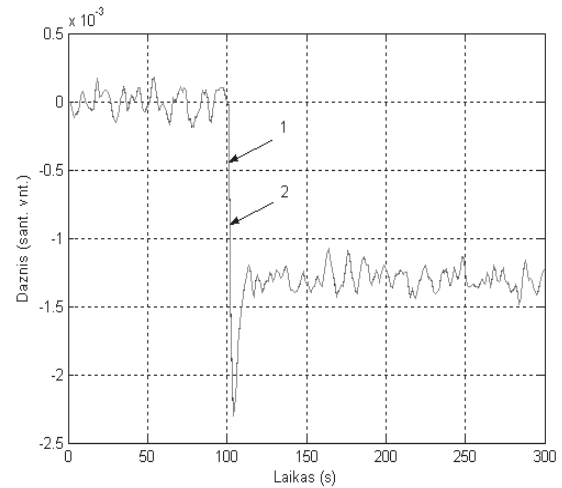
$\hat{K} = 1/K = \Delta P_t / \Delta f = 4,41 / 0,2205 = 20$, t.y. dydžio $k_R k_T$ ávertis. Tikroji vertė $k_R k_T = 20$.

Iðėjimo signalai gauti panaudojant statistiną imitaciną modeliavimą pagal tikrus ir identifikuotus parametrus parodyti 4 paveiksle.

Pirmojo atvejo skaičiavimo rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Pirmo atvejo identifikavimo rezultatai, kai $\Delta P_a' = 0,03$, $\Delta P_u = 0$, $N = 0$, $\sigma_{\Delta P_a'} = 0,0014$

| Matuojami dydžiai | Koeficientai | Ávertis | Tikra reikðmė | Koreliacijos koeficientas |
|-------------------------|----------------------------|---------|---------------|---------------------------|
| P_a ir f | $(k_R k_T + k_a + k_{ep})$ | 23,02 | 23 | 0,9978 |
| P_e ir f | $k_R k_T$ | 19,9 | 20 | 0,9893 |
| P_{ep} ir f | k_{ep} | 1 | 1 | 0,9996 |
| $(P_e - P_{ep})$ ir f | $(k_R k_T + k_{ep})$ | 20,9 | 21 | 0,9899 |
| P_t ir f | $k_R k_T$ | 20 | 20 | 0,9999 |
| P_u ir f | – | – | – | – |
| $(P_e - P_a)$ ir f | $(k_a + k_{ep})$ | 3 | 3 | 1 |



5 pav. Dažnio kitimas. 1 – kreivė, gauta pagal tikrus parametrus, 2 – kreivė, gauta pagal identifikuotus parametrus

Antruoju atveju, kai $\Delta P_u = -0,03$, $N = 0$, $\sigma_{\Delta P_a'} = 0,0014$, gauname:

$$\Delta f / \Delta P_u = \frac{-0,06389 p^3 - 0,09759 p^2 + 0,3764 p + 0,632}{p^3 + 27,16 p^2 + 13,14 p + 14,5}, \quad (25)$$

$$R_{y\hat{y}} = 0,9850.$$

Prilyginą p nuliui, gauname stiprinimo koeficientą $\hat{K} = 1/K$, kuris šiuo atveju yra lygus

$\hat{K} = 1/K = \Delta P_u / \Delta f = 14,5 / 0,632 = 20,94$, t.y. dydžio $(k_R k_T + k_a + k_{ep})$ ávertis. Tikroji vertė $(k_R k_T + k_a + k_{ep}) = 23$.

Iðėjimo signalai, gauti panaudojant statistiną imitaciną modeliavimą pagal tikrus ir identifikuotus parametrus, parodyti 5 paveiksle.

$$\Delta f / \Delta P_t = \frac{-0,325 p^3 - 1,357 p^2 - 1,522 p - 0,2205}{p^3 + 7,844 p^2 + 12,4 p + 4,41}, \quad (26)$$

$$R_{y\hat{y}} = 0,9999.$$

$\hat{K} = 1/K = \Delta P_t / \Delta f = 4,41 / 0,2205 = 20$, t.y. dydžio $k_R k_T$ ávertis. Tikroji vertė $k_R k_T = 20$.

Iðėjimo signalai, gauti panaudojant statistiną imitaciną modeliavimą pagal tikrus ir identifikuotus parametrus, parodyti 6 paveiksle.

