

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU:

Katedros vedėjas,

lekt. dr. G. Valiulis _____

(parašas)

**ADAPTYVAUS VALDYMO ELEKTROMECHANINIŲ VYKDYMO
SISTEMŲ TYRIMAS**

Magistro darbas

Vadovas

(parašas) doc. dr. N. Šulčius
2011.05.31

Atliko

(parašas) EM-9 gr. stud.
2011.05.31 D. Raudys

Recenzentas

(parašas) lekt. dr. A. Grigaitis

ŠIAULIAI, 2011

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Dainius Raudys

**ADAPTYVAUS VALDYMO ELEKTROMECHANINIŲ VYKDYMO
SISTEMŲ TYRIMAS**

Magistro darbas

Vadovas

doc. dr. N. Šulčius

ŠIAULIAI, 2011

SUMMARY

Raudys D. Investigation of Adaptive Electromechanical Servo Systems: Master thesis of energetic engineer, advisor Assoc. Prof. Dr. N.Šulčius; Šiauliai University, Technological Faculty, Electrical Engineering Department. – Šiauliai, 2011. – 59p.

The theme of this Master project is actual, because it is new and effective step to elevate electrical drives, and also improves the quality of mechanism control. Adaptive speed control system allows the application of the parametric and the signal adaptation principle. In an adaptive control system, which is consist of parametric adaptation principle the change of the controlled object parameters causes the change of the controller settings so that control quality of the system remains constant. Using the signal adaptation principle, the adaptation block forms additional control signal, which acts in a regulator input and guarantees a constant quality of system control, when the object parameters are changing.

There has been made research of the parametric adaptation principle application in the electromechanical servo drives. It has been determined that this adaptation principle has disadvantages – adaptation is not instantaneously, but after few cycles. Static load causes the static deviation of the speed. So using the parametric adaptation the moment of inertia is compensated, but load torque can't be compensated. The results of the investigation of the signal adaptation principle application in the electromechanical servo drives demonstrate that this adaptation is instantaneously and it does not affected by the load. The signal adaptation compensates the change of the moment of inertia and load torque. The P-PI variable structure controller compensates only the change of the static load avoiding the static deviation of the speed. The quality of the dynamics of the electromechanical servo system with signal adaptation and P-PI variable structure controller have been evaluated and compared using direct and indirect indicators of the system quality.

TURINYS

.....	2
.....	2
<u>LENTELIŲ SĄRAŠAS.....</u>	<u>5</u>
<u>PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....</u>	<u>6</u>
<u>IŽANGA.....</u>	<u>9</u>
<u>1. ADAPTYVUS ELEKTROMECHANINIŲ SISTEMŲ VALDYMAS.....</u>	<u>10</u>
<u>1.1 Adaptyvaus valdymo principai.....</u>	<u>10</u>
<u>1.2 Adaptyvių elektromechaninių vykdymo sistemų sudarymo principai.....</u>	<u>13</u>
<u>1.3 Parametrinė adaptacija elektromechaninėse vykdymo sistemose.....</u>	<u>15</u>
<u>1.4 Signalinė adaptacija elektromechaninėse vykdymo sistemose.....</u>	<u>17</u>
<u>2. PARAMETRINĖS ADAPTACIJOS PRINCIPŲ VEIKIANČIOS ELEKTROMECHANINĖS</u>	
<u>VYKDYMO SISTEMOS TYRIMAS.....</u>	<u>19</u>
<u>2.1. Elektromechaninės vykdymo sistemos modelio sudarymo metodika.....</u>	<u>19</u>
<u>2.2. Statinio apkrovos ir inercijos momentų kitimo įtakos valdymo kokybei tyrimas.....</u>	<u>22</u>
<u>3. SIGNALINĖS ADAPTACIJOS PRINCIPŲ VEIKIANČIOS ELEKTROMECHANINĖS</u>	
<u>VYKDYMO SISTEMOS TYRIMAS.....</u>	<u>28</u>
<u>3.1 Signalinės adaptacijos principų veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos modelio</u>	
<u>sudarymas MATLAB/Simulink programa.....</u>	<u>28</u>
<u>3.2 Statinio apkrovos ir inercijos momentų kitimo įtakos valdymo kokybei tyrimas.....</u>	<u>29</u>
<u>4. ELEKTROMECHANINĖS VYKDYMO SISTEMOS SU KINTAMOS STRUKTŪROS</u>	
<u>REGULIATORIUMI TYRIMAS.....</u>	<u>38</u>
<u>4.1 Elektromechaninės sistemos su P-PI reguliatoriumi modelio sudarymas MATLAB/Simulink</u>	
<u>programa.....</u>	<u>38</u>
<u>4.2 Statinio apkrovos ir inercijos momentų kitimo įtakos valdymo kokybei tyrimas.....</u>	<u>40</u>
<u>5. ADAPTYVIŲJŲ ELEKTROMECHANINIŲ VYKDYMO SISTEMŲ DINAMIKOS KOKYBĖ</u>	
.....	45
<u>5.1 Elektromechaninės sistemos dinamikos kokybės įvertinimo metodika.....</u>	<u>45</u>
<u>5.2 Elektromechaninės sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi dinamikos kokybės</u>	
<u>nustatymas.....</u>	<u>46</u>
<u>5.3 Signalinės adaptacijos principų veikiančios elektromechaninės sistemos dinamikos kokybės</u>	
<u>nustatymas.....</u>	<u>49</u>
<u>5.4 Adaptyviųjų elektromechaninių sistemų dinamikos kokybės palyginimas.....</u>	<u>53</u>
<u>IŠVADOS.....</u>	<u>57</u>
<u>LITERATŪRA.....</u>	<u>58</u>

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Nuolatinės srovės variklio duomenys.

