

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Tomas Viržintas

**Mechatroninių vykdymo sistemų adaptyvių
valdymo algoritmų tyrimas**

Magistro darbas

Vadovas

prof.habil.dr. V. A. Geleževičius

Šiauliai, 2005

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

doc.dr. T.Šimkevičius

2005 06

**Mechatroninių vykdymo sistemų adaptyvių
valdymo algoritmų tyrimas**

Magistro darbas

Vadovas

prof.habil.dr. V. A. Geleževičius

2005 06

Atliko

EM-3 gr.stud.

Recenzentas

2005 06 06

T. Viržintas

2005 06

Šiauliai, 2005

Summary

Efficiency of the model reference based adaptive control systems is investigated and discussed in this master degree work. The main goal of this work was to evaluate and compare the performance characteristics of two widely used in mechatronics adaptive control approach – adaptive control approach based on controller parameters automatic adjustment (parameter adaptive approach) and adaptive control approach based on compensating control signal generation (signal adaptive control). Investigations were carried out on the model of the second order electromechanical velocity control system, realized with help of matlab/simulink software. Transmittance of the reference model is coincident with transmittance of conventional hierarchically arranged velocity control system, adjusted in respect of quantitative optimum conditions.

The rapidity of adaptation process in the case of velocity controller detune or control object parameters change, the limits and velocity of system parameters drift and influence of external load on adaptation process were investigated for both – parameter adaptive and signal adaptive control systems cases. For obtaining of continue adaptation process, the harmonious reference and loading signals were applied on the system. The system parameters change was also modeled in harmonious mode.

The modeling results allow comparing the performance characteristics of these both adaptive control methods. It was demonstrated in this work that signal adaptive control method ensures instantaneous compensation either drifted parameters or arisen load compensation. Parameter adaptive approach needs some time for controller parameters readjustment so it is slower the signal adaptation method one. The limits of system parameters possible change were defined too for both adaptive control systems.

On the basis of investigation results the corresponding conclusions are made.

Turinys

Įvadas.....	(5)
1. Adaptyvaus valdymo samprata, adaptyvaus valdymo taikymo ypatumai mechatroninėse sistemose:	
1.1 Adaptyvaus valdymo principų apžvalga	(6)
1.2 Adaptyvaus valdymo taikymo mechatroninėse judesių valdymo sistemose ypatumai	(8)
1.3 Parametrinės ir signalinės adaptacijos metodų apibudinimas.....	(11)
2. Parametrinės adaptacijos algoritmai:	
2.1 Parametriškai adaptyvios proporcinės greičio reguliavimo sistemos modelio sudarymas.....	(15)
2.2 Parametriškai adaptyvios greičio reguliavimo sistemos tyrimas:	
2.2.1 Adaptacijos proceso greičio tyrimas	(21)
2.2.2 Parametro kitimo greičio ir kitimo diapazono tyrimas.....	(27)
2.2.3 Išorinio poveikio (apkrovos) įtakos tyrimas	(30)
3. Signalinės adaptacijos algoritmai; jų modeliavimas ir tyrimas	
3.1 Sistemos adaptacijos principu veikiančios proporcinės greičio reguliavimo sistemos modelio sudarymas.....	(32)
3.2 Signalinės adaptacijos principu veikiančios greičio reguliavimo sistemos tyrimas:	
3.2.1 Adaptacijos proceso greičio tyrimas	(33)
3.2.2 Parametro kitimo greičio ir kitimo diapazono tyrimas.....	(37)
3.2.3 Išorinio poveikio (apkrovos) įtakos tyrimas	(40)
4. Ištirtųjų adaptyvaus valdymo metodų palyginimas ir darbo rezultatų apibendrinimas.....	(42)
Literatūra.....	(44)

Ivadas

Tipinės pramoninės automatikos sistemos derinamos darant prielaidą, kad valdymo objektai ir jų darbo sąlygos yra determinuoti, jų parametrai yra žinomi ir nekinta laike. Tačiau tikrovėje susiduriama su objektais, kurių parametrai, kad ir nežymiai, tačiau kinta, keičiasi jų darbo sąlygos, dėl to blogėja valdymo kokybė.

Žodis „adaptuoti“ reiškia priderinti, t.y. keisti proceso eigą susidarius naujoms aplinkybėms. Išsiderinę komponentai dėl trinties, histerezės, įsisotinimo, laiko užlaikymų ir kitų faktorių yra svarbūs pramoninių įrenginių kontrolei. Tokie išsiderinimai yra nepastebimi ir gali laikui einant keisti (bloginti) pramoninių įrenginių darbo kokybę.

Adaptyvaus valdymo principų taikymas – tai efektyvi priemonė tobulinant elektros pavarų, o tuo pačiu ir daugelio mechanizmų valdymo kokybę. Visų pirma tai liečia mechanizmus, kurie turi formuoti pageidaujamas, iš anksti apskaičiuotas kelio, greičio, pagreičio trajektorijas nepriklausomai nei nuo apkrovos pobūdžio, nei nuo kitų priežasčių, kurias sunku numatyti arba įvertinti. Pavyzdžiui, komfortiško lifto pavara turi formuoti optimalias kabinos išibėgėjimo ir stabdymo trajektorijas, apibūdinamas nustatytomis greičio, pagreičio bei pagreičio išvestinės reikšmėmis nepriklausomai nuo to, kiek keleivių yra kabinoje; pramoninio roboto manipuliavimo kokybė neturi priklausyti nuo jo „rankų“ padėties ir nuo perkeliamų krovinių masės ir pan. Tokių mechanizmų valdymo kokybė apibūdinama dinaminių mechanizmo charakteristikų atitikimu nustatytoms, vienokiu ar kitokiu požiūriu optimaliomis charakteristikomis. Adaptyvaus valdymo principų taikymo galimybės labai priklauso nuo proceso pobūdžio. Lėtuose (šiluminiuose, biotechnologiniuose ir pan.) procesuose galima diegti sudėtingus objektų identifikavimo metodus ir taip valdymo metu sekti objektų parametrų kitimą ir atitinkami į tai reaguoti. Greituose (šiuolaikinės objektų greičio, padėties valdymas) procesuose, tam nėra laiko, todėl tenka naudoti netiesioginius objekto parametrų kitimo įvertinimo metodus. Plačiausiai paplitęs etaloninio modelio metodas, kuris paplito kuriant adaptyvias elektromechanines vykdymo sistemas.

Darbe analizuojama tradicinė elektromechaninė greičio reguliavimo sistema. Lyginamos adaptyvios pavarų valdymo sistemos, taikant efektyvius adaptyvaus valdymo modelius, paremtus parametrinės adaptacijos ir signalinės adaptacijos principu. Nustatomi šių metodų ypatumai ir įvertinamos jų taikymo galimybės.

1. Adaptyvaus valdymo samprata, adaptyvaus valdymo taikymo ypatumai mechatroninėse sistemose

1.1 Adaptyvaus valdymo principų apžvalga

Kuriant adaptyvias elektros pavarų valdymo sistemas, remiamasi bendrais adaptyvių automatinio valdymo sistemų principais. Kad adaptyvi valdymo sistema funkcionuotų, reikia nuolat identifikuoti valdymo objektą (matuoti jo parametrus) ir, remiantis šia informacija, perderinti reguliatorius arba formuoti valdymo signalus taip, kad valdymo kokybė tenkintų keliamus reikalavimus (Geleževičius V., Krikščiūnas K., Kubilius V., 1990). Elektros pavaros valdymo sistemos valdymo objektas – jos jėgos grandinė: galios keitiklis, variklis ir mechanizmas. Kintamieji parametrai gali būti: galios keitiklio stiprinimo koeficientas, kintant darbo taškui, variklio elektromechaninė laiko konstanta, kintant žadinimo srautui, mechanizmo inercijos momentas arba masė, kintantys keičiantis kroviniui ir t.t.

Tikslas – ištirti ir palyginti skirtingai veikiančių parametrinės ir signalinės adaptacijos sistemų galimybes. Viena iš didžiausių problemų, su kuriomis susiduriama sudarant adaptyvias pavarų valdymo sistemas – tai valdymo objekto identifikavimas, kuris turi vykti pavaroje vykstančių procesų tempu. Identifikavimo metodai, paremti objekto dažnių ar perėjimo charakteristikų matavimų, sudarant adaptyvias pavarų valdymo sistemas, daugiausia yra nepriimtini, nes reikia į sistemą įvesti papildomus signalus arba atlikti sudėtingus matavimus. Kadangi elektros pavaros valdymo sistemos paskirtis – garantuoti pastovią valdymo kokybę, apibudinama tokiais pereinamojo proceso rodikliais, kuriais pasižymi tam tikslui optimaliai suderinta pavara, kai valdymo objektą galima identifikuoti lyginant elektros pavaros pereinamąsias charakteristikas su etaloninėmis, atitinkančiomis pageidaujamą valdymo kokybę. Etaloninėms pereinamosioms charakteristikoms gauti naudojami etaloniniai modeliai.

Etaloniniai modeliai sudaromi visai elektros pavarai ar jos valdymo objektui, kurio parametrus reikia identifikuoti. Etaloniniai modeliai gali būti nederinamieji arba derinamieji. Nederinamieji etaloniniai modeliai sudaromi taip, kad jų pereinamosios charakteristikos atitiktų pageidaujamas pavaros charakteristikas, esant tam tikroms valdymo objektų kintamų parametru reikšmėms. Kintant valdymo objekto parametrams, nederinamojo etaloninio modelio ir elektros pavaros reakcija į tą patį valdymo signalą ima nebesutapti. Derinamieji etaloniniai modeliai naudojami valdymo objekto nestacionarių parametru reikšmėms nustatyti. Kintant valdymo objekto parametrams, apie ką byloja nuokrypa ϵ , keičiami ir etaloninio modelio parametrai taip, kad ši nuokrypa artėtų prie nulio. Adaptyvioje valdymo sistemoje, sudarytoje parametrinės adaptacijos principu, kintant valdymo objekto parametrams, keičiami reguliatorių parametrai taip, kad valdymo

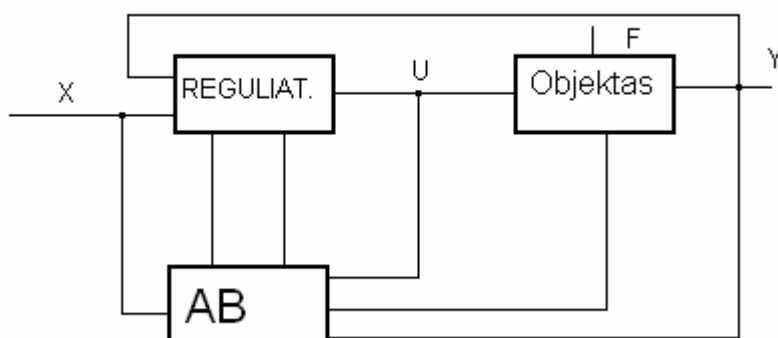
kokybė nepakistų. Naudojant signalinės adaptacijos principą, adaptacijos blokas formuoja papildomo valdymo signalą, kuris veikia reguliatoriaus įėjime ir garantuoja pastovią valdymo kokybę, kintant valdymo objekto parametrams.

Uždavinys: Ištirti parametrinės adaptacijos ir signalinės adaptacijos sistemų adaptavimosi greitį. Nustatyti šioms sistemoms maksimalų leistiną nestabilaus parametro kitimo greitį ir jo diapazoną. Įvertinti sistemoms išorinių faktorių įtaką.

1.2 Adaptyvaus valdymo principo taikymo mechatroninėse judesių valdymo sistemose ypatumai

Adaptyviomis yra vadinamos tokios automatinio valdymo sistemos, kurių valdymo poveikių parametrai ar valdymo algoritmai automatiškai ir kryptingai keičiasi, siekiant geriausio tam tikra prasme valdymo rezultato. Valdymo objekto charakteristikos ar išorinių poveikių pobūdis gali keistis iš anksto nežinoma kryptimi.

Charakteringas adaptyvių valdymo sistemų požymis yra tas, kad jų veikimas yra paremtas nuolatiniu informacijos apie objektą papildymu valdymo proceso bėgyje (Geleževičius V., Krikščiūnas K., Kubilius V., 1990., Уидроу Б., Стириз С.,1989). Apie informacijos pilnumą ir jos kokybę galima spręsti remiantis tam tikrais kokybės kriterijais. Tad adaptyvios valdymo sistemos gaunamos papildant tipines stabilizacijos ar programinio valdymo principais veikiančias automatinio valdymo sistemas papildomos informacijos gavimo ir tiekimo įtaisais, sudarančiais adaptacijos kontūrus. Tipinė adaptyvios valdymo sistemos struktūrinė schema pavaizduota (1.2.1 pav.).



1.2.1 pav. Adaptyvios valdymo sistemos struktūrinė schema

Adaptacijos blokas AB keičia reguliatoriaus parametrus ar formuoja papildomus valdymo poveikius jo įėjime, priklausomai nuo papildomos informacijos apie valdymo objektą, gautos valdymo proceso metu.

Nežiūrint į tai, kad įvairius adaptyvaus valdymo principus ir realizacijas yra ne lengva tiksliai suklasifikuoti, jau dabar visas adaptyvaus valdymo sistemas galima suskirstyti į dvi stambias klases:

Apsimokančios sistemos - tai tokios sistemos, kuomet papildoma informacija apie objektą gaunama apmokant reguliatorius, kai valdymo algoritmus koreguoja žmogus-operatorius ar speciali sistema, iš anksto, pagal tam tikrus požymius, parinkdama kiekvienam atvejui tam tikrą optimalų valdymo algoritmą;

Susiderinančios sistemos - tai tokios sistemos, kurios pagal tam tikrą informaciją apie valdymo objektą keičia reguliatorių derinimo parametrus ar formuoja papildomus, koreguojančius valdymo poveikius.

Pateiktoji 2.1 paveiksle funkcinė schema kaip tik ir atspindi susiderinančios adaptyvios valdymo sistemos struktūrą. Tai plačiau paplitęs adaptyvių valdymo sistemų realizavimo būdas, todėl šiame kurse ir apsiribosime tik susiderinančių adaptyvaus valdymo principų taikymo pavarų valdymo sistemose analize.

Susiderinančių adaptyvaus valdymo sistemų funkcionavimo kokybę lemia reguliatoriaus derinimo parametrų atitikimo optimaliems kintančių objekto parametrų ar išorinių sąlygų aplinkoje laipsnis. Šį atitikimo laipsnį galima nustatyti pasirinkus vienokį ar kitokį kriterijų, įgyjantį ekstremalią (minimalią ar maksimalią) reikšmę esant optimaliai suderintiems reguliatoriams. Toks kriterijus, pavyzdžiui, gali būti išreiškiamas kaip nuokrypio tarp etaloninio ir realaus proceso reikšmių kvadratas:

$$F(\varepsilon) = \frac{1}{2} \varepsilon^2 \quad (1.2.1)$$

čia $\varepsilon = y_\varepsilon - y$ - nuokrypio signalas; y_ε - etaloninė valdymo koordinatės reikšmė; y - išmatuotoji jos reikšmė. Kaip matyti iš (2.1), artėjant reguliatoriaus parametrams ar valdymo poveikiui prie optimalių verčių, kriterijus $F(\varepsilon) \rightarrow 0$.

Susiderinančias adaptyvaus valdymo sistemas, pagal jų veikimo principą taip pat galima suskirstyti į dvi klases: tai susiderinančios sistemos su kriterijaus ekstremumo paieška ir bepaieškinės adaptyvaus valdymo sistemos.

