

Sinchroninio generatoriaus adaptyviosios žadinimo reguliavimo sistemos sintezė

A. Dambrauskas, B. Karaliūnas, D. Šulskis

Automatikos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Aušros Vartų g. 7a, LT-2600 Vilnius, Lietuva, tel. +370 5 2627710, el.paštas automatika@el.vtu.lt

Įvadas

Galingų sinchroninių generatorių, dirbančių bendroje energetikos sistemoje, automatinis žadinimo reguliavimas (AŽR) yra viena iš svarbiausių priemonių sistemos stabilumui, patikimumui ir generuojamos energijos kokybei užtikrinti. Numatoma mūsų šalies energetikos plėtra ir siekis integruoti ją į bendrą Rytų ir Vakarų šalių energetikos sistemą kelia naujus, kur kas griežtesnius reikalavimus sistemos valdymo tikslumui, santykiniam stabilumui, reakcijos greičiui bei pereinamųjų procesų kokybei. Pastarųjų metų kiekybiniai ir kokybiniai pokitimai šiuolaikinėse energetikos sistemose verčia ieškoti naujų, tobulėsių AŽR sistemų, prisiderinančių ne tik prie greitai kintančių išorinių trikdžių, bet ir prie sistemos parametrų ir darbo režimų pokyčių. Esamos sinchroninių generatorių AŽR sistemos ne visada tenkina išaugusius reikalavimus energetikos sistemos valdymo kokybinėms charakteristikoms. AŽR sistemos ne tik išplečia statinio stabilumo ir patikimumo ribas, bet ir sprendžia nemažą kitų uždavinių: intensyvina generatorių rotorų švytavimų slopinimą, didina sistemos stabilumą, esant harmoniniams trikdžiams, kurie atsiranda sistemoje dėl atskirų generatorių asinchroninės veikos.

Pastaruoju metu pasirodo mokslinių darbų [1, 2, 3], kuriuose nagrinėjamos sinchroninių generatorių žadinimo srovės automatinio reguliavimo problemos, siekiant panaudoti naujos kartos reguliatorius ir adaptavimo principus. [4] pateiktas adaptyviosios AŽR sistemos sintezės metodas, pagrįstas neraiškiojo reguliatoriaus panaudojimu, užtikrinančiu asimptotinį uždarosios automatinio valdymo sistemos stabilumą. Sinchroninių generatorių, dirbančių mažose elektrinėse, įtampos ir dažnio reguliavimo, panaudojant kompiuterinį valdymą, algoritmai ir priemonės analizuojami [5, 6].

Šiuolaikinės įvairių objektų, tarp jų ir sinchroninių generatorių valdymo ir reguliavimo sistemos, kuriose naudojami loginiai valdikliai ir naujausios automatizavimo priemonės, išnagrinėtos darbuose [7, 8]. Literatūroje [9] pateiktas naujas fiksuotos struktūros reguliatorių analitinis sintezės principas, kuris susieja sintezuojamojo reguliatoriaus parametrus su automatinės sistemos kokybinėmis charakteristikomis. Pasiūlytas principas yra

gana paprastas, sutrumpina iteracines procedūras ir leidžia paspartinti reguliatoriaus optimalių parametrų paiešką.

Literatūros analizė rodo, kad žinomos sinchroninių generatorių AŽR sistemos neužtikrina reikiamų kokybės rodiklių, ypač tais atvejais, kai tuo pačiu metu vyksta gana sudėtingi, tarpusavyje susiję elektromagnetiniai ir elektromechaniniai pereinamieji procesai ne tik energetikos sistemoje, bet ir pačioje sinchroninio generatoriaus žadinimo sistemoje. Tokių procesų matematinis aprašymas yra gana sudėtingas ir dėl to ribotas, o gilių avarinių situacijų atvejais vykstančių procesų matematinio aprašymo iš viso nėra. Tokiu atveju AŽR sistemose tikslinga taikyti adaptacijos principus žadinimo srovei reguliuoti panaudojant kintamų parametrų ir struktūros reguliatorius [10, 11, 12].