2 lentelė. P-PI kintamos struktūros regulatoriaus perjungimo parametro verčių priklausomybė nuo statinės apkrovos.

3 lentelė. IAE integralinio rodiklio priklausomybė nuo statinės apkrovos.

4 lentelė. Maksimumo pasiekimo trukmės priklausomybė nuo statinės apkrovos.

5 lentelė. IAE integralinio rodiklio priklausomybė nuo statinės apkrovos esant signalinei adaptacijai.

6 lentelė. Maksimumo pasiekimo trukmės priklausomybė nuo statinės apkrovos esant signalinei adaptacijai.

7 lentelė. Dinamikos kokybės palyginimas remiantis IAE integraliniu rodikliu.

8 lentelė. Dinamikos kokybės palyginimas remiantis tiesioginiu kokybės rodikliu.

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1.1 pav. Adaptyvaus valdymo ryšiai.
- 1.2 pav. Reguliatoriaus parametrų verčių keitimo metodo funkcinė schema.
- 1.3 pav. Adaptyvaus valdymo metodo naudojant savireguliuojantį reguliatorių funkcinė schema.
- 1.4 pav. Etaloninio modelio adaptyvaus valdymo metodo funkcinė schema.
- 1.5 pav. Parametrinės adaptacijos principo realizavimo schema.
- 1.6 pav. Adaptyvios pavaros, veikiančios signalinės adaptacijos principu, struktūrinė schema.
- 2.1 pav. Nuolatinės srovės elektros pavaros greičio reguliavimo kontūro struktūrinė schema.
- 2.2 pav. Kiekybiškai optimalaus valdymo kontūro pereinamoji charakteristika.
- 2.3 pav. Nuolatinės srovės elektros pavaros modelis MATLAB/SIMULINK programa.
- 2.4 pav. Parametrinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos modelis MATLAB/SIMULINK programa.
- 2.5 pav. Parametrinė adaptacija, kai nėra apkrovos, sistema neišderinta.
- 2.6 pav. Parametrinė adaptacija esant apkrovai, sistema neišderinta.
- 2.7 pav. Parametrinė adaptacija, kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas du kartus.
- 2.8 pav. Parametrinė adaptacija esant apkrovai, kai inercijos momentas padidintas du kartus.
- 2.9 pav. Reguliatoriaus koeficiento kreivė, kai nėra apkrovos.
- 2.10 pav. Reguliatoriaus koeficiento kreivė esant apkrovai.
- 2.11 pav. Parametrinės adaptacijos greičio kreivės esant apkrovai.
- 3.1 pav. Signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos modelis MATLAB/SIMULINK programa.
- 3.2 pav. Signalinė adaptacija, kai nėra apkrovos esant neišderintai sistemai.
- 3.3 pav. Signalinė adaptacija esant apkrovai, kai neišderinta sistema.
- 3.4 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė, kai nėra apkrovos.
- 3.5 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė esant apkrovai.
- 3.6 pav. Signalinė adaptacija, kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas du kartus.
- 3.7 pav. Signalinė adaptacija esant apkrovai ir kai inercijos momentas padidintas du kartus.
- 3.8 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė, kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas du kartus.
- 3.9 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė esant apkrovai ir inercijos momentas padidintas du kartus.
- 3.10 pav. Signalinė adaptacija, kai nėra apkrovos esant išderintai sistemai ir inercijos momentas padidintas tris kartus.