Paieškinių susiderinančių adaptyvaus valdymo sistemų pagrindinis trūkumas yra tas, kad jos yra palyginti lėtos. Todėl paieškinių adaptyvaus valdymo algoritmų taikyti dinaminėse elektros pavarų valdymo sistemose praktiškai negalima. Todėl mes apsisistosime ties bepaieškinėmis elektros pavarų adaptyvaus valdymo sistemomis, kai papildoma informacija apie valdymo objektą gaunama pasitelkiant etaloninius modelius, formuojančius etalonines dinamines sistemos charakteristikas.

Etaloniniai modeliai gali būti sudaromi visai valdymo sistemai ar tik tai jos daliai, kurios parametrai laiko bėgyje keičiasi. Pavyzdžiui, greičio reguliavimo sistemos etaloniniu modeliu gali būti dinaminė antros eilės grandis, tenkinanti kiekybinio (techninio) optimumo sąlygas, su perdavimo funkcija

$$H_e(p) = \frac{1}{8T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p + 1} \quad (1.2.2)$$

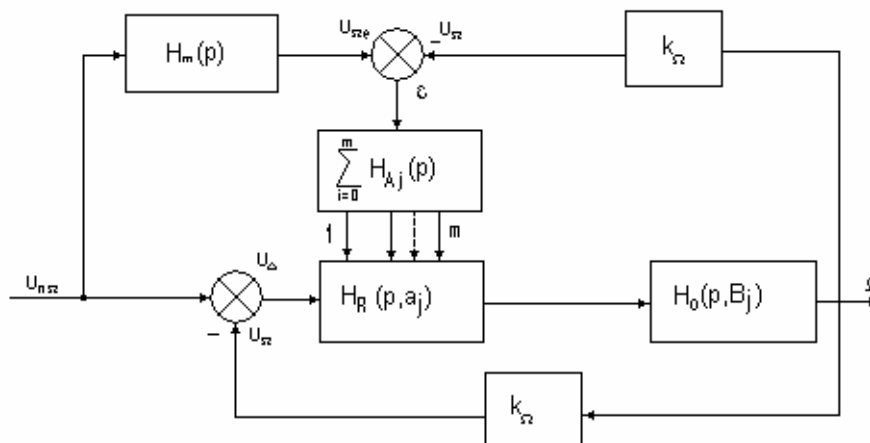
čia T_{μ} - tai bazinė valdymo objekto (galios keitiklio) laiko pastovioji.

Etaloninius modelius galima naudoti dviem tikslams realizuoti. Pirmasis tikslas - tai objekto parametrų išsiderinimo laipsnio nustatymas, kurį galima įvertinti lygindami realaus objekto ar visos sistemos ir etaloninio modelio reakciją į tą patį valdymo poveikio signalą ir formuodami nuokrypio signalą $\varepsilon = y_{\varepsilon} - y$.

Antrasis tikslas - panaudoti etaloninį modelį valdymo objekto kintamiems parametrų identifikuoti. Šiuo atveju reikia naudoti derinamuosius modelius. Tai tokie modeliai, kurių parametrus galima keisti, siekiant kad modelio parametrai sutaptų su objekto parametrais. Suderinus modelį ir žinant jo parametrus galima įvertinti stebimo objekto kintančias parametrų reikšmes .

1.3 Parametrinės ir signalinės adaptacijos metodų apibūdinimas

Adaptyvios pavaros su etaloniniu modeliu, sudarytos naudojant *parametrinės adaptacijos* principą, struktūrinė schema atvaizduota (1.3.1 pav.). Pavarą sudaro du kontūrai – pagrindinis ir adaptacijos. Pagrindinis kontūras susideda iš valdymo objekto – pavaros dalies su kintančiais laiko bėgyje parametrais $\beta_i (i=1,2,\dots,n)$, atvaizduoto perdavimo funkcija $H_0(p,\beta_i)$, reguliatoriaus $H_R(p,a_j)$ su derinamais parametrais $a_j (j=1,2, \dots, m)$ ir pagrindinio greičio grįžtamojo ryšio k_Ω .



1.3.1 pav. Parametrinės adaptacijos principu veikianti adaptyvi valdymo sistema

Pagrindinį valdymo kontūrą sudaro valdymo objektas su perdavimo funkcija $H_0(p,\beta_i)$, reguliatorius su automatiškai derinamais parametrais $H_R(p\alpha_j)$, ir greičio grįžtamojo ryšio k_Ω . Reguliatoriaus parametrams derinti naudojamas adaptyvaus valdymo blokas, turintis tiek valdymo kanalų, kiek yra derinamųjų parametru. Šio bloko įėjime veikiantis valdymo signalas ε tai nuokrypis tarp etaloninio greičio signalo $U_{\Omega e}$ ir realaus greičio signalo.

Pagrindiniai parametrinės adaptacijos realizavimo sąlyga yra ta, kad reguliatoriaus parametru derinimo sritis turi perdengti objekto parametru kitimo sritį, t.y. turi galioti sąlyga, kad esant objekto parametru kitimo sričiai, apibrėžtai sąlygai

$$\beta_{\min} \leq \beta_i \leq \beta_{\max} \quad \forall j \in (1, n), \quad (1.3.1)$$

egzistuoti reguliatoriu parametru derinimo sritis

$$a_{\min} \leq a_i \leq a_{\max} \quad \forall i \in (1, m), \quad (1.3.2)$$

garantuojanti optimalų sistemos darbo režimą. Adaptyvios pavaros valdymo sistemos sintezę galima vykdyti tokiais etapais:

1. Laikant valdymo objekto parametrus β_i pastoviais ir lygiais tam tikromis (vidutinėmis) reikšmėmis, nustatomi regulatoriaus parametrai a_i taip, kad pagrindinio kontūro valdymo kokybė, kurią apibudina pereinamasis procesas

$$u_{\Omega e} = L^{-1} \left\{ \frac{H_R(p, a_{j0}) H_0(p, \beta_{i0}) k_{\Omega}}{1 + H_R(p, a_{j0}) H_0(p, \beta_{i0}) k_{\Omega}} U_{n\Omega}(p) \right\}, \quad (1.3.3)$$

tenkintų keliamus reikalavimus; čia $H_0(p, \beta_{i0})$ – valdymo objekto perdavimo funkcija, esant fiksuotoms kintamųjų parametrų reikšmėms ($\beta_i = \beta_{i0}$); $H_R(p, a_{j0})$ – regulatoriaus perdavimo funkcija, kai jis suderintas ($a = a_{j0}$), laikantis pageidaujamos valdymo kokybės reikalavimų, $L^{-1}\{\}$ – atvirkštinės Laplaso transformacijos simbolis. Kai pagrindinis adaptacijos valdymo sistemos kontūras yra pavaros greičio reguliavimo kontūras, tai valdymo kokybė dažnai apibudinama techninio optimumo sąlyga.

2. Laikant (1.3.3) procesą etaloniniu, sudaromas etaloninis modelis, tenkinantis sąlygą:
- 3.

$$u_{\Omega e} = L^{-1} \{ H_M(p) U_{n\Omega}(p) \} \quad (1.3.4)$$

čia $H_M(p)$ – etaloninio modelio perdavimo funkcija.

4. Valdymo objekto išsiderinimo laipsniui nustatyti pasirenkamas kokybės kriterijus $F(\varepsilon)$, (1.2.1) pavidalo.
5. Parenkamas adaptacijos kontūro veikimo algoritmas, sudaroma jo struktūra ir parenkami parametrai taip, kad adaptacijos procesas vyktų stabiliam, o jam pasibaigus būtų tenkinama sąlyga $\varepsilon = 0$.

Pagalbinių operatorių metodu sintezuojant adaptyvų regulatoriaus perdavimo koeficiento reguliavimo kanalą, gauta tokia regulatoriaus stiprinimo koeficiento priklausomybė nuo nuokrypos signalo ε ir U_{Δ} :

$$K_R = \lambda_1 \cdot \int \varepsilon \cdot L^{-1} \left\{ H_M(p) \cdot U_{\Delta}(p) \cdot \frac{1}{K_R} \right\} dt; \quad (1.3.5)$$

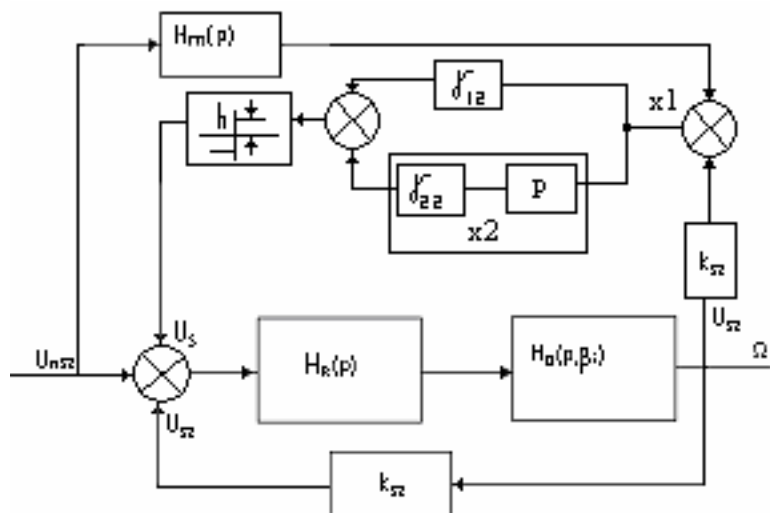
Čia: λ_1 – adaptacijos greitis, parenkamas išeinant iš proceso stabilumo sąlygos; $U_{\Delta}(p)$ – greičio reguliavimo kontūro nuokrypio operatorinis atvaizdas.

Iš (1.3.5) matyti, kad kanalą sudaro integratorius, daugybos blokas ir jau minėta schemos dalis, atvaizduojama pagalbiniais operatoriais $H_{po}^{(u)}(p)$. Pagalbinio operatoriaus išėjime veikia nustatymo signalas $U_{n\Omega}(p)$, o jo išėjimo signalas paduodamas į vieną iš dauginimo bloko įėjimų. Į antrąjį daugybos bloko įėjimą paduodama nuokrypa ε , o suintegravus daugybos bloko išėjimo signalas yra lygus reikiamai regulatoriaus parametro K_R reikšmei. Adaptacijos greitį sąlygojantis koeficientas λ_j turi būti parenkamas taip, kad adaptavimo procesas būtų stabilus.

Naudojant šį metodą reikia, kad būtų išpildytos sąlygos, išplaukiančios iš nagrinėjant priimtų prielaidų:

1. Reguliatorių parametrai α_j turi būti derinami didesniu greičiu, negu kinti objekto parametrai β_j ;
2. Objekto parametrai turi kisti žymiai lėčiau, negu vyksta pereinamieji procesai pagrindinėje sistemoje ir etaloniniame modelyje;
3. Reguliatoriaus parametrų derinimo greitis turi būti didesnis už kriterijaus $F(\varepsilon)$ kitimo greitį.

Adaptyvios elektros pavaros, sudarytos naudojant *signalinės adaptacijos* principą, struktūrinė schema yra atvaizduota (1.3.2 pav.) Pagrindinį kontūrą sudaro valdymo objektas $H_0(p, \beta_i)$ su kintamais parametrais, regulatorius $H_R(p)$, kurio parametrai nederinami, ir greičio grįžtamasis ryšys k_Ω .



1.3.2 pav. Signalinės adaptacijos principo realizavimo schema

Adaptacijos kontūrą sudaro etaloninis modelis $H_M(p)$ ir adaptyvaus valdymo blokas AVB. Adaptyvaus valdymo bloko išėjime formuojamas adaptacijos signalas U_s , veikiantis pagrindinio

kontūro įėjime ir koreguojantis jo dinamiką taip, kad kintant valdymo objekto parametrams, pavaros kokybė nekistų.

$$U_s = h_{\max} \text{sign}(\gamma_{12}x_1 + \gamma_{22}x_2) \quad (1.3.6)$$

Čia h_{\max} – maksimali adaptacijos bloko išėjimo signalo reikšmė. $x_1 = \varepsilon$, o $x_2 = dx_1/dt$ dviejų stiprintuvų stiprinimo koeficientas γ_{12} γ_{22} bei sumatorius, kurio išėjime gautasis signalas $\gamma_{12}x_1 + \gamma_{22}x_2$. Gautasis signalas patenka į rėlinio elemento arba stiprintuvo-ribotuvo su dideliu stiprinimo koeficientu įėjimą, kurio išėjime ir gaunamas adaptacijos signalas U_s .

Didžiausias signalinės adaptacijos principo privalumas – adaptacija vyksta greitai, signalinės adaptacijos kontūras yra savotiškas papildomas neigiamas grįžtamasis ryšys, kompensuojantis valdymo objekto parametrų ar sistemą veikiančių nekontroliuojamų trikdžių kitimo įtaką. Kadangi adaptacijos signalas yra ribotas amplitudės $U_{s \max} = h_{\max}$, tai procesas bus stabilus tik valdymo objekto parametrams kintant tam tikroje apibrėžtoje srityje.

2. Parametrinės adaptacijos algoritmai

2.1 Parametriškai adaptyvios proporcinės greičio reguliavimo sistemos modelio sudarymas

Parametriškai adaptyvios proporcinės greičio reguliavimo sistemos matematinio modelio sudarymui bus naudojamas nuolatinės srovės nepriklausomo žadinimo variklis. Laikoma, jog inkaro reakcijos išsismagnetinantis poveikis visiškai sukompensuotas, o inkaro grandinės induktyvumas pastovus. Keičiant didesnės galios variklių žadinimo apvijos kuriamą magnetinį srautą, jo magnetolaidyje indukuojamos sūkurinės srovės, kuriančios MVJ, kuri priešinasi polių srauto kitimui. Sūkurinių srovių srauto dedamoji, sumuodamasi su žadinimo apvijos sukurtu srautu, sudaro tikrąjį srautą Φ variklio oro tarpe. Todėl variklio žadinimo sistemą galima įsivaizduoti kaip du magnetiškai susietus kontūrus, kurių vienas prijungtas prie žadinimo įtampos šaltinio, o kitas – sūkurinių srovių kontūras – trumpai sujungtas. Kad būtų paprasčiau, laikysime, jog variklio įsismagnetinimo charakteristika yra tiesinė.

Reguliuojant variklio greitį Ω_v , keičiama arba inkaro įtampa U_i , arba žadinimo įtampa U_z . Pagrindinis trikdys yra apkrovos momentas M_a . Reguliuojant variklio greitį, dažniausiai dar tenka kontroliuoti ir kitus kintamuosius: inkaro srovę arba momentą, žadinimo srovę ir variklio priešinio veikimo EVJ E_i . Todėl, sudarant variklio lygtis ir jo dinamikos struktūros schemą, pravartu minėtus variklio kintamuosius laikyti tarpiniais, juos išskirti schemeje (2.1.2 pav) (Benjamin C.Kuo, 1987, Geleževičius V., Krikščiūnas K., Kubilius V., 1990).