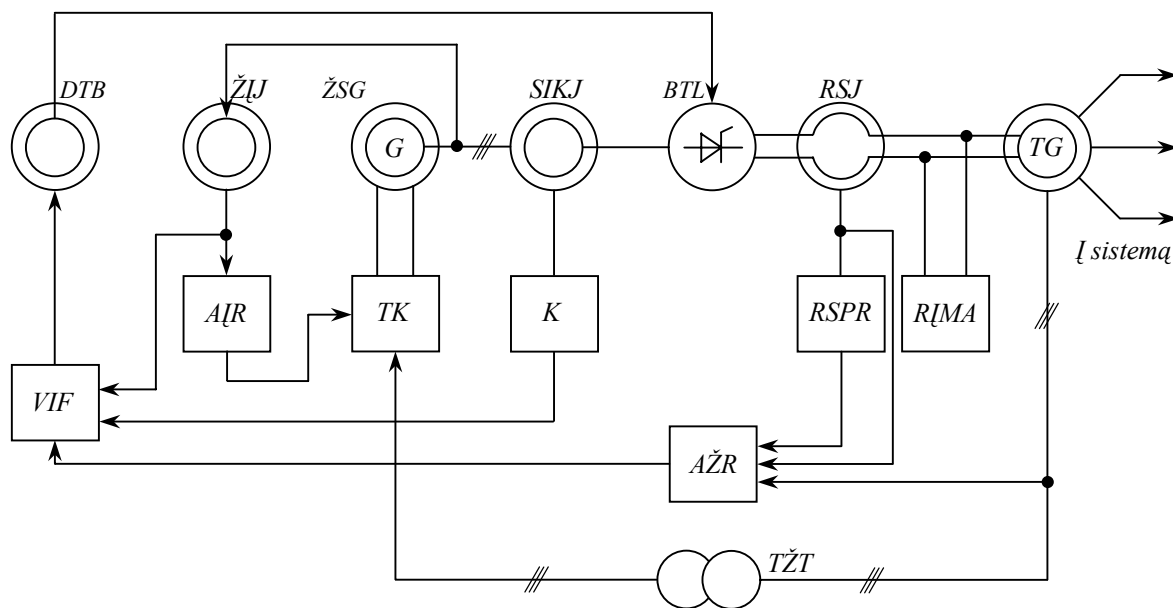
Šio darbo tikslas – galingo sinchroninio generatoriaus, dirbančio bendroje energetikos sistemoje, adaptyviosios žadinimo srovės reguliavimo sistemos sintezė, taikant kintamos struktūros reguliatorius.

Sinchroninių generatorių žadinimo sistemos

Pastaruoju metu galingiems sinchroniniams generatoriams žadinti naudojamos greitaveikės, bešepetės žadinimo sistemos su adaptyviaisiais žadinimo srovės reguliatoriais. Visas žadinimo sistemas galima suskirstyti į tokias grupes [13, 14]:

- a) nepriklausomojo žadinimo bešepetės sistemos su besisukančiais tiristoriais;
- b) tiristorinės savižadinimo sistemos be nuosekliųjų autotransformatorių;
- c) bešepetės sistemos su besisukančiais diodais;
- d) aukštadažnės žadinimo sistemos;
- e) aukštadažnės sistemos su stabilizavimo įtaisais;
- f) elektromašininės žadinimo sistemos su nuolatinės srovės žadintuvais.

Pirmosiose trijose sistemose panaudoti unifikuoti žadinimo srovės reguliatoriai su puslaidininkiniais elementais, taip pat reguliatoriai su magnetiniais stiprintuvais. Aukštadažnėse ir elektromašininėse sistemose pritaikyti proporcinio tipo žadinimo reguliatoriai su generatoriaus įtampos koregavimo įtaisais. 1 pav. parodyta 1000 MW galios turbogeneratoriaus bešepetės tiristorinės žadinimo sistemos funkcinė schema [14]:



1 pav. Galingo turbogeneratoriaus bešepetės tiristorinės žadinimo sistemos funkcinė schema

Funkcinėje schemoje pažymėta: *TG* – turbogeneratorius; *ŽSG* – žadintuvo sinchroninis generatorius; *DTB* – dinaminį transformatorių blokas; *ŽIĮ* – žadinimo įtampos jutikliai; *SIKJ* – srovės impulsų kontrolės jutikliai; *BTL* – besisukantis tiristorinis lygintuvas; *RSJ* – rotoriaus srovės elektromagnetiniai jutikliai; *AIR* – žadintuvo generatoriaus (*ŽSG*) įtampos reguliatorius; *TK* – tiristorinis keitiklis; *K* – bekontaktis besisukančio lygintuvo (*BTL*) kontrolės blokas; *RSPR* – rotoriaus srovės perkrovos relė; *RĮMA* – rotoriaus įtampos matavimo ir apsaugos blokas; *AŽR* – automatinis žadinimo reguliatorius; *VIF* – tiristorių valdymo impulsų formavimo blokas; *TŽT* – trifazis žeminimo transformatorius.

Šioje schemoje vienas iš svarbiausių ir atsakingiausių elementų yra žadinimo srovės reguliatorius (*AŽR*), nuo kurio priklauso patikimas visos *TG* žadinimo sistemos veikimas, ypač avariniais energetinės sistemos atvejais ir esant nenormaliems *TG* darbo režimams. *TG* žadinimo srovė keičiama lygintuvo *BTL* tiristoriais, kuriems valdymo impulsus formuoja blokas *VIF* pagal žadinimo įtampos jutiklių (*ŽIĮ*), kontrolės bloko (*K*) ir automatinio žadinimo reguliatoriaus (*AŽR*) signalus.