- 3.11 pav. Signalinė adaptacija esant apkrovai, kai išderinta sistema ir inercijos momentas padidintas tris kartus.
- 3.12 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė, kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas tris kartus.
- 3.13 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė esant apkrovai ir inercijos momentas padidintas tris kartus.
- 3.14 pav. Signalinė adaptacija, kai nėra apkrovos esant išderintai sistemai ir inercijos momentas sumažintas 2 kartus.
- 3.15 pav. Signalinė adaptacija esant apkrovai, kai išderinta sistema ir inercijos momentas sumažintas du kartus.
- 3.16 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė, kai nėra apkrovos ir inercijos momentas sumažintas du kartus.
- 3.17 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė esant apkrovai ir inercijos momentas sumažintas du kartus.
- 4.1 pav. Elektromechaninės vykdymo sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi modelis MATLAB/Simulink programa.
- 4.2 pav. Perjungimo laiko priklausomybė nuo apkrovos.
- 4.3 pav. Nėra pakitęs inercijos momentas ir nėra apkrovos.
- 4.4 pav. Apkrova lygi pusei nominalios ir nėra pakitęs inercijos momentas.
- 4.5 pav. Apkrova lygi nominaliajai ir nėra pakitęs inercijos momentas.
- 4.6 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas du kartus.
- 4.7 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas tris kartus.
- 4.8 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas keturis kartus.
- 4.9 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas sumažintas du kartus.
- 4.10 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas sumažintas tris kartus.
- 4.11 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas sumažintas keturis kartus.
- 5.1 pav. Maksimumo pasiekimo trukmė.
- 5.2 pav. Elektromechaninės vykdymo sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi ir IAE integraliniu rodikliu modelis MATLAB/Simulink programa.
- 5.3 pav. IAE integralinio rodiklio priklausomybė nuo apkrovos.
- 5.4 pav. Maksimumo pasiekimo trukmės priklausomybė nuo statinės apkrovos.
- 5.5 pav. IAE integralinio rodiklio kreivė, kai apkrova lygi pusei nominalios.
- 5.6 pav. IAE integralinio rodiklio kreivė, kai apkrova lygi nominaliajai.
- 5.7 pav. Signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos su IAE integraliniu rodikliu modelis MATLAB/Simulink programa.

- 5.8 pav. Signalinės adaptacijos IAE priklausomybė nuo apkrovos.
- 5.9 pav. Maksimumo pasiekimo trukmės priklausomybė nuo statinės apkrovos esant signalinei adaptacijai.
- 5.10 pav. IAE integralinio rodiklio kreivė, kai apkrova lygi pusei nominalios.
- 5.11 pav. IAE integralinio rodiklio kreivė, kai apkrova lygi nominaliajai.
- 5.12 pav. Signalinės adaptacijos ir P-PI kintamos struktūros reguliatoriaus IAE priklausomybės nuo apkrovos.
- 5.13 pav. Signalinės adaptacijos ir P-PI kintamos struktūros reguliatoriaus laiko priklausomybė nuo apkrovos.
- 5.14 pav. Greičio pereinamojo proceso kreivės signalinės adaptacijos ir kintamos struktūros reguliatoriaus atveju.
- 5.15. pav. Kokybės pokyčio priklausomybė nuo apkrovos.

IŽANGA

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. 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.

Adaptyvus valdymas - tai prisiderinimas prie naujų technologijų valdymo. Adaptyvaus valdymo principų taikymas – tai naujas ir efektyvus žingsnis tobulinant elektros pavaras, įgalinantis smarkiai pagerinti daugelio mechanizmų valdymo kokybę. Pirmiausia tai paliečia mechanizmus, kurie turi formuoti apskaičiuotas ar norimas kelio, pagreičio, greičio trajektorijas nepriklausomai nuo apkrovos pobūdžio ir nuo kitų priežasčių, kurias yra sunku pastebėti ir įvertinti [5].

Šio darbo tikslas – ištirti elektromechaninės vykdymo sistemos adaptyvaus valdymo metodus ir nustatyti tinkamiausią taikytiną metodą sistemos parametru kitimo kompensavimui.

Darbo tikslui pasiekti iškelti šie uždaviniai:

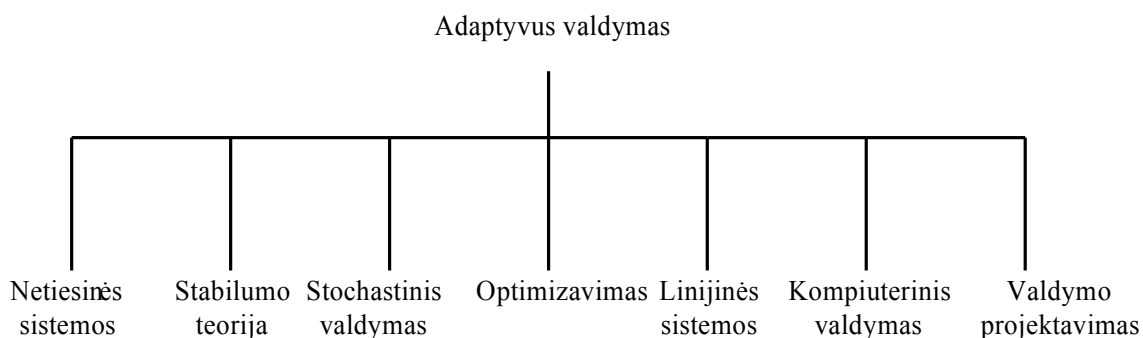
1. Sudaryti parametrinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos imitacinį modelį MATLAB/SIMULINK programa ir nustatyti tokio metodo tinkamumą statinio apkrovos ir inercijos momentų kitimo kompensavimui;
2. Sudaryti signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos imitacinį modelį MATLAB/SIMULINK programa ir nustatyti tokio metodo tinkamumą statinio apkrovos ir inercijos momentų kitimo kompensavimui;
3. Sudaryti elektromechaninės vykdymo sistemos su kintamos struktūros regulatoriumi imitacinį modelį MATLAB/SIMULINK programa ir nustatyti tokio metodo tinkamumą statinio apkrovos ir inercijos momentų kitimo kompensavimui;
4. Pasirinktu dinamikos kokybės rodikliu įvertinti sudarytųjų elektromechaninių vykdymo sistemų dinamikos kokybę ir gautus rezultatus palyginti tarpusavyje.