Užrašykime variklio inkaro grandinės lygtį operatyvine forma:

$$U_i(p) = R_i I_i(p) + p L_i I_i(p) + E_i(p). \quad (2.1.1)$$

Čia $E_i(p)$ pažymėta proporcinga greičiui priešinė EVJ;

$$E_i(p) = C \Phi(p) \Omega_v(p); \quad (2.1.2)$$

Čia C – koeficientas, susijęs su variklio konstrukcija. Tikrąjį srautą variklio oro tarpe Φ kuria žadinimo apvijos ir ekvivalentinio sūkurinių srovių kontūro MVJ suma:

$$\Phi(p) = k \{ w_z I_z(p) + w_s I_s(p) \}; \quad (2.1.3)$$

Čia k – proporcingumo koeficientas. Iš mechanikos žinome pagrindinę judesio lygtį:

$$M_v(p) = J_v p \Omega_v(p) M_a(p). \quad (2.1.4)$$

Variklio momentas M_v yra proporcingas variklio srautui ir inkaro srovei:

$$M_v(p) = C \Phi(p) I_i(p). \quad (2.1.5)$$

Gautą lygčių sistemą taip pertvarkysime, kad pagrindiniai (U_i , U_z , M_a , Ω_v) ir tarpiniai kintamieji (I_i , E_i , I_z , Φ , M_v) būtų susieti atskiromis lygtimis. Tuo tikslu išsprendžiame I_i atžvilgiu:

$$I_i(p) = [U_i(p) - E_i(p)] \frac{R_i^{-1}}{T_i p + 1}; \quad (2.1.6)$$

čia $T_i = L_i / R_i$ – variklio elektromagnetinė laiko konstanta

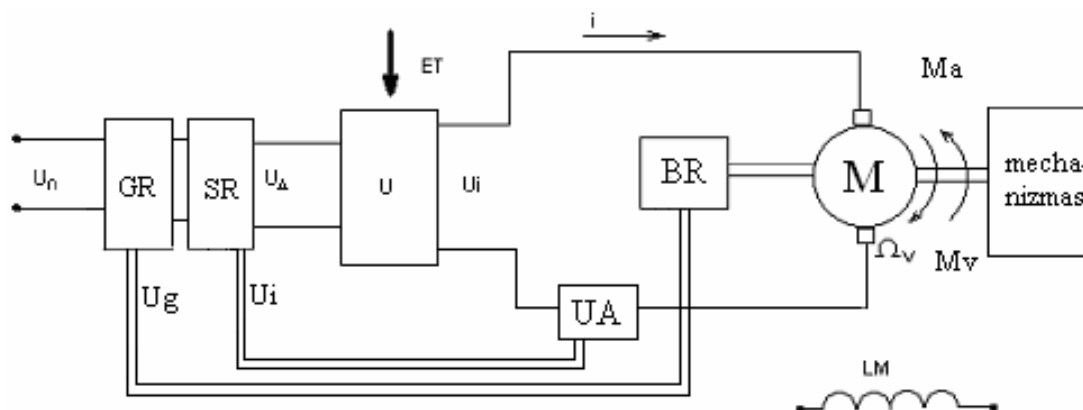
Automatinėse elektros pavarose variklio greitis dažniausiai reguliuojamas keičiant inkaro įtampą U_i ir palaikant pastovią žadinimo įtampą U_z arba atvirkščiai.

Siekiant sumažinti pagrindinio trikdančio poveikio – apkrovos momento – įtaką variklio sukimosi greičiui, schemoje panaudotas variklio inkaro srovės teigiamas grįžtamas ryšys. Variklio apkrovos momentui padidėjus dydžiu ΔM_a , inkaro srovė padidėja dydžiu ΔI_i , o greitis sumažėja dydžiu $\Delta \Omega_v$. Dėl srovės grįžtamojo ryšio galios keitiklio įtampa $U_\Delta = U_n(p) + U_I(p) - U_\Omega(p)$, padidėjus apkrovai, taip pat padidėja, padidindama variklio inkaro įtampą U_i bei sukimosi greiti Ω_v . Jei dėl grįžtamo ryšio gautas greičio pokytis tiksliai sukompensuotų apkrovos momento pokyčio ΔM_a sukeltą greičio pokytį $\Delta \Omega_v$, tada pavaros mechanine charakteristika taptų absoliučiai kieta. Detaliau panagrinėkime kaip tai vyksta.

Pereinamieji procesai variklio inkaro grandinėje, taigi ir inkaro srovės reguliavimo kontūre, baigiasi daug greičiau, negu išsisuka variklis. Todėl jo priešinė EVJ E_i per inkaro srovės pereinamąjį procesą pasikeičia labai nežymiai; galima laikyti, kad ji tuo metu yra pastovi. Kitaip sakant, galima laikyti, kad per inkaro srovės pereinamąjį procesą priešinės EVJ E_i ryšys neveikia. Padarius tokią prielaidą, galima gerokai supaprastinti inkaro reguliavimą, nedaug tepakeičiant pereinamąjį procesą inkaro srovės reguliavimo kontūre. Srovės reguliavimo kontūro dinamikos struktūrinė schema (2.1.1 pav.). Laikoma, kad daviklis yra neinertiškas ir turi perdavimo koeficientus, k_Ω , galios keitiklio laiko konstanta T_K yra daug mažesne už konstantą $T_{I\Sigma}$, T kurios sąlygojamas inertiškumas turi būti sukompensuotas.

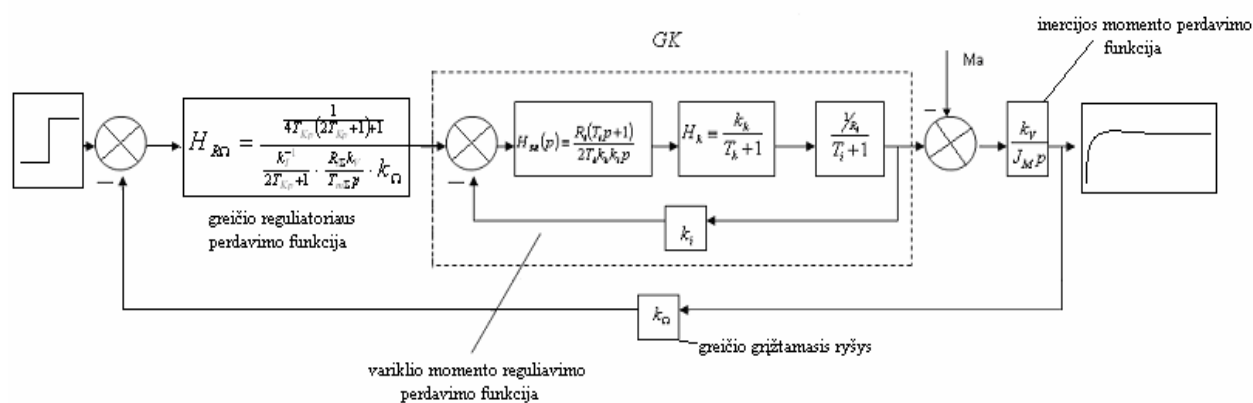
Vienąkart integruojančios greičio ir momento valdymo sistemos turi išorinį greičio reguliavimo kontūrą su greičio regulatoriumi GR, greičio davikliu BR ir jam pavaldų inkaro srovės reguliavimo kontūrą (2.1.1 pav.).

Greičio reguliatorių galima parinkti pagal techniškojo optimumo sąlygą. Perdavimo funkcijai apskaičiuoti taikoma supaprastinta srovės reguliavimo kontūro perdavimo funkcija (2.1.7). Toks supaprastinimas priimtinas, nes vidinis inkaro srovės kontūras parinktas pagal techniškojo optimumo sąlygą ir turi optimalų slopinimą ($\chi=0,707$). Tuo atveju atmetus narį su p^2 srovės kontūro atstojamojoje perdavimo funkcijoje, greičio kontūro reguliavimo kokybė nukentia nežymiai.



2.1.1 pav. Vienąkart integruojančios greičio ir momento valdymo sistemos struktūrinė schema.

Sudarant modelį galima valdymo objektą išskaidyti taip, kaip tai būna daugiakontūrinėje reguliavimo sistemoje (2.1.2 pav). Čia kintamasis parametras yra mechanizmo inercijos momentas J_M .



2.1.2 pav. Greičio ir momento dinamikos struktūrinė schema

Modeliuojant reikia remtis konkrečiais duomenimis, todėl duomenis parenkami iš nuolatinės srovės variklių katalogo (Ред. Копылова И. П., 1988). Pasirinkto variklio duomenys pateikti 1.lentelėje.

$$H_{GK} = \frac{R_i(T_i p + 1)}{2T_k k_k k_i p} \cdot \frac{k_k}{T_k p + 1} \cdot \frac{1}{T_i p + 1} \cdot \frac{1}{k_i} = \frac{\frac{1}{k_i^2}}{2T_k p(T_k p + 1)} \cdot k_V \approx \frac{1}{2T_k s + 1} \cdot k_V; \quad (2.1.7)$$

Žinome, kad etaloninio modelio perdavimo funkcija yra $H_M(p)=1/(8T_k^2+4T_k+1)$;

$$H_M(p) = \frac{1}{0.0008p^2 + 0.04p + 1}; \quad (2.1.8)$$

1. lentelė

Variklio duomenų lentelė

Nr.	Variklio duomenys	Vertė
1.	Variklio tipas	2ПБ160МУХЛ4
2.	Inkaro srovė	I_n
3.	Nominali įtampa	U_n
4.	Apsisukimai per min.	Ω_{vn}
5.	Nominalus momentas	M_n
6.	Inkaro varža	$R_i=R_a+R_p$
7.	Laiko pastovioji	$T_{\mu\Omega}$
8.	Greičio perdavimo koef.	$k_{\Omega} = \frac{10}{1,2\Omega_{vn}}$
9.	Inkaro srovės perdavimo koef.	$k_i = \frac{10}{I_{\max}}$
10.	Variklio perdavimo koef.	$k_V = k_M = \frac{1}{C\Phi}$
11.	Koef. susijęs su varikliu	$C\Phi = \frac{M_n}{I_n}$
12.	Keitiklio perdavimo koef.	$k_k = \frac{U_{vn}}{10}$
13.	Inercijos momentas	J_m
14.	Maksimalus momentas	M_{\max}
15.	Maksimali srovė	I_{\max}

Randame variklio momento reguliavimo perdavimo funkciją

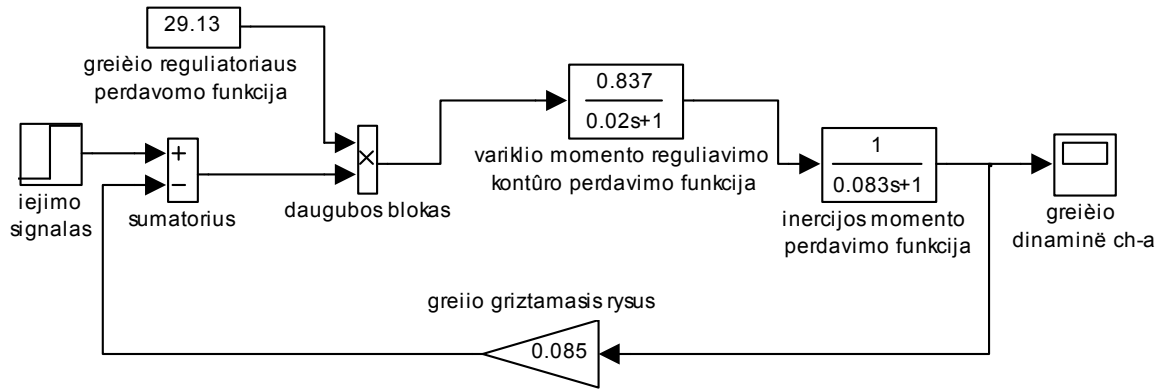
Randame greičio regulatoriaus perdavimo funkciją

$$H_R(p) = \frac{1}{2(2T_k p)(2T_k p + 1)} \cdot \frac{(2T_k p + 1)}{\frac{1}{k_i}} \cdot \frac{J_M p}{k_V} \cdot \frac{1}{k_{\Omega}} = \frac{J_M \cdot k_i}{k_{\Omega} \cdot k_V \cdot 4T_k} = \frac{0.03071}{0.001054} = 29,13; \quad (2.1.9)$$

Taip pat sustatau duomenis ir į variklio momento \uparrow perdavimo funkciją H_{GK} :

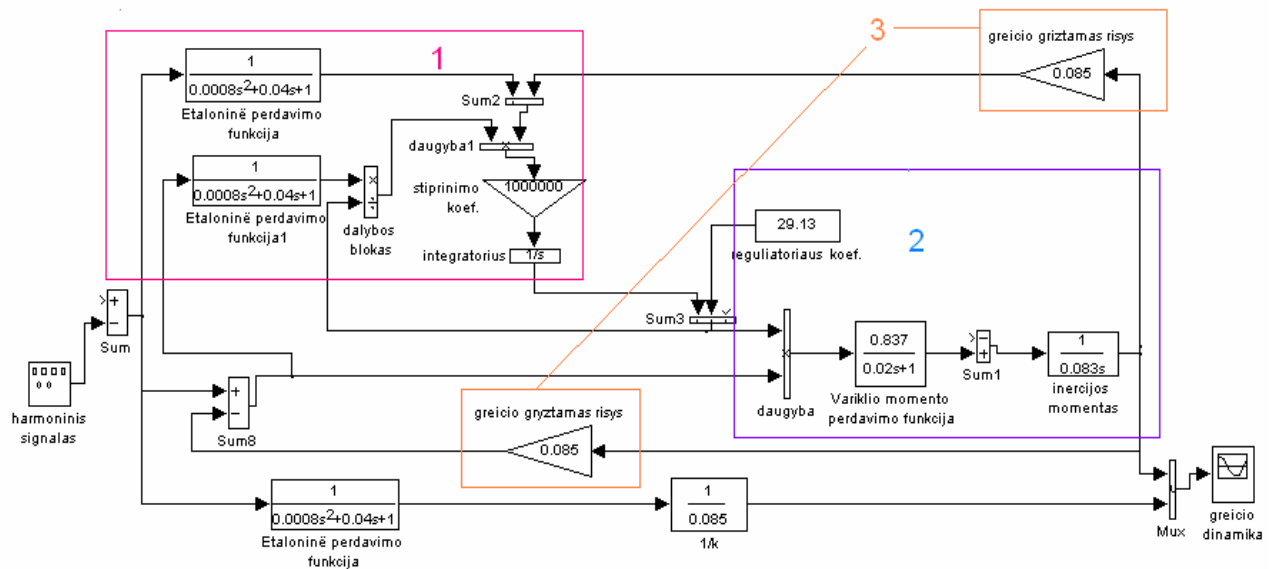
$$H_{GK} = \frac{\frac{1}{k_i}}{2T_k p + 1} \cdot k_V = \frac{0,837}{0,02 p + 1}; \quad (2.1.10)$$

Sustatę gautus duomenis į greičio valdymo sistemos modelį su variklio grįžtamoju ryšiu, gauname modelį (2.1.3 pav.)(Daunoras J., 2001):



2.1.3 pav. Greičio valdymo sistemos matematinis modelis

Žinant greičio valdymo sistemos matematinį modelį, galime prijungti parametrinės adaptacijos kontūrą. Adaptyvioje valdymo sistemoje, sudarytoje parametrinės adaptacijos principu, kintant valdymo objekto parametrams, keičiami reguliatorių parametrai taip, kad valdymo kokybė nepakistų. Pavaros su parametriškai adaptyviu greičio reguliatoriumi, struktūrinė schema parodyta (2.1.4 pav.).



2.1.4 pav. Pavaros su parametriškai adaptyviu greičio reguliatoriumi struktūrinė schema

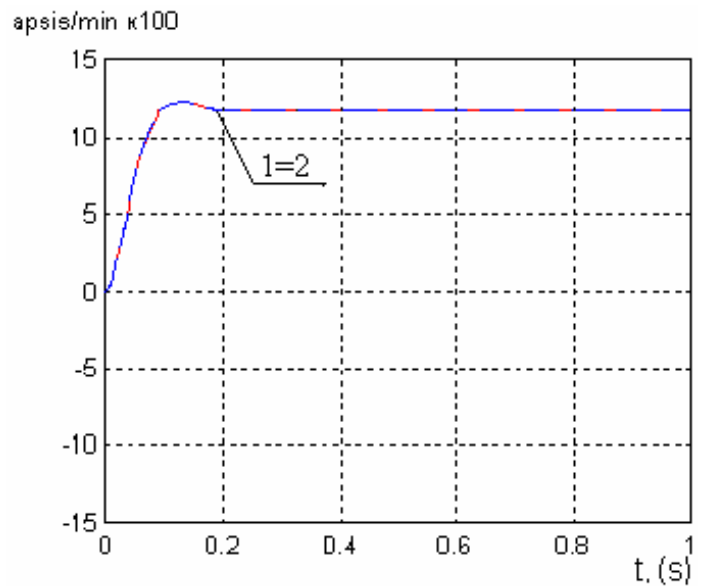
Schemą sudaro 3 pagrindinės dalys: 1 – parametrinės adaptacijos blokas; 2 – greičio valdymo sistemos matematinis modelis; 3 – grįžtamieji ryšiai.