Pagrindinės lygtys ir struktūrinė schema

Išvedant sinchroninio generatoriaus, kaip automatinio reguliavimo objekto, diferencialines lygtis, įvertinamos šios bendrosios prielaidos: generatoriaus magnetinė grandinė neįsotinta; magnetinis laukas oro tarpelyje kinta pagal sinuso dėsnį; statoriaus apvijų sudaro trifazę simetrinę sistemą; rotorijoje nėra slopinimo kontūrų; histerezės reiškinių nepaisoma. Tada sinchroninio generatoriaus žadinimo srovės reguliavimo linearizuota diferencialinių lygčių sistema mažų pokyčių aplinkoje užrašoma taip [15]:

$$\begin{cases} T_m \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} + \Delta P = 0, \\ T_{d0} \frac{d \Delta E_{q1}}{dt} + \Delta E_q = \Delta E_{q2}, \\ \Delta E_{q2} = \frac{k_u}{\left(T_z \frac{d \Delta U_G}{dt} + 1 \right)} \Delta U_G, \\ \Delta U_r = k_r \Delta \delta + k_d \Delta \omega + \frac{k_I}{\Delta \omega}, \\ \Delta \omega = \frac{d \Delta \delta}{dt}; \end{cases} \quad (1)$$

čia T_m – rotoriaus elektromechaninė laiko pastovioji; T_{d0} – generatoriaus žadinimo apvijų elektromagnetinė laiko pastovioji; T_z – žadintuvo laiko pastovioji; $\Delta \delta$ – rotoriaus ašies posūkio kampo pokytis; ΔE_q – statoriaus elektrovaros pokytis; ΔE_{q1} – elektrovaros laisvosios dedamosios, sąlygojamos žadinimo srovės pereinamųjų procesų, pokytis; ΔE_{q2} – elektrovaros priverstinės dedamosios pokytis; k_u – reguliavimo koeficientas pagal įtampos nuokrypį; k_r , k_d ir k_I – proporcinio, diferencialinio ir integralinio reguliatoriaus stiprinimo koeficientai; $\Delta \omega$ – rotoriaus kampinio greičio pokytis.

Pirmoji pateiktos sistemos lygtis išreiškia turbino, generatoriaus ir dinaminės galios balansą, kai dėl išorinių trikdžių atsiranda rotoriaus kampo pokytis $\Delta \delta$ ir greičio švytavimai $\Delta \omega$. Antroji lygtis nusako statoriaus apvijose indukuotų elektrovarų balansą, kai reguliuojama žadinimo srovė. Trečioji lygtis susieja generatoriaus įtampos pokytį su priverstinės elektrovaros, sąlygojamos *AŽR*, pokyčiu ΔE_{q2} . Žadinimo srovės, o kartu ir reguliatoriaus įtampos keitimo dėsnį, kurį bendruoju atveju gali formuoti kintamų

parametrų ir kintamos struktūros reguliatorius, išreiškia ketvirtoji lygtis.

Generatoriaus įtampos pokytis išreiškiamas tokia lygtimi:

$$\Delta U_G = \frac{\partial U_G}{\partial E_q} \Delta E_q + \frac{\partial U_G}{\partial \delta} \Delta \delta . \quad (2)$$

Dalinės išvestinės (2) lygtyje priklauso nuo generatoriaus darbo režimo ir tai apibūdina netiesines nagrinėjamos sistemos savybes.

Vienas iš svarbiausių parametrų, apibūdinančių generatoriaus apkrovos dydį ir pobūdį, yra apkrovos kampas δ . Sinchroninės mašinos vektorių diagramoje tas kampas susidaro tarp generatoriaus elektrovaros ir jo gnybtų arba energetikos sistemos įtampos vektorių. Fizinė prasme šis kampas reiškia rotoriaus išilginės ašies posūkį generatoriaus sinchroninės ašies atžvilgiu. Labai padidinus generatoriaus apkrovą ir padidėjus šiam kampui, generatorius iš sinchroninio darbo režimo gali pereiti į asinchroninį. Tada sistemoje generuojami periodiniai trikdžiai ir sutrinka normalus sistemos darbas. Todėl, norint užtikrinti stabilų generatoriaus ir sistemos darbą, šio kampo švytavimai turi būti kuo mažesni arba jų iš viso neturi būti.

Sprendžiant (1) lygčių sistemą, visų kintamųjų pokyčius tikslinga išreikšti kampo δ ir elektrovaros E_q pokyčiais. Generatoriaus ir turbinos galios yra netiesinės dviejų kintamųjų (δ , E_q) funkcijos, todėl jų skirtumą galima išreikšti dalinėmis išvestinėmis:

$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial P}{\partial E_q} \Delta E_q . \quad (3)$$

Generatoriaus elektromagnetinės galios santykis $\frac{\partial P_{el}}{\partial \delta}$

turi sinchronizuojančiosios galios prasmę. Atitinkamai elektrovaros laisvosios dedamosios pokytis bus

$$\Delta E_{q1} = \frac{\partial E_{q1}}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial E_{q1}}{\partial E_q} \Delta E_q . \quad (4)$$

Įvertinus žadinimo apvijoje vykstančius pereinamuosius procesus, ΔE_q galima išreikšti taip:

$$\Delta E_q = \frac{\Delta E_{q2} - p \Delta \delta T_{d1} \frac{x_{d1}}{x_{d2}} \frac{\partial \Delta E_{q1}}{\partial \delta}}{1 + p T_{d1}} ; \quad (5)$$

čia $T_{d1} = T_{d0} \frac{\partial E_{q1}}{\partial E_q}$; x_{d1} ir x_{d2} – kontūrų induktyviosios varžos.