1. ADAPTYVUS ELEKTROMECHANINIŲ SISTEMŲ VALDYMAS

1.1 Adaptyvaus valdymo principai

Adaptyvaus valdymo koncepcija sukurta praėjusiame šimtmetyje. 1950 metais buvo atlikta daug adaptyvaus valdymo tyrimų susijusių su aukštos kokybės orlaivių autopilotų projektavimu [1]. Tokie lėktuvai skrido įvairiais greičiais ir įvairiame aukštyje. Buvo nustatyta, kad paprastas pastovių parametrų tiesinis grįžtamasis ryšys gerai veikia viename kokiame nors darbo režime, bet pasikeitusios darbo sąlygos sukeldavo sunkumų. Tačiau ir toliau buvo reikalingas inovatyvesnis reguliatorius, galintis gerai dirbti įvairiuose sistemos darbo režimuose. 1960 metais atlikti automatinio valdymo teorijos papildymai – būsenų erdvė ir stabilumo teorija buvo svarbūs adaptyvaus valdymo vystimuisi. Taip pat būta svarbių rezultatų stochastinio valdymo teorijoje. Bellman sukurtas dinaminio programavimo metodas padidino supratimą apie adaptyvius procesus. Taip pat sparčiai tobulėjo sistemų identifikavimas ir parametrų įvertinimas. Vėlyvais 1970 ir ankstyvais 1980 metais atsirado adaptyvių sistemų stabilumo įrodymų. Greita ir revoliucinė pažanga mikroelektronikoje leido paprastai ir pigiai realizuoti adaptyvius reguliatorius. Keletas komercinių adaptyvių reguliatorių pasirodo rinkoje. Daugelyje pramoninių sistemų naudojamas adaptyvus valdymas – aviacijoje, procesų valdyme, laivyboje, robotuose ir t.t.

Adaptyvaus valdymo ryšys su kitomis sistemomis pateiktas 1.1 pav. Adaptyvus valdymas stipriai siejasi su netiesinių sistemų teorija, nes adaptyvios sistemos yra iš prigimties netiesinės. Šiuolaikinės adaptyvios sistemos yra įdiegiamos naudojant kompiuterius.



1.1 pav. Adaptyvaus valdymo ryšiai [1]

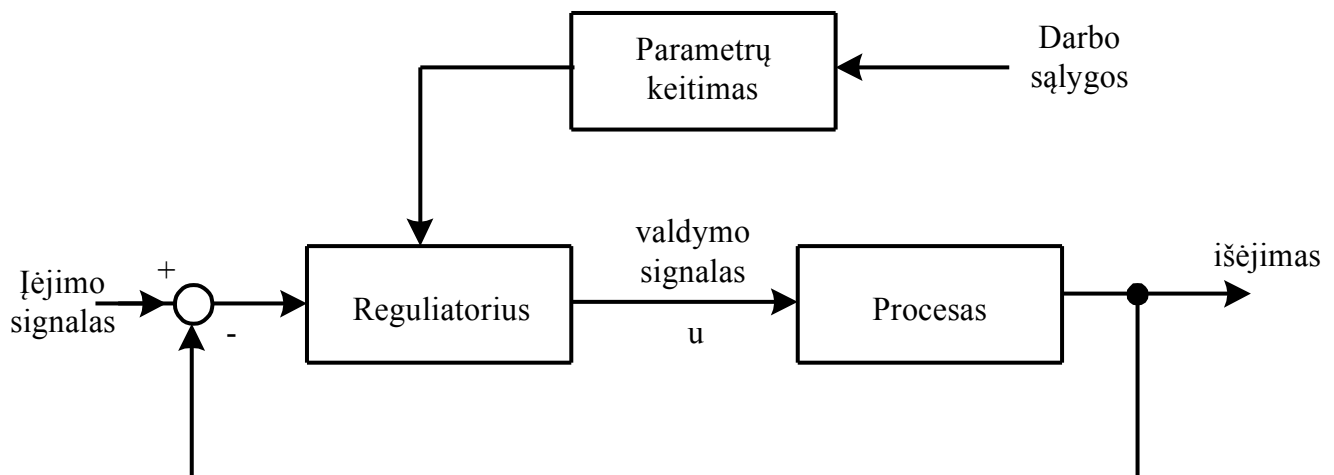
Adaptyvus reguliatorius apibūdinamas kaip reguliatorius galintis keisti savo funkcionavimą atsižvelgiant į valdomojo objekto dinamikos pokyčius bei veikiančius trikdžius [1]. Apskritai adaptyvūs reguliatoriai būna dviejų algoritmų – tiesioginio ir netiesioginio. Tiesioginiuose algoritmuose parametrai yra atnaujinami tiesiogiai. Jei reguliatoriaus parametrai yra gaunami

netiesiogiai, tuomet naudojamas terminas netiesioginis algoritmas. Priklausomai nuo proceso, galima naudoti tiesioginio arba netiesioginio veikimo algoritmo reguliatorių.