Pavaros su parametriškai adaptyviu greičio reguliatoriumi adaptacijos bloko stiprinimo koeficientas parinktas remiantis optimaliausioms adaptavimosi sąlygoms. Viršijus šią stiprinimo reikšmės nominalą sistema esanti normaliam režime tampa nebestabili.

2.2 Parametriškai adaptyvios greičio reguliavimo sistemos tyrimas

2.2.1 Greičio reguliavimo sistemos adaptacijos proceso greičio eksperimentinis tyrimas

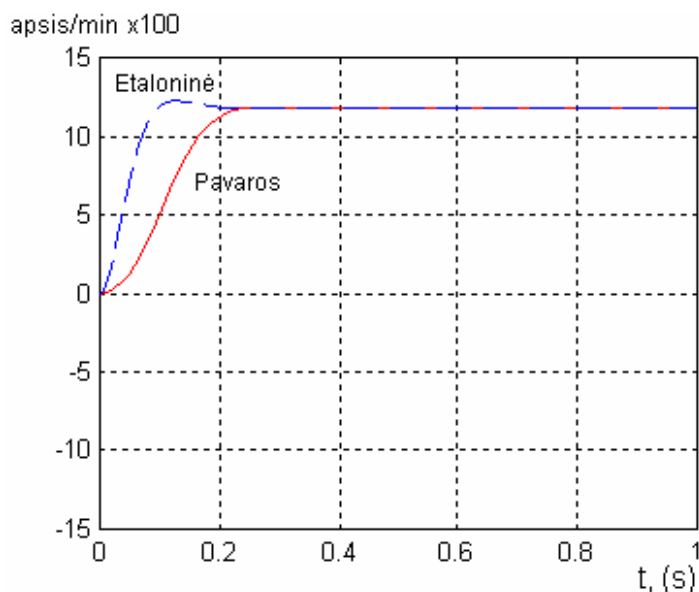
Esant neišderintai sistemai, kai yra paduodamas šuolinis įėjimo signalas, gaunamos tokias dinamines greičio charakteristikas (2.2.1.1 pav.).



2.2.1.1 pav. (1) etaloninio modelio ir (2) greičio valdymo sistemos dinaminės charakteristikos

Pavaizduotos etaloninio modelio ir greičio valdymo sistemos dinaminės charakteristikos. Kadangi sistema neišsiderinusi tai jos sutampa ir jų trajektorijos nesiskiria viena nuo kitos. (2.2.1.2 pav.), matome pakitusią pavaros dinaminę greičio charakteristiką, nes pakito inercijos momentas ir sistema išsiderino. Inercijos momentas išaugo 5 kartus. Punktyru pažymėta kreivė, tai etaloninė greičio charakteristika, o ištisinė linija tai pavaros greičio charakteristika. Kad matytume sistemos adaptacijos procesą, turi vykti pereinamieji procesai, todėl modeliuojant šuolinis signalas pakeičiamas harmoniniu. Taip bus aiškiai matomas išsiderinimo procesas (2.2.1.3 pav.) parodyta išsiderinusios dinaminės greičio charakteristikos šuolinis signalas pakeistas harmoniniu, kurio dažnis 2Hz, o amplitudė lygi 1120 aps/min.

2.2.1.2 pav. Etaloninio modelio ir greičio valdymo sistemos dinaminės charakteristikos, kai J_M išaugo 5 kartus.

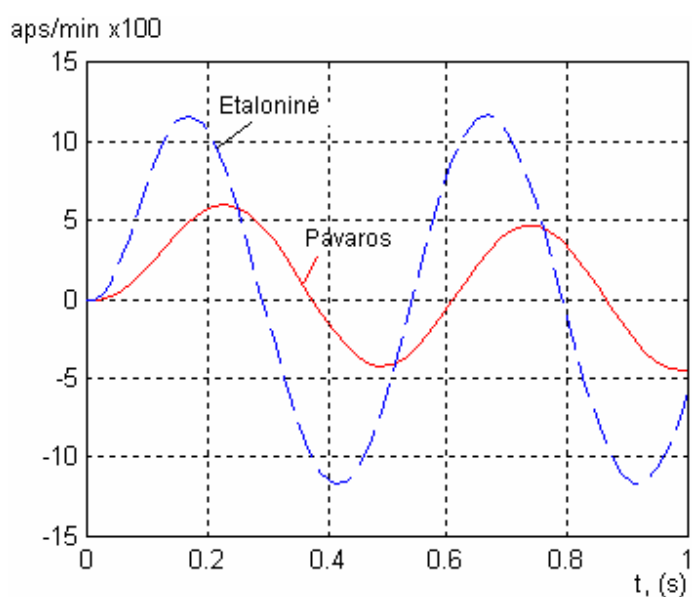


Matyti, kad inercijos momentui išaugus 5 kartus, pavaros įsibėgėjimas užtrunka (2.2.1.2 pav), dinaminė greičio charakteristika nusutampa su norima etaloninio modelio charakteristika, kuri pažymėta punktyru.

Iš grafikų matyti, kad skiriasi tik dinaminės etaloninio modelio ir realios sistemos charakteristikos, todėl adaptacijos procesas gali vykti tik pereinamųjų režimų metu. Įvertinant tai, kad pereinamasis procesas greitai baigiasi, tai tikėtina, kad ciklo metu sistema nesugebės suderinti savo reguliatorių. Dėl to, tiriant adaptyvios sistemos adaptacijos proceso kokybę, tektų pakartoti procesą keletą kartų, tačiau modeliuojant pakartotinai, priimamos nulinės pradinės modelio sąlygos ir procesas vėl grįžta į tą pačią būseną.

2.2.1.3 pav. Dinaminės greičių charakteristikos esant harmoniniam įėjimo signalui, kai J_M išaugo 5 kartus

Siekiant to išvengti, nutarta tyrinėti

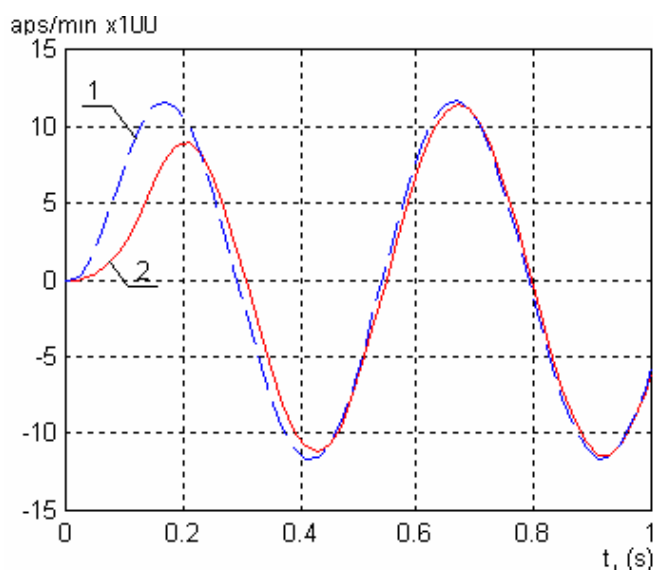


adaptacijos procesą, kai įėjime veikia harmoninis signalas.

Tai leidžia nepertraukiamai stebėti visą adaptacijos procesą. Harmoninio nustatymo signalo dažnis turi būti mažesnis už ribinį tiriamos sistemos pralaidumo juostos dažnį. Nagrinėjamai sistemai šis dažnis neturi viršyti 25 Hz.

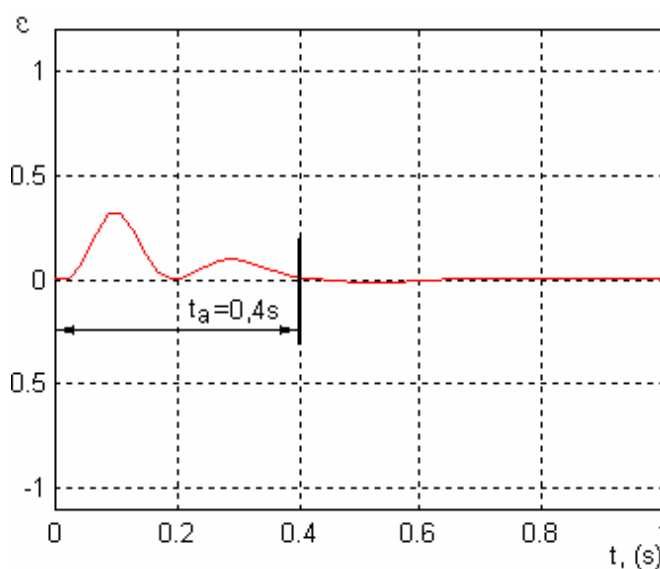
Tiriamąojo modelio įėjimo signalo dažnis yra 2 Hz. (2.2.1.3 pav.) matyti, kad įėjime veikiant harmoniniam valdymo signalui galima kiekybiškai įvertinti, koks skirtumas tarp etaloninio modelio ir pavaros greičio dinaminė charakteristikų. Matyti, kad pavaros pagreitis mažesnis 3,7 karto nei etaloninio modelio. Esant tokiai išderintai sistemai, matome

2.2.1.4 pav. 1 - etaloninė charakteristika; 2 pavaros dinaminė greičio charakteristika, kai J_m išauga 5 kartus



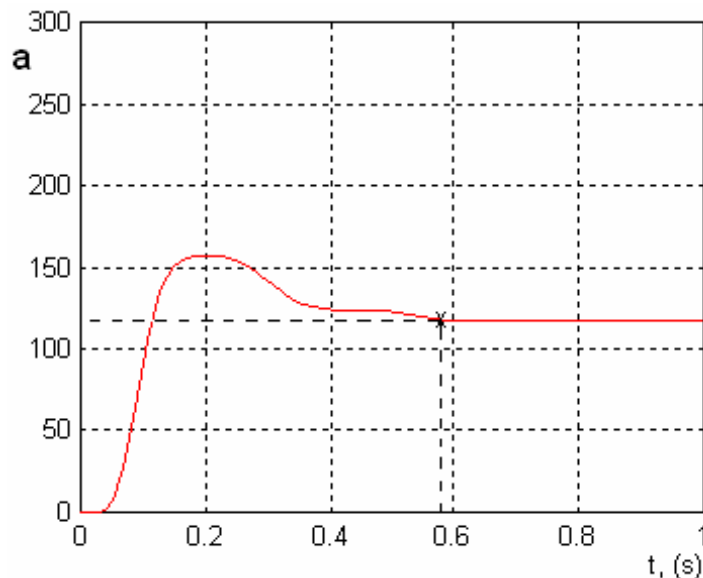
adaptacijos procesą (2.2.1.4 pav.), kai pavaros valdymo sistema sudaryta parametrinės adaptacijos principu kaip parodyta (2.1.4 pav.). Išsiderinusi pavaros greičio charakteristika

2.2.1.5 pav. Nuokrypos signalo charakteristika esant parametrinei adaptacija, kai J_m išauga 5 kartus



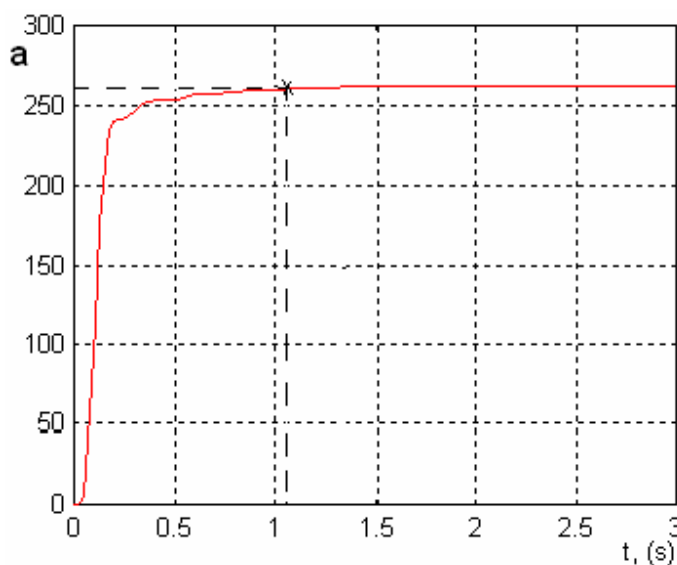
Skirtumas akivaizdus lyginant šias (2.2.1.3 pav.) ir (2.2.1.4 pav.) dinamines greičio charakteristikas, kai yra harmoninis įėjimo signalas. Adaptacijos blokas leidžia pasiekti norimą (kaip etaloninio modelio) valdymo kokybę.

Adaptacijos greitį parodo nuokrypos signalo charakteristika (2.2.1.5 pav.). Nuokrypos signalas skirtumą tarp etaloninio modelio ir elektros pavaros išėjimo signalų. Matyti, kad kai $t \rightarrow \infty$, nuokrypis mažėja ($\varepsilon \cong 0$ kai $t \cong 0,4s$). Taigi galima tvirtinti, kad esant nustatytam išsiderinimui sistema adaptuojasi apytikriai per 0,4 sekundės.