Gautas pokyčių išraiškas įrašę į (1) sistemos lygtis ir užrašę operatorine forma, gausime:

$$\left(T_m p^2 + \frac{\partial P}{\partial \delta} \right) \Delta \delta + \frac{\partial P}{\partial E_q} \Delta E_q = 0 ; \quad (6)$$

$$\left[p T_{d1} \frac{x_{d1}}{x_{d2}} \frac{\partial E_{q1}}{\partial \delta} - \frac{\partial U_G}{\partial \delta} \frac{k_u k_d k_I}{(p T_z + 1)} \right] \Delta \delta +$$

$$\left[1 + p T_{d1} - \frac{\partial U_G}{\partial E_q} \frac{k_u k_d k_I}{(p T_z + 1)} \right] \Delta E_q = 0 . \quad (7)$$

Galių balanso lygtyje (6) suminės galios pokytis susideda iš turbinos galios ΔP_t bei generatoriaus elektromagnetinės galios ΔP_{el} pokyčių. Tada, (6) lygtį išsprendę $\Delta \delta$ atžvilgiu, gausime:

$$\Delta \delta = \frac{\Delta P_t - \partial P_{el} / \partial E_q}{T_m p^2 + \partial P_{el} / \partial \delta} \Delta E_q . \quad (8)$$

AŽR sistemos struktūrinė schema, sudaryta pagal (4)-(8) lygtis, parodyta 2 pav.

Iš pateiktos struktūros matyti, kad sinchroninis generatorius, dirbantis energetikos sistemoje be išorinių grįžtamųjų ryšių, pasižymi švytavimų ir nestabilaus darbo galimybėmis.

Kintamos struktūros reguliatoriaus sintezė

Sistemos, kurioje dirba galingas sinchroninis generatorius su AŽR, asimptotiniam stabilumui užtikrinti turi būti tenkinama sąlyga:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\Delta U_G| = 0 . \quad (9)$$

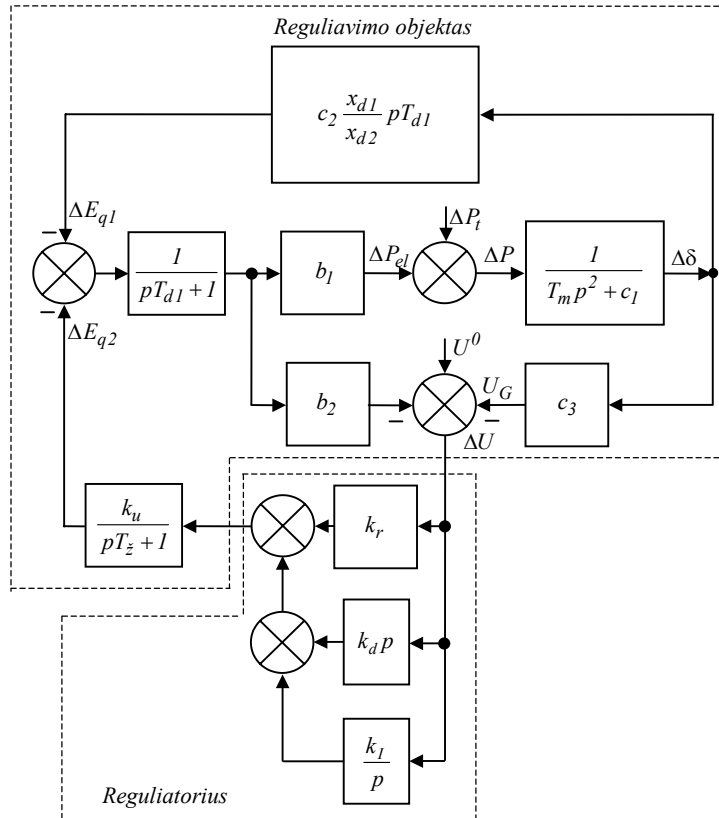
Šiuo atveju sintezės uždavinys formuluojamas taip: atsižvelgiant į sistemos darbo stabilumo reikalavimus ir į reguliuojamojo objekto pereinamųjų procesų kokybės reikalavimus nustatoma žadinimo sistemos struktūra, jos rūšis, reguliavimo dėsnis ir parenkami reguliatoriaus parametrai. Užtikrinant reikiamą generatoriaus įtampos palaikymo tikslumą ir aperiodinio stabilumo sąlygas pagal statinę kampinę generatoriaus charakteristiką, parenkami valdymo pagal nuokrypį koeficientai. Sprendžiant sintezės uždavinius, ypatingas dėmesys kreipiamas į generatoriaus ir energetikos sistemos savųjų švytavimų slopinimą.