Trys pagrindiniai adaptyvaus valdymo metodai [1, 2, 3, 4]:

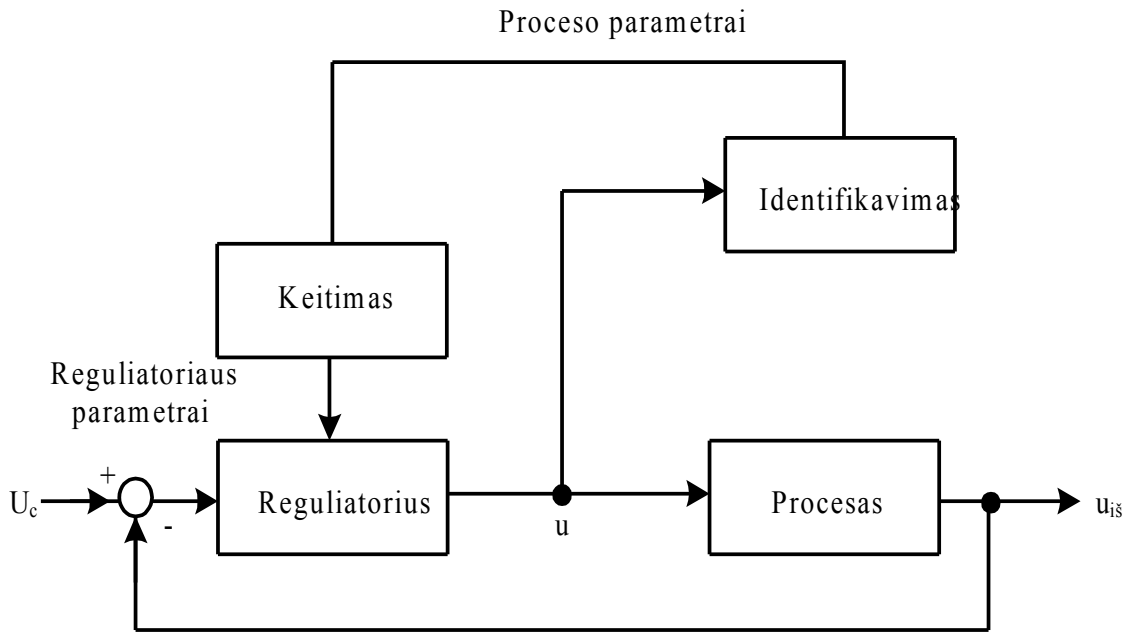
- a) Regulatoriaus parametrų verčių keitimas (angl. Gain scheduling);
- b) Savireguliuojantis reguliatorius arba objekto identifikaciją naudojantis adaptyvus reguliatorius (angl. Self-tuning regulator – STR, arba Model Identification Adaptive Controller – MIAC);
- c) Etaloninio modelio adaptyvus valdymas (angl. Model-reference adaptive control – MRAC).

Regulatoriaus parametrų verčių keitimo metodo idėja – keičiantis stebimo proceso darbo režimui keičiamos regulatoriaus parametrų vertės siekiant užtikrinti pageidaujamą valdymo kokybę. Siekiama sumažinti stebimojo proceso (objekto) parametrų kitimo įtaką sistemos valdymo kokybei keičiant regulatoriaus parametrus. Toks metodas naudojamas pavyzdžiui, lėktuvų autopilotuose. Tokio adaptyvaus valdymo metodo funkcinė schema pateikta 1.2 pav.