2.2.1.6 pav. Signalas išeinantis iš adaptacijos bloko, kai J_m išaugo 5 kartus

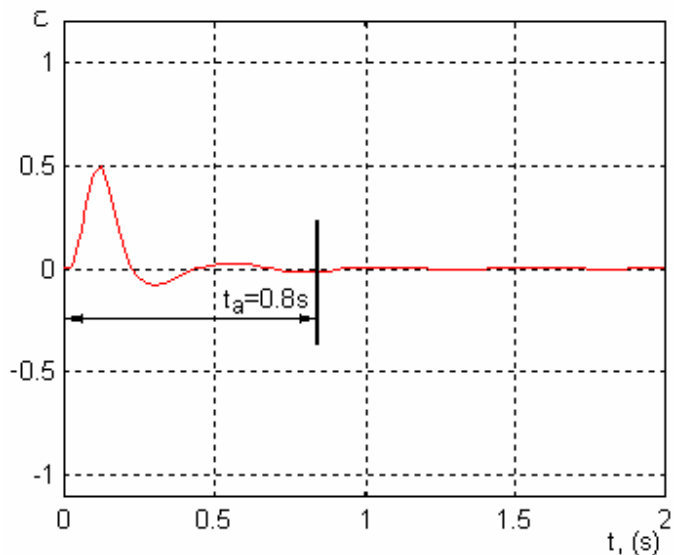
Kada išsiderinusi sistema stabilizuojasi ir pavaros greičio charakteristika pasiekia norimą įsibėgėjimo trajektoriją, adaptacijos blokas prideda prie greičio reguliatoriaus perdavimo f-jos



2.2.1.7 pav. Signalas išeinantis iš adaptacijos bloko, kai J_m išaugo 10 kartų

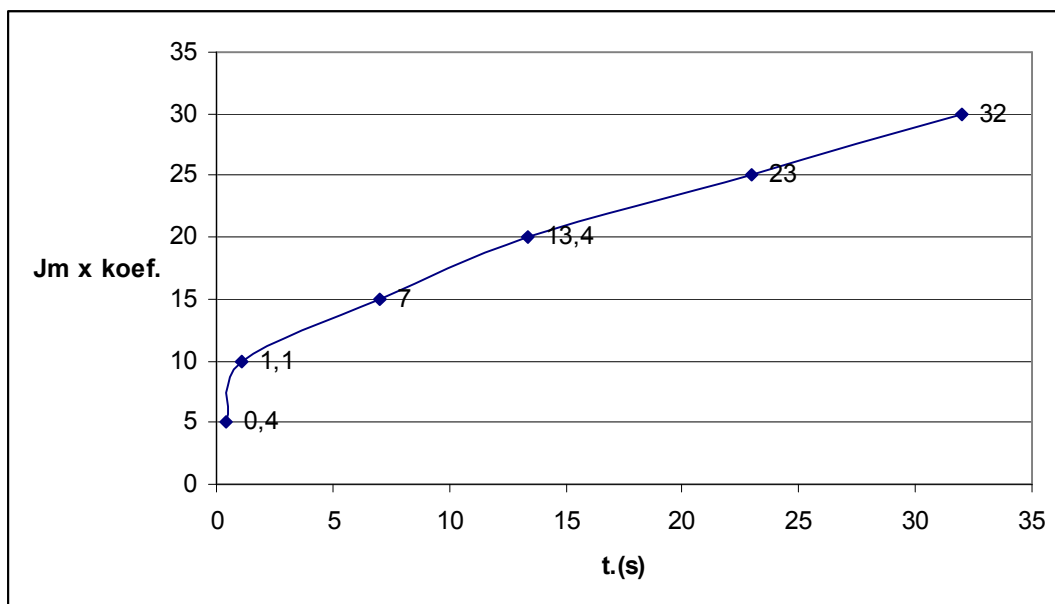
atitinkamą koeficientą, kad pagrindinio kontūro valdymo kokybė nepakistų (2.2.1.6 pav.). Iš kreivės matyti, kad signalas einantis iš adaptacijos bloko tapo stabilus kai $t=0.4$ s (2.2.1.5. pav.), ir prie greičio

regulatoriaus perdavimo f-jos adaptacijos blokas prisumavo koeficientą (116). Inercijos momentui išaugus 10 kartų, iš (2.2.1.7 pav.) kreivės matyti, kad signalas einantis iš adaptacijos bloko tapo stabilus kai $t=1,1$ s (2.2.1.8 pav.). Adaptacijos blokas prisumavo koeficientą (262,5)



2.2.1.8 pav. Nuokrypos signalo charakteristika esant parametrinei adaptacija, kai J_m išauga 10 kartus

Iš (2.2.1.8 pav.) nuokrypio signalo kreivės matyti, kad $\epsilon=0$, kai $t=0,8$ s. Lyginant (2.2.1.5 pav.) ir (2.2.1.8 pav.) nuokrypio signalų charakteristikas, gaunasi, kad adaptavimosi trukmė dvigubai daugiau užima laiko. Todėl (2.2.1.9 pav.) parodyta kreivė, kuri parodo adaptacijos proceso trukmę prie skirtingų inercijos momento išsiderinimo laipsnių.



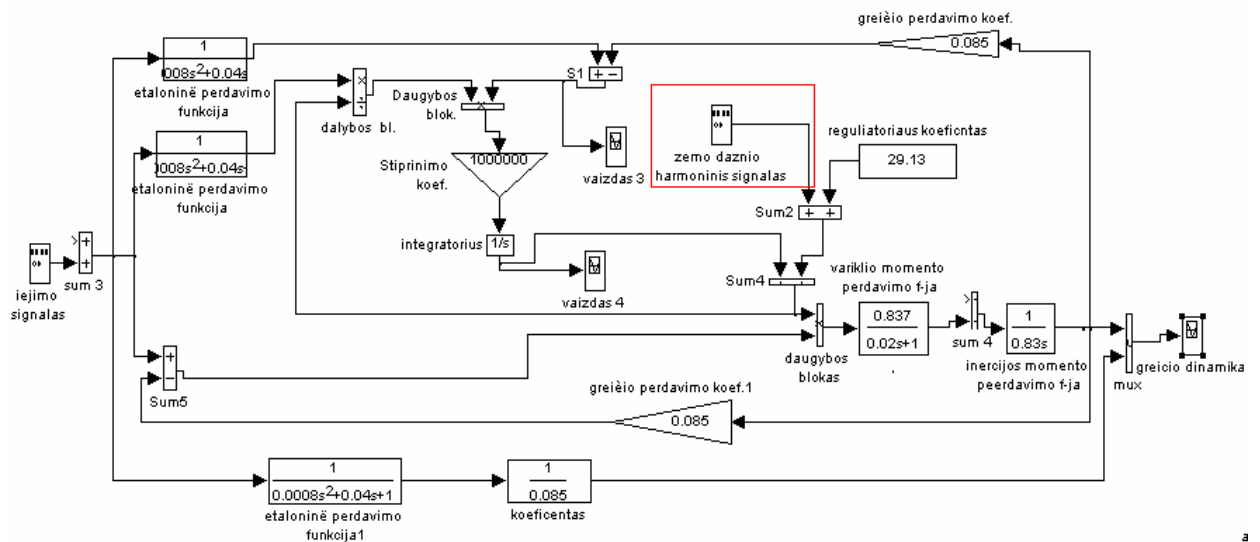
2.2.1.8 pav. Adaptavimosi greičio charakteristika esant skirtingiems inercijos momento išsiderinimo laipsniams

Iš (2.2.1.8 pav.) matyti, kad adaptacijos proceso trukmė netiesiškai priklauso nuo objekto išsiderinimo laipsnio. Ši artima parabolinei priklausomybė rodo, kad mažus išsiderinimus sistema kompensuoja santykinai greičiau nei didelius, kai inercijos momentas kinta iki 10 kartų. Vėliau adaptacijos greitis 8.5 karto sulėtėja. Taip pat matyti, kad nagrinėjamu atveju sistema išlieka funkcionali, esant plačiam parametro kitimo diapazonui.

2.2.2 Parametro kitimo greičio ir amplitudės įtakos tyrimas

Tyrimo tikslas įvertinti kaip adaptyvi valdymo sistema reaguoja į išsiderinančio sistemos parametro kitimo greitį bei jo amplitudę. Kintant parametru mažu greičiu, adaptyvi valdymo sistema sudaryta parametrinės adaptacijos principu turi spėti jį sekti. Reikia nustatyti parametro kitimo didžiausią greitį, kurį pasiekus sistema nebespėja adaptuotis. Tyrimas atliekamas darant prielaidą, kad tam tikras sistemos parametras (šiuo atveju reguliatoriaus perdavimo koeficientas). Ir šiuo atveju modeliuojant priimama, kad objekto parametras harmoningai svyruoja apie tam tikrą „optimalią“ jo vertę. Didinant dažnį nustatomas ribinis parametro kitimo greitis. Po to tyrimas vėl kartojamas, didinant kintamojo parametro amplitudę ir stebima kaip keičiasi sistemos adaptavimosi kokybė didinant amplitudę. Adaptyvioje valdymo sistemoje, sudarytoje parametrinės adaptacijos principu, parodyta kur veikia žemo dažnio harmoninis signalas (2.2.2.1 pav.), keičiantis reguliatoriaus perdavimo koeficientą. Tokiu pat dėsniu turi keistis ir signalas adaptacijos bloko išėjime, o kol sistemos gali adaptuotis, nuokrypis tarp etaloninio signalo ir realaus išėjimo signalo turi būti artimas nuliui.

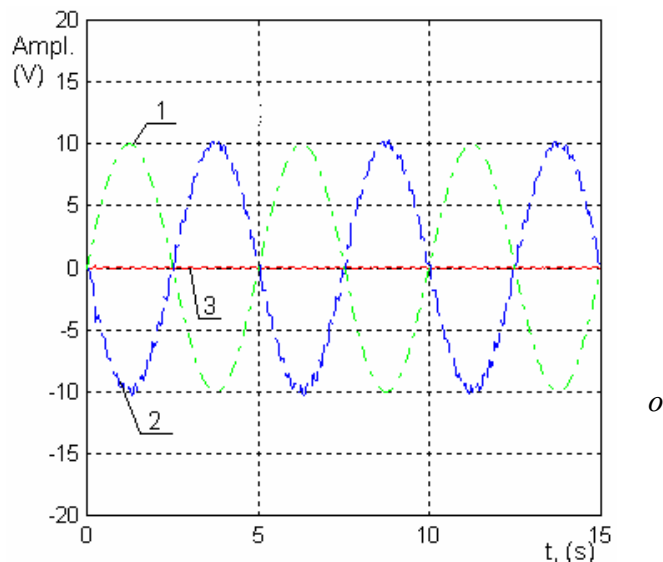
(2.2.2.2 pav.) Iš kreivių matyti, kad kintant harmoniniu dėsniu reguliatoriaus parametru, signalas išeinantis iš adaptacijos bloko yra tokios pat amplitudės tik priešingo poliaringumo. Adaptacijos blokas sugeba sekti kintantį parametą todėl



2.2.2.1 pav. Adaptyvioje valdymo sistemoje, sudarytoje parametrinės adaptacijos principu, paduotas žemo dažnio harmoninis signalas

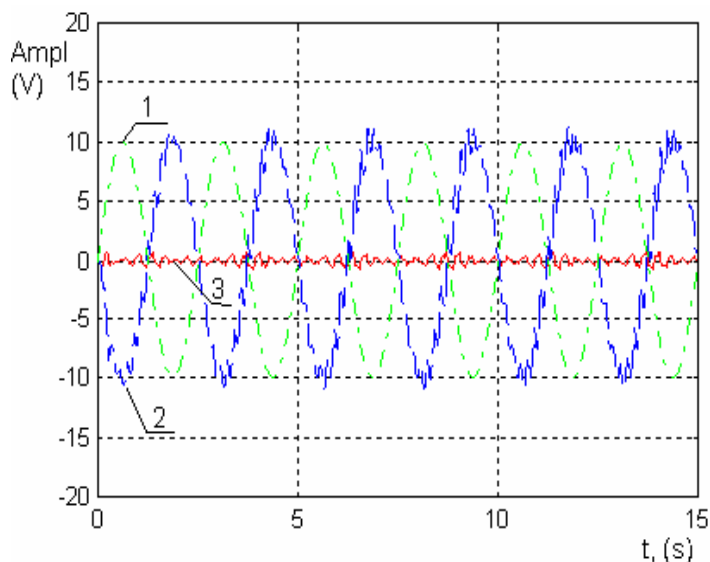
nuokrypio signalas artimas nuliui ir sistema dirba stabiliai. (2.2.2.2 pav.) galima pamatyti, kad adaptavimosi kokybė yra labai gera. Signalas išeinantis iš adaptacijos bloko yra panašus į

2.2.2.2 pav. 1 – Kintančio parametro harmoninis signalas, kai jo amplitudė lygi 10 V, dažnis 0,2 Hz ; 2 – signalas išeinantis iš adaptacijos bloko; 3 – nuokrypio signalas



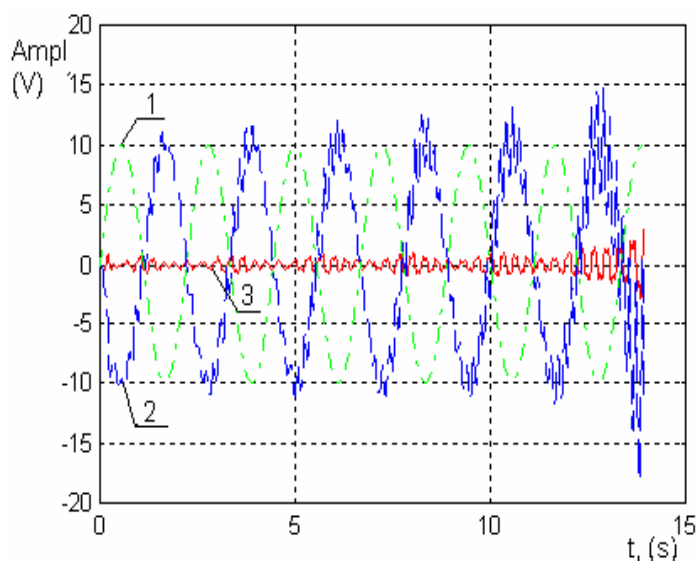
sinusoidę, nesimato jokių išsikraipymų. Parametro dažnis didinamas tol, kol adaptacijos blokas nebespėja sekti kintančio parametro.(2.2.2.3 pav.) matyti, kad adaptacijos blokas dar spėja sekti parametru, kuris kinta harmoniniu signalu, bet adaptavimosi kokybė labai pablogėja. Signalas išeinantis iš adaptacijos bloko tampa panašus į iškraipytos sinusoidės kreivę. Matosi nuokrypio signalas, nors jis nėra didelis.

2.2.2.3 pav. 1 – Kintančio regulatoriaus parametro harmoninis signalas, kai jo amplitudė lygi 10 V, o dažnis 0,3 Hz ; 2 – signalas išeinantis iš adaptacijos bloko; 3 – nuokrypio signalas



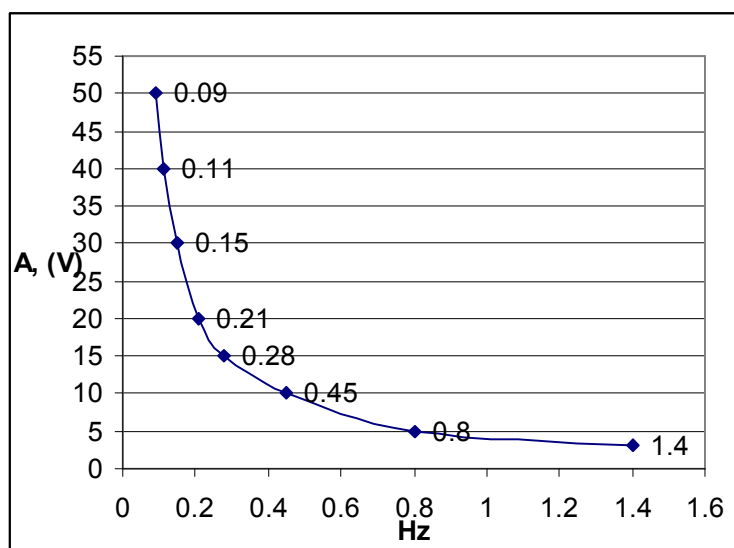
2.2.2.4 pav. matosi kreivės, kai sistema yra nestabili. Adaptacijos blokas nebespėja sekti parametru, kurio dažnis 0.45 Hz ir sistema „pakimba“. Tai ir būtų kritinis parametro dažnis, kai jo amplitudė 10 V. Toliau didinant dažnį sistemos nestabilumas pasireiškia ankščiau.

2.2.2.4 pav. 1 – Kintančio regulatoriaus parametro harmoninis signalas, kai jo amplitudė lygi 10 V, o dažnis 0,45 Hz ; 2 – signalas išeinantis iš adaptacijos bloko; 3 – nuokrypio signalas



Randame kritinius taškus kai parametro amplitudžių dydžiai: 3, 5, 15, 20, 30, 40, 50. Iš gautų rezultatų sudarome kritinių taškų kreivę, kai parametras kinta harmoniniu dėsniu (2.2.2.5 pav.).