Žadinimo srovės reguliatoriaus sintezei (5), (6) ir lygtyse esančios dalinės išvestinės laikomos pastoviais dydžiais ir 2 pav. parodytoje struktūrinėje schemoje pakeistos tokiais koeficientais:

$$c_1 = \frac{\partial P}{\partial \delta} ; \quad (10)$$

$$c_2 = \frac{\partial E_{q1}}{\partial \delta} ; \quad (11)$$

$$c_3 = \frac{\partial U_G}{\partial \delta} ; \quad (12)$$



2 pav. Sinchroninio generatoriaus AŽR sistemos struktūrinė schema

$$b_1 = \frac{\partial P_{el}}{\partial E_q}; \quad (13)$$

$$b_2 = \frac{\partial U_G}{\partial E_q}. \quad (14)$$

$i=1, \dots, m$ diskretines vertės valdymo intervale $t_0 \leq t \leq t_f$, kai $t_0=0$, įvedamas k – matis vektorius:

$$x = \{x_1 = \beta_1[0], x_2 = \beta_1[1T], \dots, x_{k-1} = \beta_m[(r-2)T], x_k = \beta_m[(r-1)T]\}; \quad (16)$$

Sinchroninio generatoriaus dinaminė galios charakteristika išreiškiama taip:

$$P_{E_q} = \frac{E_q u}{x_{d\Sigma}} \sin \delta - \frac{u^2}{2} \frac{(x_d - x'_d)}{x_{d\Sigma} x'_{d\Sigma}} \sin 2\delta; \quad (15)$$

čia $x_{d\Sigma}$ – suminė induktyvioji varža; x'_d – sinchroninė išilginė varža, sąlygojama žadinimo srovės laisvosios dedamosios.

Generatoriaus kampinė charakteristika ir stabilaus darbo zona parodytos 3 pav.

Galimi apkrovos kampo δ kitimo laikui bėgant atvejai parodyti 4 pav.

Naudojant programų paketą *Kvazio1*, kompiuteriu buvo apskaičiuoti sistemos pereinamieji procesai stabilizuojant polinkio kampą (5 pav.).

Kaip jau buvo minėta, žadinimo srovei reguliuoti gali būti panaudota adaptyvioji stabilizavimo sistema su kintamos struktūros regulatoriumi (6 pav.). Šiuo atveju formuluojant kintamos struktūros valdymo sistemos sintezės uždavinį, reikia rasti parametru β_i , nuo kurių priklauso regulatoriaus struktūra, kitimo dėsnius [10,11]. Tam tikslui, panaudojant vektorius β komponentų β_i ,

čia $T=t_f/r$ – kvantavimo periodas; $k = mr$.

Kadangi vektorius x sudaro parametru β_i kitimo dėsnį $\beta(x, t)$ intervale $t_0 \leq t \leq t_f$, kintamos struktūros sistemos uždavinį galima suformuluoti paieškinės optimizacijos būdu. Reikia surasti tokį vektorių x^* , kuris užtikrintų funkcionalo

$$J(x) = J[y, \beta(x, t)]; \quad t_0 \leq t \leq t_f \quad (17)$$

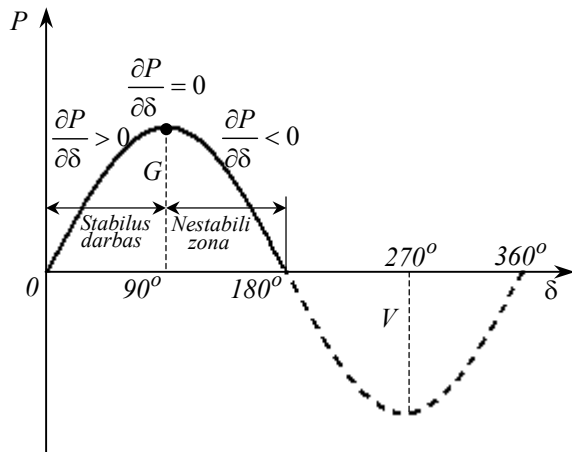
minimumą, laikantis apribojimų

$$h_i[y, \beta(x, t)] = 0; \quad i = 1, \dots, p < k; \quad (18)$$

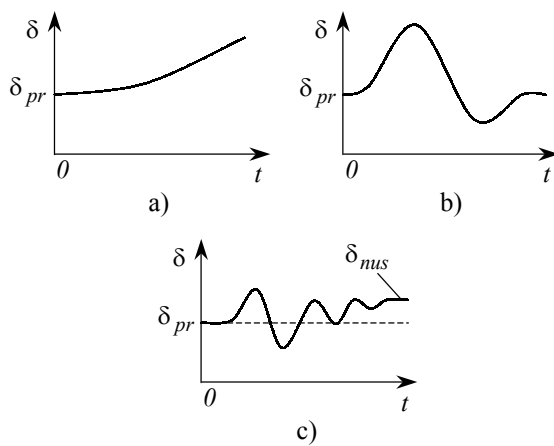
$$g_j[y, \beta(x, t)] \leq 0; \quad j = 1, \dots, p; \quad (19)$$

$$x \in \Omega_x; \quad (20)$$

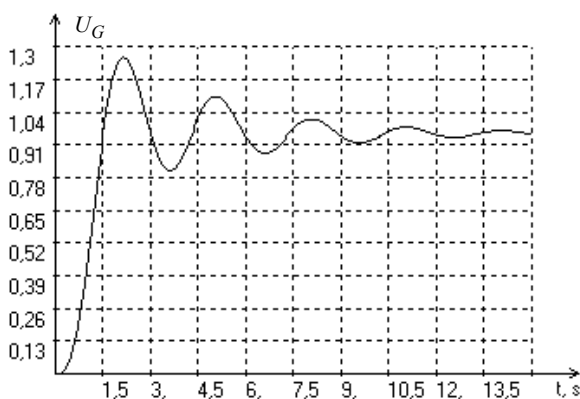
čia J, h, g – valdymo kokybės rodikliai (reguliuojamo laikas t_r , maksimalus dinaminis nuokrypis σ , valdymo paklaida Δy ir kt.).