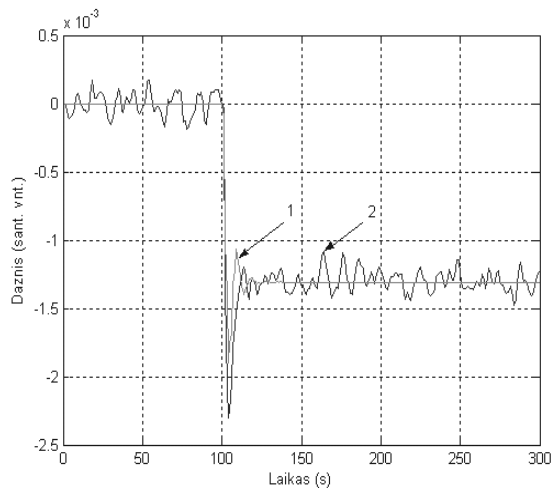
Antrojo atvejo skaičiavimo rezultatai pateikti 2 lentelėje.

5. IMITACINIO-STATISTINIO MODELIAVIMO REZULTATŲ ANALIZĖ

Kai apkrovos galia ΔP_a susideda iš dviejų dedamųjų ΔP_a , ðuoliu kintanėio ir ΔP_a , stacionaraus atsitiktinio proceso, generavimo galia $\Delta P_u = 0$ ir $N = 0$, iš imi-

2 lentelė. Antro atvejo identifikavimo rezultatai, kai $\Delta P_u = -0,03$, $N = 0$, $\sigma_{\Delta P_a} = 0,0014$

| Matuojami dydžiai | Koeficientai | Ávertis | Tikra reikðmë | Koreliacijos koeficientas |
|--------------------------|-----------------------------|---------|---------------|---------------------------|
| P_a ir f | $(k_R k_T + k_a + k_{epI})$ | 0,258 | 23 | 0,7947 |
| P_e ir f | $(k_a + k_{epI})$ | 3,12 | 3 | 0,8974 |
| P_{epI} ir f | k_{epI} | 1 | 1 | 0,9996 |
| $(P_e - P_{epI})$ ir f | k_a | 2,12 | 2 | 0,8807 |
| P_t ir f | $k_R k_T$ | 20 | 20 | 0,9999 |
| P_u ir f | $(k_R k_T + k_a + k_{epI})$ | 22,94 | 23 | 0,9850 |
| $(P_e - P_a)$ ir f | $(k_a + k_{epI})$ | 3 | 3 | 1 |



6 pav. Dažnio kitimas. 1 – kreivë, gauta pagal tikrus parametrus, 2 – kreivë, gauta pagal identifikuotus parametrus

tacinio modeliavimo rezultatø matyti, kad maþiausiai kvadratø metodu apskaiëuoti stiprinimo koeficientø $(k_R k_T + k_a + k_{epI})$, $k_R k_T$, k_{epI} ir $(k_a + k_{epI})$ áverëiai yra geri (1 lentelë). Turint k_{epI} ir $(k_a + k_{epI})$ áverëius, galima apskaiëuoti ir k_a ávertá.

Kai ΔP_a yra stacionarus atsitiktinis procesas su $\sigma_{\Delta P_a} = 1$, ΔP_u taip pat stacionarus atsitiktinis procesas, bet jo standartinis nuokrypis $\sigma_{\Delta P_u} = 0,1$, gaunami taip pat geri rezultatai [4].

Kai generuojama galia ΔP_u yra šuoliu kintantis procesas, apkrovos galios standartinis nuokrypis $\sigma_{\Delta P_a} = 0,0014$ ir $N = 0$, maþiausiai kvadratø metodu apskaiëuoti stiprinimo koeficientø $(k_R k_T + k_a + k_{epI})$, $k_R k_T$, k_{epI} ir $(k_a + k_{epI})$ áverëiai yra geri (2 lentelë). Turint k_{epI} ir $(k_a + k_{epI})$ áverëius, galima apskaiëuoti apkrovos reguliuojanëio efekto koeficiento k_a ávertá.

Kai ΔP_u yra stacionarus atsitiktinis procesas su $\sigma_{\Delta P_u} = 1$, ΔP_a taip pat stacionarus atsitiktinis procesas, bet jo standartinis nuokrypis $\sigma_{\Delta P_a} = 0,1$, gaunami taip pat geri rezultatai [4].

Tikslesni EES sistemos parametrø áverëiai gaunami, kai nustatomi pagal apkrovos pokytá ΔP_a nei pagal generacijá ΔP_u , neturinëà pirminio dažnio reguliavimo. Tuo atveju, kai áverëiai nustatomi pagal ΔP_u , áverëiø tikslumui turi átakos signalo ΔP_a varia-

cija. Kuo ΔP_a variacija maþesnë, o ΔP_u – didesnë, tuo áverëiai yra tikslesni.