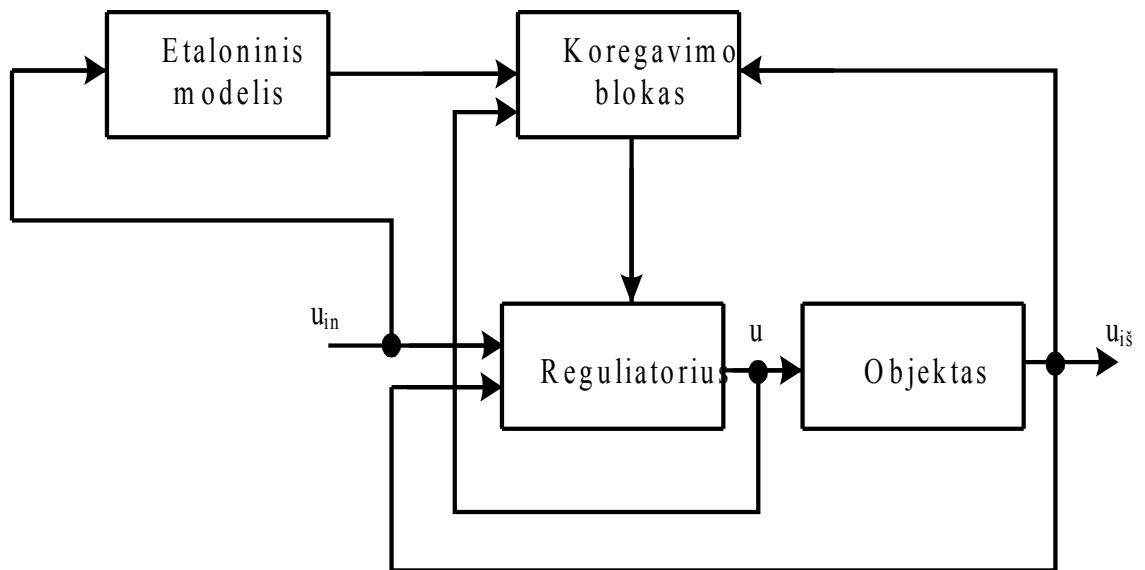
1.2 pav. Regulatoriaus parametrų verčių keitimo metodo funkcinė schema [1]

Adaptyvioje sistemoje regulatoriaus parametrai yra koreguojami nuolat. Tai reiškia, kad regulatoriaus parametrai seka pokyčius valdomajame procese ar objekte. Savireguliuojantis reguliatorius grindžiamas nežinomų parametrų įvertinimo ir regulatoriaus struktūros atskyrimo principu. Adaptyvaus valdymo metodo naudojant savireguliuojantį reguliatorių funkcinė schema pateikta 1.3 pav.



1.3 pav. Adaptyvaus valdymo metodo naudojant savireguliuojantį reguliatorių funkcinė schema [1, 2]

Etaloninio modelio adaptyvaus valdymo metodo funkcinė schema pateikta 1.4 pav.



1.4 pav. Etaloninio modelio adaptyvaus valdymo metodo funkcinė schema [2]

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.

Adaptyvaus valdymo metu yra keičiamas regulatoriaus valdymo dėsnis keičiantis valdomojo objekto parametrų vertėms ar esant joms neapibrėžtoms [2]. Pvz., skrendant lėktuvui jo masė mažėja dėl degalų suvartojimo, todėl reikalinga keisti valdymo pobūdį siekiant išlaikyti pastovų skridimo aukštį. Adaptyvus valdymas nereikalauja išankstinės informacijos apie kintančių sistemos parametrų verčių ribas.

1.2 Adaptyvių elektromechaninių vykdytojų sudarymo principai

Adaptyvaus valdymo principų taikymas - tai naujas ir efektyvus žingsnis tobulinant elektros pavaras, o taip pat pagerinant ir daugelio mechanizmų valdymo kokybę [5]. Visų pirma tai liečia mechanizmus, kurie turi formuoti pageidaujamas, iš anksto apskaičiuotas kelio, greičio, pagreičio trajektorijas nepriklausomai nei nuo apkrovos pobūdžio, nei nuo kitų priežasčių, kurias sunku numatyti arba įvertinti. Pavyzdžiui, komfortabilaus lifto pavara turi formuoti optimalias kabinos įsibėgėjimo 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 perkeliama krovinių masės ir pan. Tokių mechanizmų valdymo kokybė apibūdinama dinaminio mechanizmo charakteristikų atitikimu nustatytoms, vienokiu ar kitokiu požiūriu optimaliomis charakteristikomis.

Naudojant panašius mechanizmus valdyti pavaras su pastoviai suderintais regulatoriais, kurių parametrai optimizuoti esant tam tikroms (vidutinėms) mechanizmų kintamųjų parametrų reikšmėms, pasikeitus šiems parametrams, valdymo kokybė pablogėja, o parametrams kintant plačiose ribose, valdymo kokybė gali tapti iš viso nepriimtina. Tokiu atveju reikia sukurti elektros pavaras, kurių regulatoriai būtų automatiškai perderinami kintant mechanizmo parametrams, t.y. prisitaikytų prie pakitusių mechanizmo parametrų, ir kokybė leistiname šių parametrų kitimo diapozone išliktų nepakitusi [5].

Kuriant adaptyvias elektros pavarų valdymo sistemas, remiamasi bendrais adaptyvių automatinio valdymo sistemų sudarymo principais. Norint, kad adaptyvi valdymo sistema funkcionuotų, reikia nuolat identifikuoti valdymo objektą (nuolat matuoti jo parametrus) ir, remiantis šia informacija, perderinti regulatorius arba suformuoti valdymo signalus taip, kad valdymo kokybė tenkintų keliamus reikalavimus. Elektros pavaros valdymo sistemos valdymo objektas – jos jėgos grandinė: galios keitiklis, variklis ir mechanizmas. Kintamieji parametrai gali būti: galios keitiklio (valdomojo lygintuvo) stiprinimo koeficientas, kintantis kintant darbo taškui, variklio elektromechaninė laiko konstanta, kintanti kintant žadinimo srautui, mechanizmo inercijos momentas arba masė, kintantys keičiantis kroviniui ir t. t. [5].