3 pav. Synchroninio generatoriaus kampinė charakteristika



4 pav. Synchroninio generatoriaus apkrovos kampo kitimo laikui bėgant grafikai: a) – synchronizmo praradimas giles avarijos metu; b) – kampo švytavimas ties stabilumo riba; c) – kampo švytavimai, kai nusistovi nauja kampo reikšmė



5 pav. Synchroninio generatoriaus AŽR sistemos pereinamasis procesas

Paieškinės optimizacijos uždavinys (16)-(20), taikant baudos funkcijų metodą, gali būti užrašytas paprastesne forma:

$$I_1[x] = I(x) + \sum_{i=1}^p \Psi_i h_i^2[y, \beta(x, t)] - \sum_{j=1}^q \varphi_j g_j[y, \beta(x, t)] \{1 - \text{sign } g_j[y, \beta(x, t)]\}; \quad (21)$$

$$x \in \Omega_x; y \in \Omega_y; \quad (22)$$

čia Ψ_i – svorio koeficientai.

Kai valdymo objektą veikia įvairūs kontroliuojami, bet nevaldomi trikdžiai arba tiesiog kinta objekto parametrai (pavyzdžiui, $\partial P / \partial \delta$, $\partial U_G / \partial \delta$ ir t.t.), nuo kurių priklauso išėjimo signalas, regulatoriaus sintezės efektyvumą galima padidinti taikant aktyvios-pasyvios (kombinuotos) simpleksinės paieškos algoritmą [11, 12]. Šiuo atveju paieškinės optimizacijos metu atliekama lokalinė tikslo funkcijos aproksimacija separabile lygtimi:

$$\hat{J}(x, z) = \sum_{i=1}^k a_{in} f_i(x) + \sum_{i=1}^e b_{in} \varphi_i(z); \quad (23)$$

čia a_{in} , b_{in} – nuo paieškos žingsnio n priklausantys koeficientai; $f_i(x)$, $\varphi(z)$ – duotos funkcijos.

Atliekant paieškos žingsnį, naudojamos sukoreguotos tikslo funkcijos reikšmės paskutinio simplekso viršūnėse

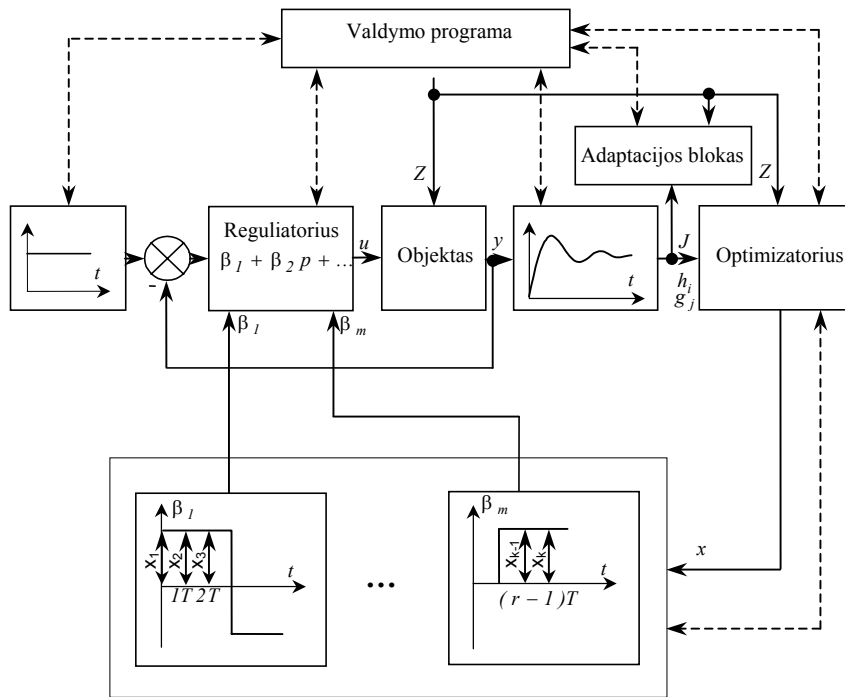
$$E_j = J_j - \sum_{i=1}^e b_{in} \varphi(z_j), \quad j = 1, \dots, k+1. \quad (24)$$

Taigi, naudojantis informacija apie kontroliuojamų trikdžių ir parametų pokyčius galima pašalinti paieškos krypties paklaidą, kuri yra z_i kitimo rezultatas.

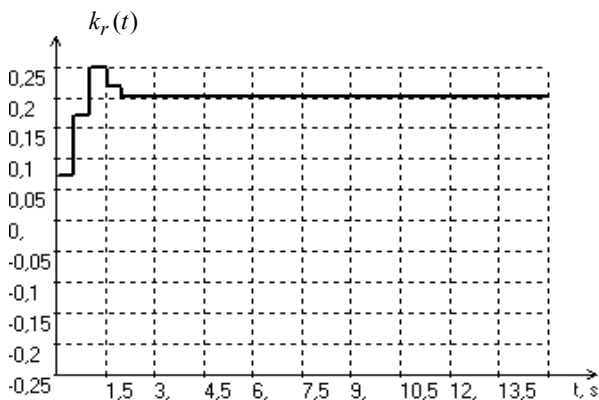
Kombinuotos simpleksinės paieškos adaptyvaus algoritmo realizacija (parametų z_i prognozė, parametų a_{in} , b_{in} skaičiavimas [11] ir kt.) atliekama naudojant einamąją informaciją apie sistemos parametrus ir būseną.