Tuo atveju, kai áverëiai nustatomi pagal ΔP_a , jos variacija yra didesnë, o ΔP_u – maþesnë, gaunami tikslesni áverëiai.

6. IŠVADOS

1. Ðiuo metu taikomi metodai EES statinëms dažninëms charakteristikoms nustatyti eksperimen-

tiniu būdu turi trūkumą, nes jø rezultatas labai priklauso nuo reikðmiø atskaitymo tikslumo, kurias tiksliai atskaityti trukdo triukšmai.

2. Parametrinë identifikacijos metodu gauti rezultatai rodo, kad galima ávertinti sistemos statizmá, t. y. bendràjá ekvivalentiná stiprinimo koeficientá $k_R k_T + k_a + k_{epI}$ tarpsteminio ryðio ekvivalentinëse linijose asinchroninëse dedamosios perdavimo funkcijá K_{epI} ir apkrovos reguliuojanëio efekto koeficientá k_a . Identifikacijos metodu galima ávertinti ir sistemos laiko pastoviásias, taëiau ðiame straipsnyje laiko pastoviøjø áverëiø nenagrinëjame.

3. Panaudojant OE matematiná modelá EES statinëms dažninëms charakteristikoms (bei EES laiko pastoviosioms) nustatyti, yra iðvengiama netikslaus duomenø atskaitymo ir pasinaudojama galimybe parinkti geriausiá modelio struktürá, pvz., ARX, ARMAX, BJ ar OE, atsiþvelgiant á EES struktürá bei trukdþiø ðaltinius, todël ëia pateiktu metodu galima ávertinti EES parametrus su maþesnëmis paklaidomis nei taikant kitus metodus.

Gauta 2005 03 03

Literatūra

1. Kaminskas V. Dynamic System Identification Via Discrete-Time Observations. Part 1. Statistical Method Foundations. Estimation in Linear Systems (in Russian). Vilnius: Mokslas Publishers, 1982.
2. Nemura A., Sorkin J. Efficient Indication of Stability of Continuous Linear Self – Adjusting Models When its Transfer function is Rational Function (in Russian) // Lietuvos TSR Mokslø Akademijos darbai. B serija. 1970. T. 1(60). P. 187–201.
3. Ljung L. System Identification: Theory for the User. 1987 by Prentice-Hall. Inc. P. 519.
4. Nemura A., Radziukynas V. Elektros energetikos sistemos identifikuojamumo sąlygø tyrimas // Automatika ir valdymo technologijos-2003 Kaunas: Technologija, 2003. P. 13–16.
5. Стернинсон Л. Д. Переходные процессы при регулировании частоты и мощности в энергосистемах. Москва: Энергия, 1978. С. 20–23.

6. Беркович М. А., Комаров А. Н., Семенов В. А. Основы автоматики энергосистем. Москва: Энергоиздат, 1981. С. 244–246.
7. Рабочий семинар по проблеме регулирования частоты. Рига: ДС Балтия. 2004. С. 12–26.
8. Комаров А. Н., Бондаренко А. Ф. Регулирование частоты в энергосистемах России в современных условиях // Электрические станции. Апрель 2002. № 4. С. 36–46.
9. Nargėlas A., Aþubalis V. Elektros stoėiø agregatø reguliavimo sistemø dinaminiø modeliø sudarymas. Kaunas: Sutarties numeris 6325/ataskaita. P. 5–11.

Virginijus Radziukynas

ASSESSMENT OF POWER SYSTEM STATIC FREQUENCY CHARACTERISTICS' PARAMETERS

Summary

After reorganization of the electric power sector each control area will have to participate in the frequency regulation in the united power system or separately. Therefore, for creation of control algorithms, it is necessary to know system characteristics. The evaluation methods of power system frequency characteristics together with their faults are presented. A new method of determination of electric power system frequency characteristics and time constants is presented.

Key words: electric power system, mathematical model, identification, transfer function of identification, EPS static frequency characteristics

Виргиниус Радзюкинас

ИССЛЕДОВАНИЕ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧЕСКИХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Резюме

В связи с перестройкой электроэнергетического сектора в будущем каждый район управления (РУ) будет вынужден участвовать в первичном и вторичном регулировании частоты и мощности в объединенной электроэнергетической системе (ЭЭС) или отделившись от ЭЭС. Чтобы создать алгоритмы регулирования, необходимо знать характеристики ЭЭС. В настоящей работе рассматриваются методы установления статических частотных характеристик электроэнергетических систем и их недостатки. Предложен новый метод для установления статических частотных характеристик и параметров передаточной функций.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, математическая модель, идентификация, передаточная функция, статическая частотная характеристика