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 yra paremti objekto dažninių ar perėjimo charakteristikų matavimu, sudarant adaptyvias pavarų valdymo sistemas, daugiausia yra nepriimtini, nes reikia į sistemą įvesti papildomus (tęstinius) signalus arba atlikti sudėtingus matavimus. Kadangi elektros pavaros adaptyvios valdymo sistemos paskirtis – garantuoti pastovią valdymo kokybę, apibūdinama tam tikrais pereinamojo proceso rodikliais, kuriais pasižymi tam tikslui optimaliai suderinta pavara, kai valdymo objekto parametrai pastovūs, tai valdymo objektą galima identifikuoti lyginant elektros pavaros pereinamąsias charakteristikas su etaloninėmis, atitinkančias pageidaujamą valdymo kokybę. Kad gauti etalonines pereinamąsias charakteristikas yra naudojami etaloniniai modeliai [5].

Šie modeliai sudaromi visai elektros pavarai ar jos valdymo objektui, kurio parametrus reikia identifikuoti. Etaloniniai modeliai gali būti nederinamieji arba derinamieji. Nederinamieji etaloniniai modeliai yra sudaromi taip, kad jų pereinamosios charakteristikos atitiktų pageidaujamas pavaros charakteristikas, esant tam tikroms (skaičiuojamosioms) valdymo objektų kintamų parametrų reikšmėms. Kintant valdymo objekto parametrams, nederinamojo etaloninio modelio ir elektros pavaros reakcija į tą patį valdymo signalą ima nebesutapti.

Valdymo objekto parametrų pasikeitimo laipsniui nustatyti naudojamas kokybės kriterijus, kurį galima lengvai apskaičiuoti matuojant pavaros ir etaloninio modelio išėjimo signalus. Pavyzdžiui, matuojant elektros pavaros U_{Ω} ir etaloninio modelio $U_{\Omega e}$ ir formuojant nuokrypos signalą [5]:

$$\varepsilon = U_{\Omega e} - U_{\Omega}, \quad (1)$$

kokybės kriterijumi patogiau laikyti funkciją:

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

įgaunančią minimalią reikšmę, kai $\varepsilon = 0$. Gautoji (2) funkcija yra nagrinėjamos pavaros parametrų pasikeitimų matas, kuriuo remiantis perderinami pavaros reguliatoriai arba keičiamas valdymo signalas taip, kad kriterijus $F(\varepsilon)$ artėtų prie nulio ($F(\varepsilon) \rightarrow 0, t \rightarrow \infty$).

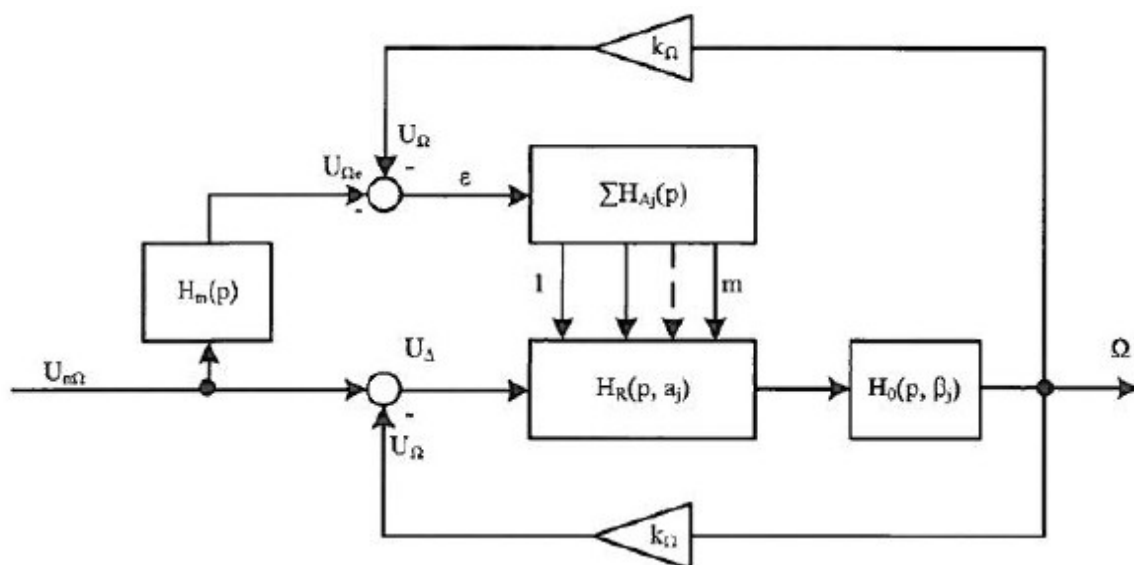
Derinamieji etaloniniai modeliai naudojami valdymo objekto nestacionariųjų parametrų reikšmėms nustatyti. Kintant valdymo objekto parametrams, apie ką byloja nuokrypa ε , keičiami ir etaloninio modelio parametrai taip, kad ši nuokrypa artėtų link nulio. Suformavę signalus, proporcingus derinamųjų etaloninio modelio parametrų reikšmėms, kai $\varepsilon = 0$, gauname informaciją apie objekto nestacionariųjų parametrų reikšmes. Šie etaloninio modelio signalai naudojami adaptyvios pavaros reguliatoriams derinti.