Visi sistemų sintezės uždaviniai, sudaryti (16)-(20) ir (21), (22) lygčių forma, tarp jų naudojant informaciją apie kontroliuojamus parametrus z_i , sprendžiami taikant programų paketą Kvazio 1 [16] (6 pav.), į kurio sudėtį įeina simpleksinės paieškos algoritmo programos (optimizatorius) [11], sistemos parametų, valdymo poveikių formavimo, objekto modeliavimo, valdymo kokybės rodiklių ir adaptavimo programos.

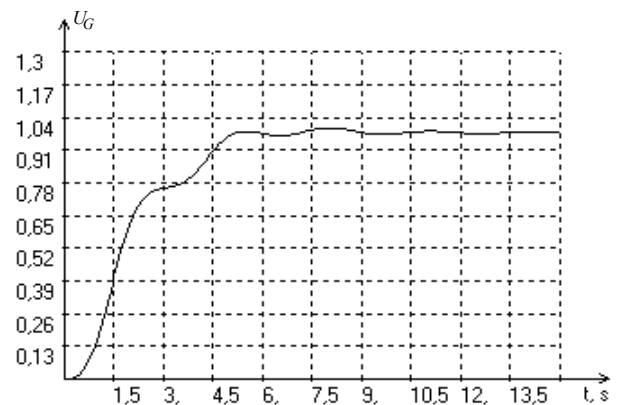
Pagal pateiktą metodiką, panaudojant paketą Kvazio 1 generatoriaus AŽR sistemai, parodytai 2 pav., buvo formuojami stiprinimo grandies koeficiento $k_r(t)$ ir diferencijavimo grandies stiprinimo koeficiento $k_d(t)$ kitimo dėsniai. Jie pateikti atitinkamai 7 ir 8 paveiksluose. Programų paketu apskaičiuotas generatoriaus įtampas pereinamasis procesas parodytas 9 paveiksle.



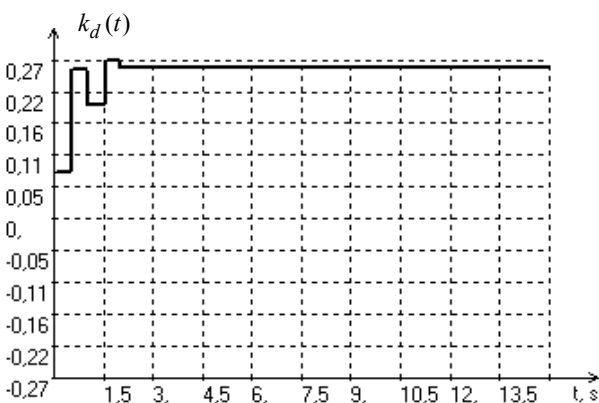
6 pav. Sinchroninio generatoriaus adaptyviosios žadinimo reguliavimo sistemos sintezės schema



7 pav. Proporcinės grandies stiprinimo koeficiento kitimo dėsnis



9 pav. Pereinamasis AVS su kintamais parametrais procesas



8 pav. Diferencijavimo grandies stiprinimo koeficiento kitimo dėsnis

Išvados

Išanalizuota sinchroninio generatoriaus žadinimo reguliavimo sistema.

Sinchroninio generatoriaus AŽR sistemai sudaryti taikomi algoritminiai kintamos struktūros sistemų sintezės metodai.

Tyrimų rezultatai rodo, kad algoritminiais sistemų sintezės metodais galima rasti artimus optimaliems reguliatoriaus struktūros kitimo dėsnius, netgi tais atvejais, kai matematinis modelis sudėtingas ar netikslus, t.y. kai klasikinių kintamos struktūros ir optimalaus valdymo sistemų sintezės metodų taikyti neįmanoma.