2.2.2.5 pav. Kritinių taškų kreivė, kai parametras kinta harmoniniu dėsniu

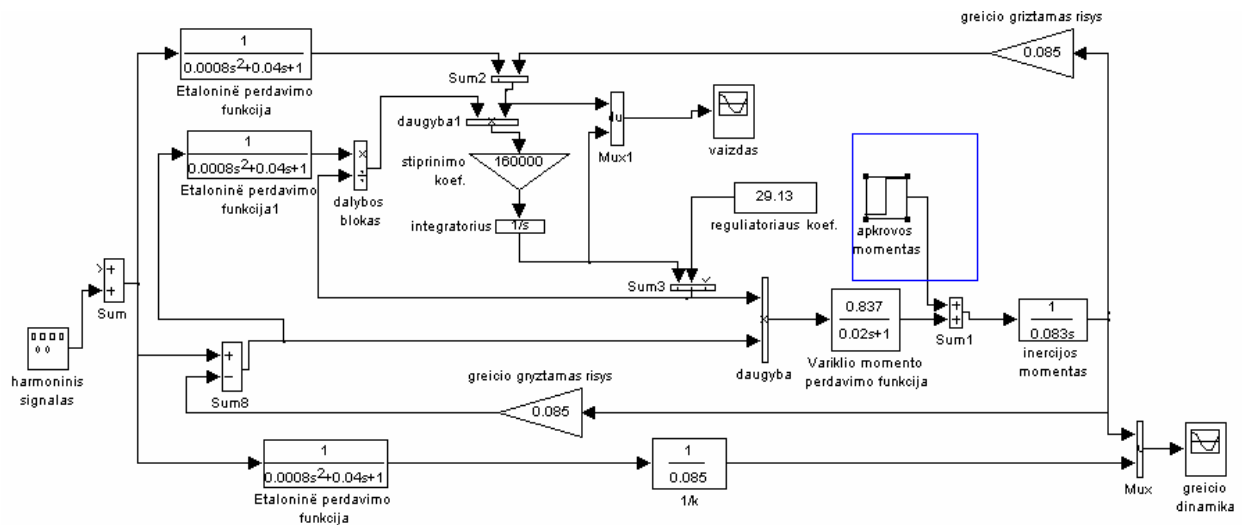


Apibendrinant galima pasakyti, jog sistemos sudarytos parametrinės adaptacijos principu adaptacijos procesas yra ribotas, kai greičio reguliatorius parametras harmoningai kinta.

Sudarytas parametro kitimo amplitudės ir jo kitimo greičio priklausomybės grafikas (2.2.2.5 pav.) iliustruoja parametrinės adaptacijos metodo galimybes, kuo didesnė parametro amplitudė, tuo mažesnis turi būti jo kitimo greitis, kad sistema spėtų prie jo prisiderinti.

2.2.3 Apkrovos momento įtakos tyrimas

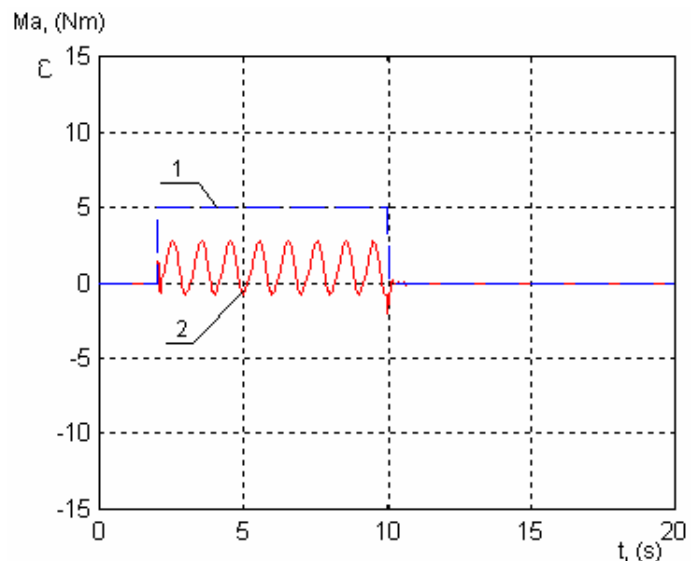
Atliekant šį tyrimą, siekiama nustatyti adaptacijos kontūro elgseną veikiant apkrovos momentui M_a . Iš principo, parametrinės adaptacijos kontūras neturėtų reaguoti į apkrovos momento kitimą, jei objekto parametrai atitinka savo skaičiuojamąsias vertes. Jei veikiant apkrovai adaptacijos blokas ima keisti savo parametrus, tai jis išderina reguliatorių objekto parametrų atžvilgiu. (2.2.3.1 pav.) pateiktame adaptacijos valdymo sistemos modelyje, parodyta, kaip ir kur paduodamas apkrovos momentas.



2.2.3.1 pav. Adaptyvi valdymo sistema, sudaryta parametrinės adaptacijos principu, kaip paduodamas apkrovos momentas.

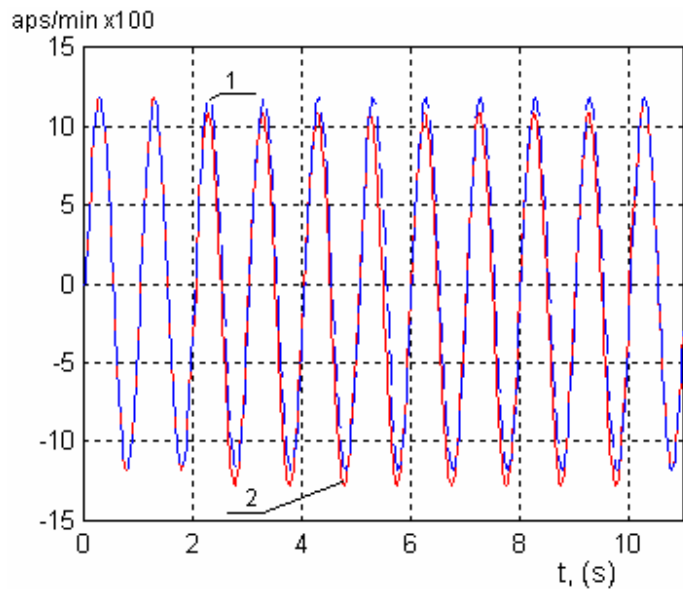
Sistemos pradinė būsena yra stabili. Po 2-jų sekundžių paduodamas apkrovos momentas, kurio dydis 5 Nm ir jis trunka 7s. Iš gauto rezultato matyti, jog adaptyvi

2.2.3.2 pav.. Čia: 1 – apkrovos momentas
 $M_a=5$; 2 – nuokrypio signalas



valdymo sistema, sudaryta parametrinės adaptacijos principu, atsiradus apkrovos momentui, signalo nebeadaptuoja, tai matyti iš (2.2.3.2 pav.) nuokrypio signalo charakteristikos. Nuokrypos signalas išlieka panašus ir prie kitokių apkrovos momento reikšmių. (2.2.3.2 pav.) parodytos dinaminės greičio charakteristikos, kai $M_a=5$.

2.2.3.3 pav. *Dinaminė greičio charakteristika kai $M_a=5$.
1 – etaloninė greičio ch-ka, 2 – pavaros greičio ch-ka.*

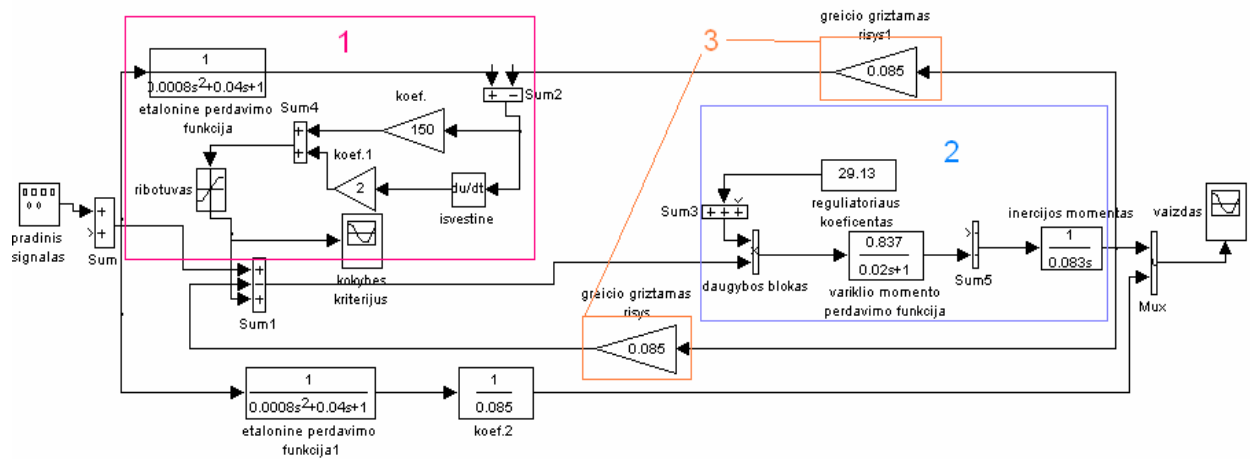


Modeliavimo rezultatai patvirtina, kad išorinis apkrovos momentas išderina sistemą. Tai matyti iš (2.2.3.3 pav.) grafiko. Nustojus veikti apkrovai sistema, kuri liką išlieka išderinta. Galima daryti išvadą, kad šis parametrinės adaptacijos būdas netinka sistemoms, kurios veikia apkrautos. Tokiu atveju galima rekomenduoti tik trumpam laikui įjungti adaptacijos bloką, sistemai veikiant derinimo režimu, kol sistema neapkrauta. Perėjus į darbo režimą adaptacijos bloką reikia išjungti.

3. Signalinės adaptacijos algoritmai

3.1 Signalinės adaptacijos principu veikiančios proporcinės greičio reguliavimo sistemos modelio sudarymas

Žinant greičio valdymo sistemos matematinį modelį (2.1.6), galima prijungti signalinės adaptacijos kontūrą. Adaptyvaus bloko išėjime formuojamas adaptacijos signalas U_s , veikiantis pagrindinio kontūro įėjime ir koreguojantis jo dinamiką taip, kad, kintant valdymo objekto parametrams, pavaros kokybė nekistų. Pavaros su signaline adaptacija, struktūrinė schema parodyta (3.1.1 pav.).



3.1.1 pav. Pavarą veikianti signalinės adaptacijos principu struktūrinė schema

Čia: 1 – signalinės adaptacijos blokas; 2 - greičio regulatoriaus struktūrinė schema; 3 – greičio grįžtamieji ryšiai. Signalinės adaptacijos bloko stiprinimo koeficientai parenkami remiantis optimaliausiomis adaptavimosi sąlygomis. Tokia sistema bus naudojama tyrimams.

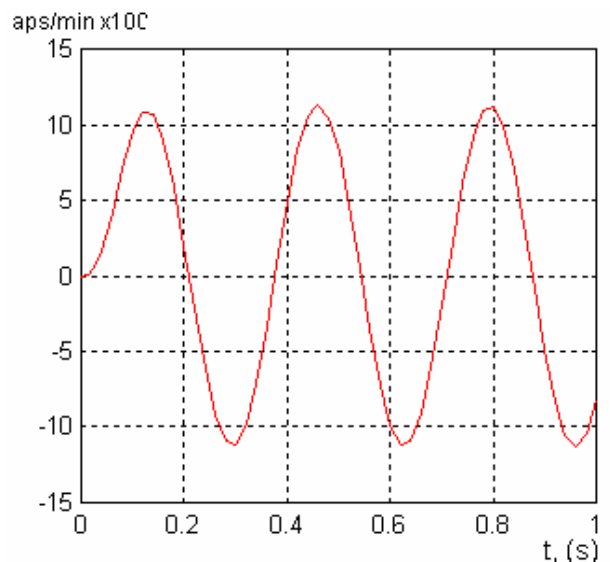
3.2 Signalinės adaptacijos principu veikiančios greičio reguliavimo sistemos tyrimas

3.2.1 Adaptacijos proceso greičio tyrimas

Šio tyrimo tikslas nustatyti signalinės adaptacijos proceso greitį, esant išderintai sistemai, kai sistemos įėjime veikiant harmoninis signalui. Stebima, kaip kinta greičio dinaminės charakteristikos prie skirtingų inercijos momento J_m išsiderinimo laipsnių. Prie kokių parametų sistema praranda stabilumą.

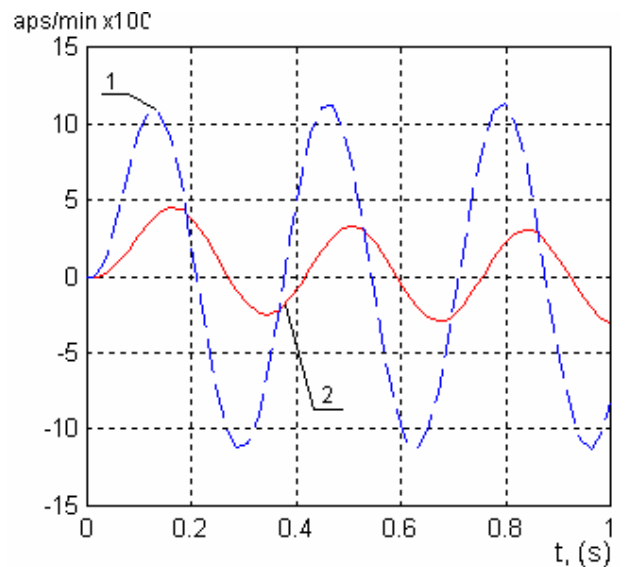
Esant neišderintai sistemai, kai yra paduodamas harmoninis įėjimo signalas, gaunama tokia dinaminė greičio charakteristika (3.2.1.1 pav.).

3.2.1.1 pav. Pavaros dinaminė greičio charakteristika

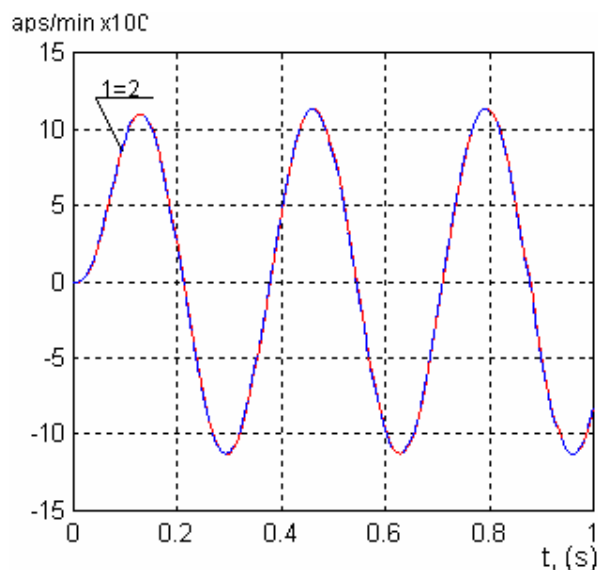


Sistema išsiderino, inercijos momentui padidėjus 5 kartus. Gautos dinaminės greičio charakteristikos pateiktos 3.2.1.2 paveiksle. Iš kreivių matyti, kad greičio dinaminės charakteristikos neatitinka

3.2.1.2 pav. Greičio dinaminės ch-kos kai J_m išaugo 5 kartus. 1 – etaloninio modelio ch-ka; 2 – greičio dinaminė ch-ka.

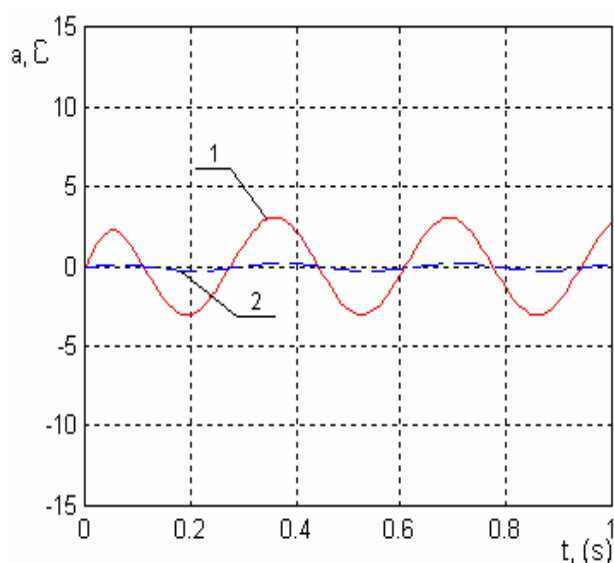


etaloninio modelio charakteristikų. Įjungus signalinės adaptacijos kontūrą, realios sistemos procesai (3.2.1.3 pav.) praktiškai sutampa su etaloniniais.



3.2.1.3 pav. *Adaptacijos procesas kai pavaros valdymo sistema sudaryta signalinės adaptacijos principu ir kai J_m išauga 5 kartus. 1 – etaloninis modelis; 2 – dinaminė greičio charakteristika*

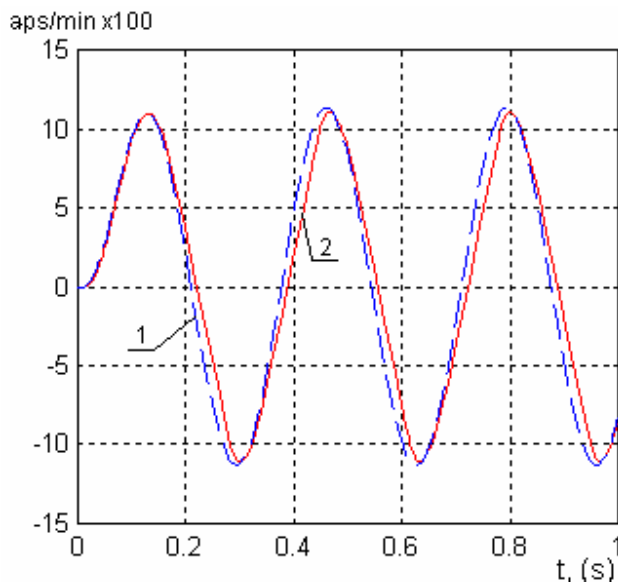
Labai svarbu tai, adaptacijos procesas vyksta akimirksniu be kokio nors pereinamojo proceso. Lyginant su parametrinės adaptacijos sistema tai didelis privalumas.



3.2.1.4 pav. *1 – tai signalas išeinantis iš adaptacijos bloko a, kai J_m išaugo 5 kartus; 2 – tai nuokrypio signalas ε*

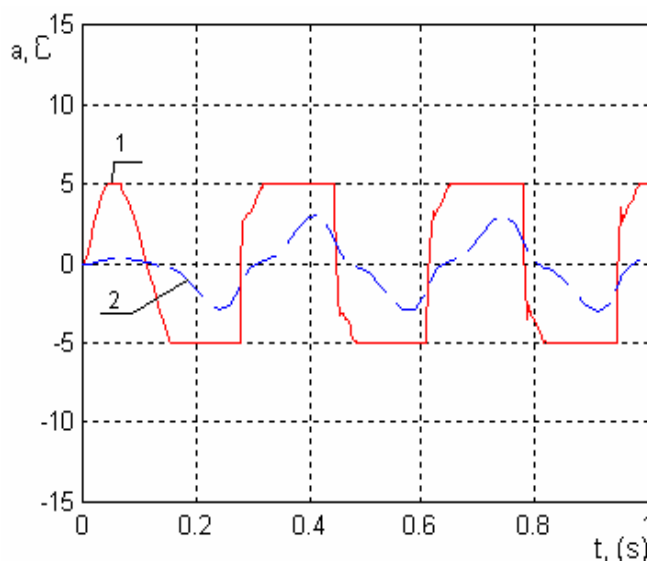
Inercijos (3.2.1.4 pav.) momentui J_m išaugus 5 kartus, išderinimo signalas apytikriai lygus nuliui. O adaptacijos blokas pakitusią pavaros dinaminę charakteristiką pagrindinio kontūro įėjime koordinuoja jo dinamiką taip, kad sistemos dinaminė greičio charakteristika būtų tokia kaip etaloninio modelio (3.2.1.3 pav.).

Didinant išderinimo laipsnį esant tam pačiam nustatymo signalo kitimo greičiui sistemos adaptavimosi greitis nesikeičia, tačiau blogėja kokybė. Adaptyvios sistemos charakterizuojamos, inercijos momentui išaugus 10 kartų. Pateiktos 3.2.1.5 paveiksle.



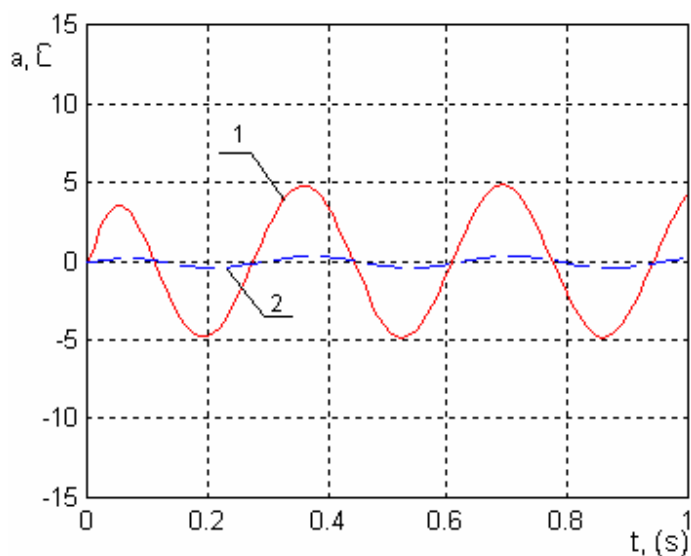
3.2.1.5 pav. 1 – tai signalas išeinantis iš adaptacijos bloko a, kai J_m išaugo 10 kartų; 2 – tai nuokrypio signalas ε

Signalinės adaptacijos metodo efektyvumui didelės įtakos turi adaptacijos signalo ribotuvo, esančio adaptacijos bloko išėjime, ribojimo lygis. Adaptacijos blokas nebegali tiksliai atkartoti etaloninio modelio trajektorijos nes yra ribojamas amplitudės h_{\max} , tai matyti iš (3.2.1.6 pav.), o procesas bus stabilus tik valdymo objekto parametrams kintant apibrėžtoje srityje. Iš kreivų aiškiai matosi, kad signalas išeinantis iš adaptacijos bloko yra ribojamas intervale nuo (-5) iki (+5), o kadangi adaptacijai tokio signalo neužtenka, tai ir atsiranda nuokrypa. Kuo didesnis inercijos momento išsiderinimas tuo didesnė nuokrypa.



3.2.1.6 pav. 1 – tai signalas išeinantis iš adaptacijos bloko a, kai J_m išaugo 10 kartų; 2 – tai nuokrypio signalas ε

Šios pavaros su signalinės adaptacijos valdymo sistema, geriausia adaptacijos kokybė yra kai inercijos momentas kinta iki 7 kartų. Tada signalo amplitudė dar įtelpa į (-5) (+5) intervalo rėmus (3.2.1.7 pav.) ir jos adaptavimosi kokybė yra gera.

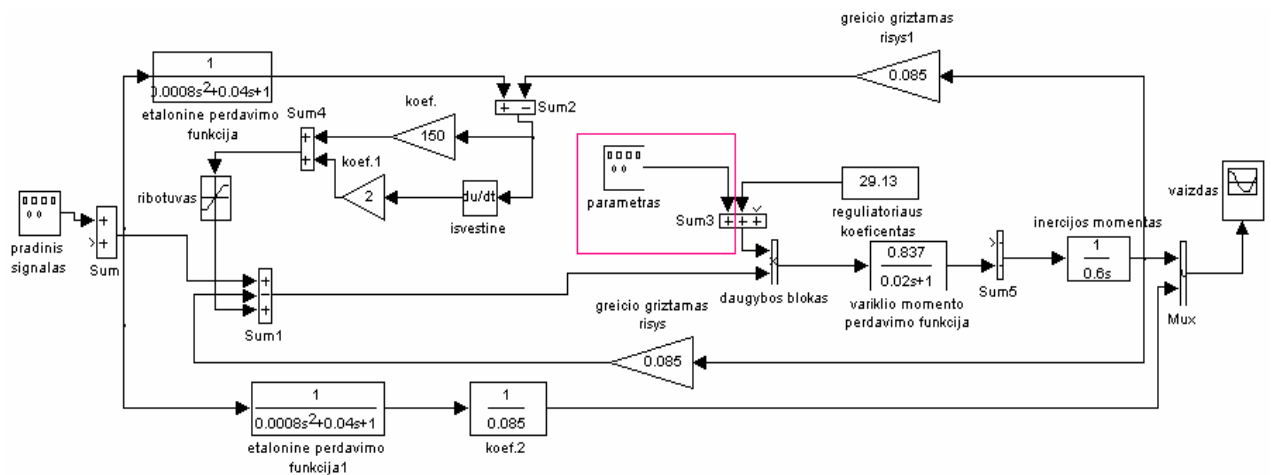


3.2.1.7 pav. 1 – tai signalas išeinantis iš adaptacijos bloko a , kai J_m išaugo 7 kartus; 2 – tai nuokrypio signalas ϵ

Išvada: signalinės adaptacijos principu veikiančios sistemos adaptavimosi procesas vyksta akimirksniu. Nustatyta, kad adaptavimosi kokybė pablogėja, kai inercijos momentas išauga daugiau nei 7 kartus. Tai reiškia, kad parametro kitimo ribos yra palyginti nedidelės.

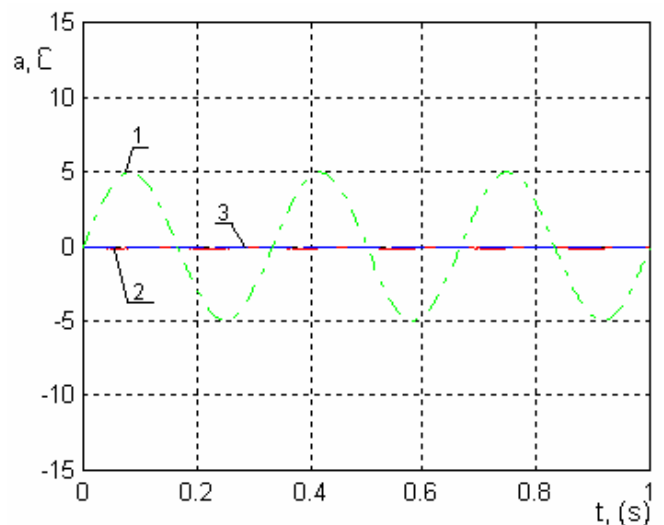
3.2.2 Parametro kitimo greičio ir kitimo diapazono tyrimas

Tyrimo tikslas išsiaiškinti kaip adaptyvi valdymo sistema reaguoja į harmoninį sistemos parametro kitimą. Kintant regulatoriaus parametru, adaptyvi valdymo sistema, sudaryta signalinės adaptacijos principu, turi spėti jį sekti. Tyrimas vykdomas didinant parametro kitimo greitį (harmoninio signalo dažnį) dažnį bei amplitudę ir stebint išderinimo tarp etaloninio proceso ir realios sistemos signalą. Sistemos modelis su harmoningai kintančiu regulatoriaus parametru pateiktas 3.2.2.1 paveiksle.



3.2.2.1 pav. Adaptyvioje valdymo sistemoje, sudarytoje signalinės adaptacijos principu, paduotas žemo dažnio harmoninis signalas

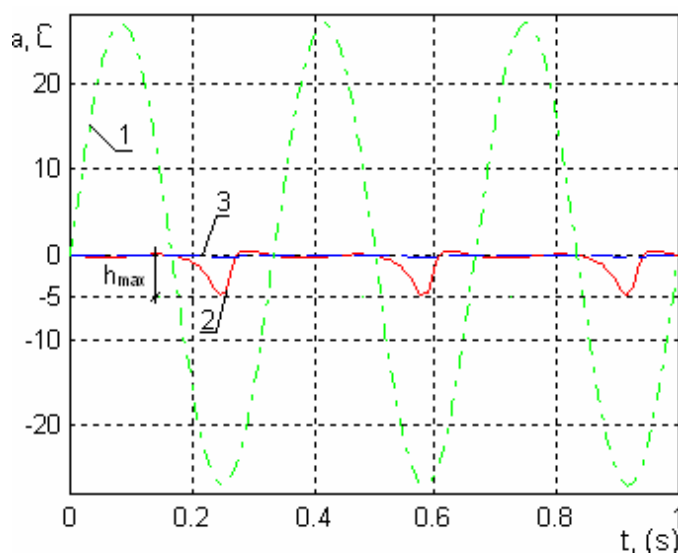
Tyrimas pradamas kai kintančio parametro kitimo dažnis lygus 3 Hz, toks koks ir yra įėjimo signalo kitimo dažnis, o amplitudė lygi 5 (V). Iš (3.2.2.2 pav.) matyti jog sistema sugeba adaptuotis ir adaptavimosi kokybė gera.. Nuokrypis lygus nuliui.



3.2.2.2 pav. 1 – Kintančio regulatoriaus parametro harmoninis signalas, kai jo amplitudė lygi 5 V, o dažnis 3Hz ; 2 – signalas išeinantis iš adaptacijos bloko; 3 – nuokrypio signalas

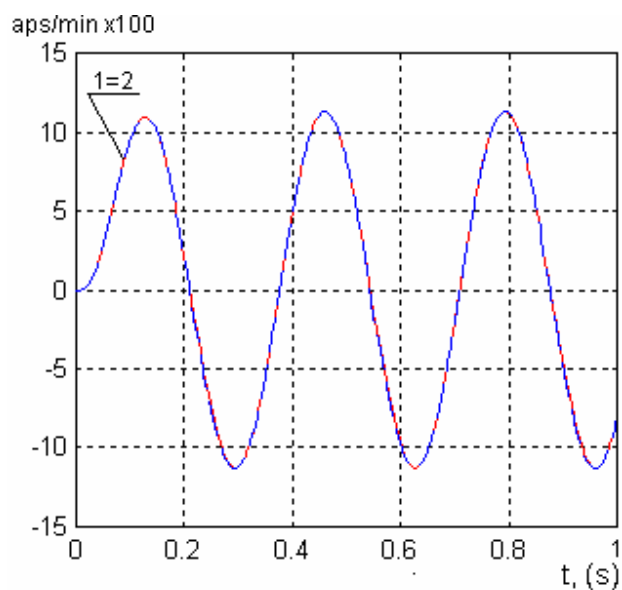
Atliekant tyrimą pastebėta, kad parametro kitimo greitis sistemos stabilumui ir adaptavimosi kokybei esminės įtakos neturi. Parametro dažnis gali sutapti net su sistemos nustatymo signalo dažniu, o adaptacijos kokybė niekinta. Tačiau parametro išderinimo amplitudės dydis sistemos adaptacijos kokybei turi žymios įtakos. Parametro amplitudei pasiekus 27 V vertę, sistema pasiekė kritinį tašką (3.2.2.3 pav.).

3.2.2.3 pav. 1 – Kintančio reguliatoriaus parametro harmoninis signalas, kai jo amplitudė lygi 27 V, o dažnis 3Hz ; 2 – signalas išeinantis iš adaptacijos bloko; 3 nuokrypio signalas



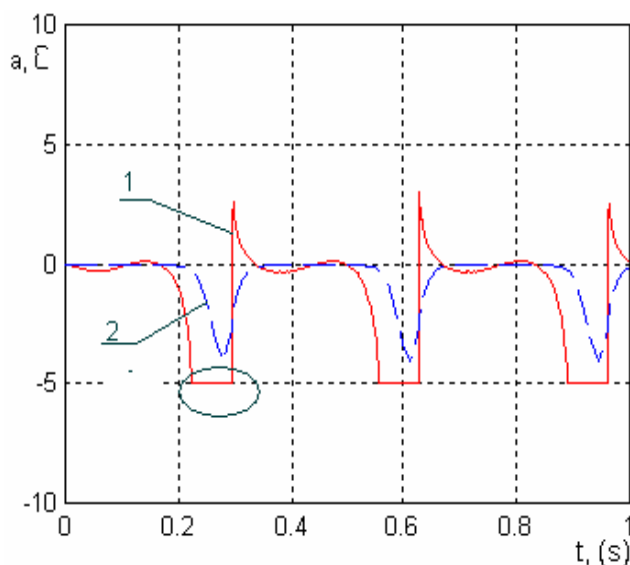
3.2.2.4 pav., pateikta dinaminė greičio charakteristika, kai parametro amplitudė lygi 27 (V), kuri yra artima etaloninio modelio charakteristikai.