Literatūra

1. Chown G. A., Hartman R. C. Design and Experience with a Fuzzy logic Controller for Automatic Generation control //

- IEEE Trans. on Power Systems.–1998.–Vol. 13, Nr. 3. –P. 202-208.
2. **Ho Dac Loc.** Adaptive fuzzy logic control of nonlinear dynamic systems // Preprints EURASIP. –Budapest, Hungary, 2001. –P. 1-11.
 3. **Narendra K. S.** Advances in adaptive control. – New York: IEEE press, 1991. –410 p.
 4. **Коломейцева М. Б., Хо Дак Лок.** Синтез адаптивной системы автоматического регулирования возбуждения синхронного генератора на основе фаззи-регулятора // Электричество. –2002. –№ 6. –С. 13–15.
 5. **Коломейцева М. Б., Митрофанов В. Е., Пихлецкий В. В.** Система регулирования частоты и напряжения мини-ГЭС с помощью ЭВМ // Электричество. –1998. –№7. –С.27–32.
 6. **Домбровский В. В., Коломейцева М. Б., Орахелашвили Б. М.** Моделирование гидродинамических процессов малой ГЭС для задачи управления частотой гидроагрегата // Электрические станции. –2002. –№ 2. –С. 37-44.
 7. **Dorf R. C.** Modern control systems. –Addison-Wesley, London, 1990.–P. 603.
 8. **Ogata K.** Modern Control Engineering. –New Jersey: Prentice Hall, International, Inc., 1997. –P. 404–410.
 9. **Daunoras J., Januškevičius V. S.** Vienas reguliatorių sintezės principas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2002. – Nr. 5(40). – P. 65-67.
 10. **Растринин Л. А.** Адаптация сложных систем. –Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.
 11. **Dambrauskas A.** Simpleksinės paieškos metodai. –Vilnius: Technika, 1995. –230 p.
 12. **Dambrauskas A.** Automatinių valdymo sistemų optimizacijos uždaviniai // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2001. – Nr. 5(34). – P. 59-66.
 13. **Глебов И. А.** Системы возбуждения мощных синхронных машин. – Ленинград: Наука, 1979. –314 с.
 14. **Федоров В. Ф., Воробей В. К.** Безщелочные системы возбуждения мощных синхронных машин // Сб. научн. тр. – Ленинград: ВНИИЭЛЕКТРОМАШ, 1986. –172 с.
 15. **Веников В. А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах.– Москва: Высшая школа, 1985. –536 с.
 16. **Dambrauskas A., Šulskis D.** Kvazioptimalių ir kintamos struktūros sistemų sintezės programinė įranga. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2002. –64 p.

Pateikta spaudai 2003 03 28

A. Dambrauskas, B. Karaliūnas, D. Šulskis. Synchroninio generatoriaus adaptyviosios žadinimo reguliavimo sistemos sintezė // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas : Technologija, 2003. – Nr. 5(47). – P. 31-37.

Nagrinėjamos galingų sinchroninių generatorių, dirbančių bendroje energetikos sistemoje, naujos perspektyvios žadinimo sistemos, pateikta jų klasifikacija ir funkcinė schema. Atsižvelgiant į bendrąsias prielaidas, sudaryta žadinimo sistemos, kaip automatinio reguliavimo objekto, diferencialinių lygčių sistema, gautos perdavimo funkcijos ir struktūrinė schema. Parodyta, kad sunkių avarinių situacijų atvejais energetikos sistemoje vykstančių elektromechaninių pereinamųjų procesų matematinis aprašymas yra gana sudėtingas ir ribotas. Tokiais atvejais žadinimo srovės reguliatoriaus sintezės efektyvumą galima padidinti taikant kombinuotos simpleksinės paieškos metodus, kai lokalinė tikslo funkcija optimizacijos metu aproksimuojama separabile lygtimi. Pagal gautas išraiškas sudaryta generatoriaus adaptyviosios žadinimo reguliavimo sistemos sintezės schema su adaptavimo ir optimizavimo blokais, kurie leidžia išvengti paieškos krypties paklaidos. Il. 9, bibl. 16 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

A. Dambrauskas, B. Karaliūnas, D. Šulskis. Synthesis of Adaptive Excitation System of Synchronous Generator // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas : Technologija, 2003. – No. 5(47). –P. 31-37.

A new perspective excitation systems of powerful synchronous generators, which are operating in the common energetic system, are considered, their classification and function diagram are presented. The differential equations system, transfer functions and structural diagram of excitation system, as the automatic regulation object, were obtained according to general presumptions. In the cases of deep crashes in the energetic system the mathematical description of electromechanical transient processes are very complicated and limited. In that cases the efficiency of the excitation current regulator one can be increased by using the combined algorithms of the simplex search, when the local aim function in the optimization motion approximate by separable equation. According to obtained expressions the synthesis diagram with adaptation and optimization blocks is created. The proposed adaptive synthesis diagram enables to eliminate the error of search direction. Ill. 9, bibl. 16 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

А. Дамбраускас, Б. Каралюнас, Д. Шульскис. Синтез адаптивной системы регулирования возбуждения синхронного генератора // Электроника и электротехника. – Каунас : Технология, 2003. – №. 5(47).–С. 31-37.

Рассматриваются новые перспективные системы возбуждения мощных синхронных генераторов, работающих в единой энергетической системе, представлена их классификация и функциональная схема. С учетом общепринятых допущений составлена система дифференциальных уравнений системы возбуждения, как объекта автоматического регулирования, получены передаточные функции и структурная схема. Показано, что математическое описание переходных электромеханических процессов, протекающих в энергетической системе во время глубоких аварийных ситуаций, достаточно сложно и, кроме того, ограничено. В таких случаях эффективность синтеза регулятора тока возбуждения генератора возможно повысить применением комплексных алгоритмов симплексного поиска, когда локальная функция цели во время оптимизации аппроксимируется сепарабельным уравнением. Согласно полученным выражениям составлена схема синтеза адаптивной системы регулирования возбуждения генератора, в которую включены блоки адаптации и оптимизации. Эти блоки позволяют исключить погрешность направления поиска. Ил. 9, библи. 16 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