3.2.2.4 pav. Adaptacijos procesas kai harmoningai kinta parametras, kurio amplitudė 27V. 1 – etaloninis modelis; 2 – dinaminė greičio charakteristika

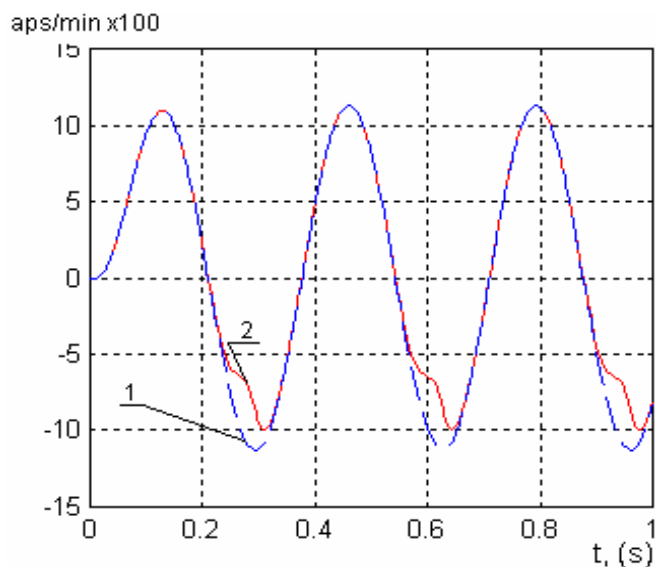


3.2.2.5 pav. pateikta adaptyvios valdymo sistemos charakteristikos, kai parametro amplitudė lygi 30 V. Matyti labai išaugęs nuokrypio signalas.. Signalo amplitudė, išeinanti iš adaptacijos bloko, viršija adaptacijos

3.2.2.5 pav. Kai parametro amplitudė lygi 30 V ir dažnis 3Hz: 1 – signalas išeinantis iš adaptacijos bloko; 2 – nuokrypio signalas



3.2.2.6 pav. Adaptacijos procesas kai harmoningai kinta parametras, kurio amplitudė 30V . 1 – etaloninis modelis; 2 – dinaminė greičio charakteristika

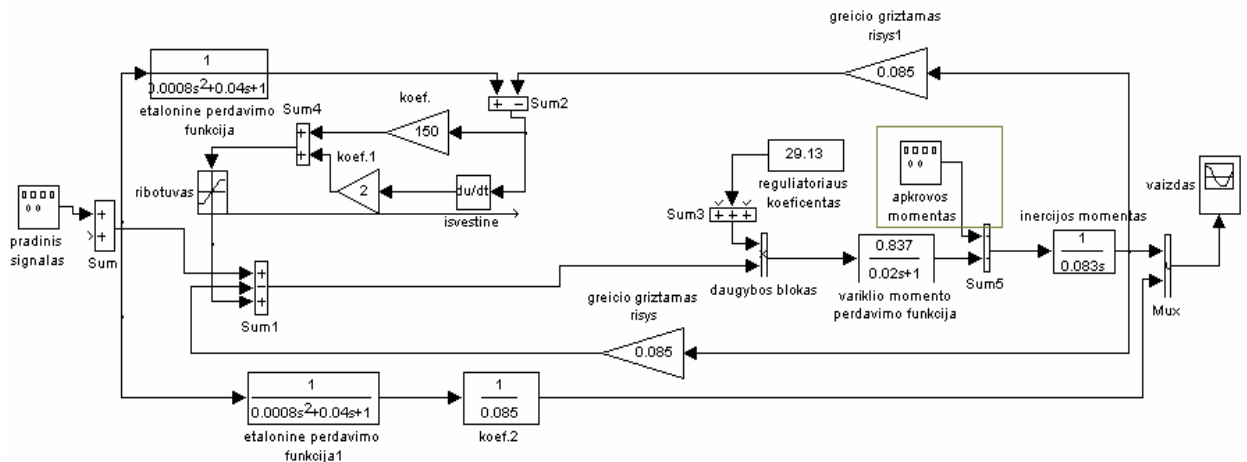


Srities ribą (-5). 3.2.2.6 paveiksle parodytos etaloninio modelio ir pavaros greičio charakteristikos, kai sistema nebepajėgi adaptuotis. Iš to seka, kad toliau didinti amplitudės nėra prasmės, nes sistema tik dar labiau išsiderins ir adaptacijos blokas nebepajėgs šios išsiderinimo įtakos kompensuoti.

Apibendrinant, parametro kitimo greičio ir kitimo diapazono tyrimas parodė, kad sistema yra stabili prie bet kokio dažnio. Bet parametro amplitudės dydis yra apibrėžtas, viršijus 27 V ribą sistema tampa nestabili. Taigi sistema gali veikti esant siauresniam kintamo parametro išderinimo laipsniui, nei parametriškai adaptyvi sistema.

3.2.3 Apkrovos momento įtakos tyrimas

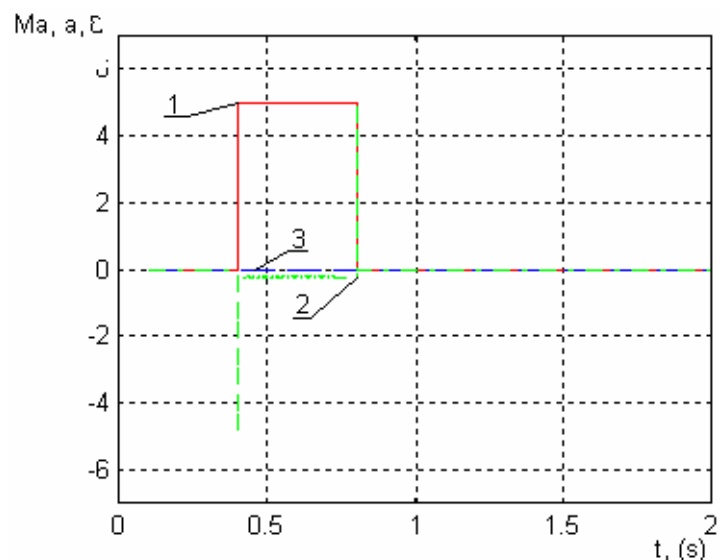
Atliekant šį tyrimą, siekiama nustatyti sistemos elgseną atsiradus apkrovos momentui M_a , jos reakcijos į apkrovą ir kaip keičiasi adaptavimosi kokybė. 3.2.3.1 paveiksle pateiktame modelyje parodyta, kaip adaptyvioje valdymo sistemoje, sudarytoje signalinės adaptacijos principu, veikia apkrovos momentas.



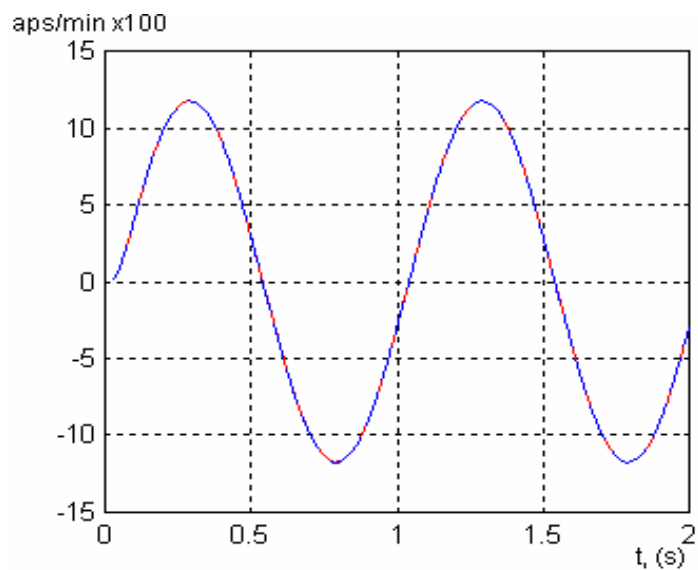
3.2.3.1 pav. Adaptyvi valdymo sistema, sudaryta signalinės adaptacijos principu, kai paduodamas apkrovos momentas.

Sistemos pradinė būsena yra stabili. Po 0.4 s sekundžių paduodamas apkrovos momentas, kurio dydis 5 Nm ir jis trunka 0.4 s. Iš tyrimų galima spręsti, kad atsiradus apkrovos momentui sistema išlaiko stabilumą (3.2.3.2 pav.) ir (3.2.3.3 pav.). Nesimato jokių išsikraipymų, kurie galėtų byloti apie pablogėjusią adaptacijos kokybę. Tokie pat geri rezultatai yra ir prie didesnių apkrovos momento reikšmių.

3.2.3.2 pav. Čia 1 – apkrovos momentas kai $M_a=5$ Nm; 2 – signalas išeinantis iš adaptacijos bloko; 3 – nuokrypio signalas



3.2.3.3 pav. *Apkrovos momento įtaka dinaminei greičio charakteristikai, kai M_a lygi 5 Nm*



Apibendrinat tyrimą galima teigti, kad šiai sistemai apkrova didelės įtakos nedaro. Dinamika visiškai nepasikeitė atsiradus apkrovai ir jai dingus (3.2.3.3 pav.). Ši sistema puikiai tinka apkrovos sąlygomis veikiančių sistemų su kintamais objekto parametrais valdymo kokybei gerinti.

4. Iširtųjų adaptyvaus valdymo metodų palyginimas ir darbo rezultatų apibendrinimas

Tyrimo uždavinys buvo iširti parametrinės adaptacijos ir signalinės adaptacijos sistemų adaptavimosi greitį. Nustatyti šioms sistemoms maksimalų leistiną nestabilaus parametro kitimo greitį ir jo diapazoną. Įvertinti išorinių faktorių įtaką.

Kalbant apie adaptacijos proceso greitį, tai greičiausiai atlieka sistema veikianti signalinės adaptacijos principu. Bet šios sistemos adaptavimosi diapazonas nėra didelis. Išsiderinus parametru (inercijos momentui) daugiau nei 7 kartus, sistemos adaptavimo kokybė labai pablogėja. Sistemai veikiančiai parametrinės adaptacijos principu, signalui adaptuoti reikalingas pereinamasis procesas. Ši sistema sparčiausiai adaptuoja kai parametras kinta iki 10 kartų. Toliau įvyksta lūžis ir adaptacijos greitis 8,5 karto sulėtėja.

Kintančio parametro greičio ir amplitudės tyrimas parodė, kad sistema veikianti parametrinės adaptacijos principu, gali adaptuoti labai išsiderinusį parametru, kurio amplitudė išaugo kelias dešimtis kartų. Kuo didesnė parametro amplitudė, tuo žemesniu dažniu jis turi kisti, kad sistema galėtų jį suadaptuoti. Visai kitokia yra sistema veikianti signalinės adaptacijos principu. Sistema yra stabili prie bet kokio dažnio, bet parametro amplitudės dydis yra ribotas. Jis gali išaugti tik 27 kartus, nes būdamas dar didesnis viršys h_{\max} ribą ir sistema taps nestabili.

Sistema veikianti parametrinės adaptacijos principu netinka sistemoms, kurios dirba po apkrova, nes nevyksta adaptacijos procesas. Sistemai veikiančiai signalinės adaptacijos principu apkrova didelės įtakos nedaro, todėl ją galima naudoti šiose sistemose.

Įvertinus parametrinės adaptacijos galimybes, geriausiai tokią sistemą taikyti ten, kur nėra staigių parametru pasikeitimų ir kur parametro amplitudė gali būti išderinta daug kartų. Reikėtų taikyti prieš jungiant įrenginį darbui, jį trumpai pajungiant derinimo režimui, o kai sistema susiderina adaptacijos bloką reikia išjungti

Įvertinus signalinės adaptacijos galimybes, geriausia tokią sistemą taikyti ten, kur parametrai labai dažnai keičiasi, bet jų amplitudė daug neišsiderina. Tokia sistema gali būti naudojama dirbantiems įrenginiams kai yra apkrova. Apibendrinat darbą, galima suformuluoti tokias išvadas

1. Darbe atliktas etaloniniu modeliu grįstų adaptyvaus valdymo metodų taikymo mechatroninių vykdymo sistemose efektyvumo tyrimas, nustatant adaptavimosi greitį, leistiną parametru kitimo greitį bei amplitudę ir išorinių trikdžių (apkrovos momento) įtaką.

2. Tyrimas atliktas modeliuojant MATLAB Simulink aplinkoje. Sudarant etaloninį modelį priimta, kad bazinė greičio reguliavimo sistema sudaryta taikant tradicinį variklio momento ir greičio hierarchinio valdymo principą, o srovės ir greičio reguliatoriai suderinti remiantis kiekybinio optimumo kriterijumi.
3. Adaptacijos proceso greitis ištirtas sistemos įėjime veikiant harmoniniam valdymo signalui leidžia kiekybiškai įvertinti ir tarpusavyje palyginti parametrinės ir signalinės adaptacijos metodų greitaveiką ir efektyvumą.
4. Parametro kitimo greičio ir amplitudės tyrimas atliktas priėmus, kad kintamasis objekto parametras periodiškai kinta harmoniniu dėsniu. Keičiant harmoninio signalo dažnį ir amplitudę nustatytas leistinas parametro kitimo greitis ir maksimali jo amplitudė. Sistema veikianti parametrinės adaptacijos principu pasižymi savybe, kad kuo didesnė parametro amplitudė, tuo mažesnis turi būti jo kitimo greitis, kad sistema spėtų prie jo prisiderinti. Sistemoje veikiančioje signalinės adaptacijos principu parametro kitimo greičio ir amplitudės tyrimas parodė, kad sistema yra stabili prie bet kokio dažnio, bet parametro amplitudės dydis yra apibrėžtas.
5. Nustatyta apkrovos momento įtaka parametrinės ir signalinės adaptacijos sistemų adaptavimosi kokybei. Sistema veikianti parametrinės adaptacijos principu negali dirbti apkrauta. O sistemoms veikiančioms signalinės adaptacijos principu apkrova didelės įtakos nedaro.

Literatūra

1. Geleževičius V., Krikščiūnas K., Kubilius V., 1990, Elektros pavarų valdymo sistemos. Vilnius: Mokslas.
2. Daunoras J., 2001, Dinaminių sistemų modeliavimas naudojant matlab/simulink. Kaunas: Technologija
3. Ред. Копылова И. П., 1988, Справочник по электрическим машинам. Т.1.- М.: Энергоатмиздат.
4. Benjamin C. Кuo, 1987, Automatic control systems, New Jersey: Ehglewood Cliffts
5. Павлов Б.В., Соловьев И.Г., 1989, Системы прямого адаптивного управления. М.: Наука.
6. Уидроу Б., Стириз С., 1989, Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь.
7. Masayoshi T., 1996, Model based Prediction, preview and robust control in motion control systems. Universitet of California barkeley
8. Wei Lin, 2002, kovo, Adaptyve control of nonlinearly parameterized systems: a nonsmooth feedback framework. IEEE Transactions on automatik control, vol.47, No.5
9. <http://www.people.virginia.edu/~gt9s/books.html>. (2005 04 20)
10. http://www-slab.usc.edu/~cs545/Lecture_XVI.pdf. (2005 05 15)
11. http://www-rcf.usc.edu/~ioannou/RobustAdaptiveBook95pdf/Robust_Adaptive_Control.pdf. (2005 05 15)
12. <http://evesque.stephanie.free.fr/EvesquePhD.pdf> (2005 06 05)