Adaptyvios pavarų valdymo sistemos sudaromos taikant parametrinės, signalinės arba kombinuotos adaptacijos principą. Adaptyvioje valdymo sistemoje, kuri sudaryta iš parametrinės

adaptacijos principo, kintant valdymo objekto parametrams, keičiami reguliatorių parametrai taip, kad valdymo kokybė nepakistų. Naudojant signalinės adaptacijos principą, adaptacijos blokes formuoja papildomo valdymo signalą, kuris veikia reguliatoriaus įėjime ir garantuoja pastovią valdymo kokybę, kintant valdymo objekto parametrams. taikant valdymo sistemą su kombinuota adaptacija yra naudojami ir parametrinės, ir signalinės adaptacijos elementai [5].

1.3 Parametrinė adaptacija elektromechaninėse vykdyimo sistemose

Adaptyvios pavaros su etaloniniu modeliu, sudarytos naudojant parametrinės adaptacijos principą, struktūrinė schema atvaizduota (1.5 pav.).



1.5 pav. Parametrinės adaptacijos principo realizavimo schema

Pavara sudaryta iš dviejų kontūrų: pagrindinio ir adaptacinio. Pagrindinis kontūras sudarytas iš valdymo objekto – pavaros dalies su kintančiais laiko bėgyje parametrais $\beta_i (i=1,2,\dots,n)$, 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 .

Į adaptacijos kontūrą įeina etaloninis modelis $H_m(p)$, pagrindinės reguliuojamos koordinatės (greičio) matuoklis ir adaptacijos blokas. Šis blokes naudojamas reguliatoriaus parametrams

suderinti. Adaptacijos perdavimo funkcija $\sum_{j=0}^m H_{A_j}(p)$ rodo, kad jis sudarytas iš m valdymo kanalų, kurių skaičius lygus reguliatoriaus derinamų parametru skaičiui. Nuokrypis tarp greičio signalo $U_{\Omega e}$ ir realaus greičio signalo, įėjime gauname veikiantį valdymo signalą ε [5].

Pagrindiniame kontūre pereinamieji procesai kinta daug greičiau negu valdymo objekto parametrai β_i , todėl šių parametru kitimo sritis apibrėžta sąlyga:

$$\beta_{i.\min} \leq \beta_i \leq \beta_{i.\max}, \quad (3)$$

todėl keičiant regulatoriaus parametrus ribotoje derinimo parametru srityje

$$\alpha_{j.\min} \leq \alpha_j \leq \alpha_{j.\max}, \quad (4)$$

galima pasiekti norimą valdymo kokybę, esant bet kurioms valdymo parametru β_i reikšmėms. Tuomet adaptyvios pavaros valdymo sistemos sintezė gali būti vykdoma tokiais etapais [1]:

1. Laikant valdymo objekto parametrus β_i pastoviais ir lygiais tam tikromis (vidutinėmis) reikšmėmis, nustatomi regulatoriaus parametrai a_i taip, kad pagrindinio kontūro valdymo kokybę, kurią apibūdina pereinamasis procesas tenkintų keliamus reikalvimus:

$$u_{\Omega_e}(t) = L^{-1} \left\{ \frac{H_R(p, \alpha_{j_0}) \cdot H_0(p, \beta_{i_0}) \cdot k_{\Omega}}{1 + H_R(p, \alpha_{j_0}) \cdot H_0(p, \beta_{i_0}) \cdot k_{\Omega}} \cdot U_{n\Omega}(p) \right\}; \quad (5)$$

čia: $H_0(p, \beta_{i_0})$ – valdymo objekto perdavimo funkcija, esant fiksuotoms kintamųjų parametru reikšmėms ($\beta_i = \beta_{i_0}$);

$H_R(p, a_{j_0})$ – regulatoriaus perdavimo funkcija, kai jis suderintas ($a = a_{j_0}$), 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 apibūdinama techninio optimumo sąlyga.

2. Laikant (5) procesą etaloniniu, sudaromas etaloninis modelis, tenkinantis sąlygą:

$$u_{\Omega_e}(t) = L^{-1} \{ H_M(p) \cdot U_{n\Omega}(p) \}; \quad (6)$$

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

3. Valdymo objekto išsiderinimo laipsniui nustatyti pasirenkamas kokybės kriterijus $F(\varepsilon)$, (2) pavidalo.

4. Parenkamas adaptacijos kontūro veikimo algoritmas, sudaroma jo struktūra ir parenkami parametrai taip, kad adaptacijos procesas vyktų stabiliai, o jam pasibaigus būtų tenkinama sąlyga $\varepsilon = 0$.

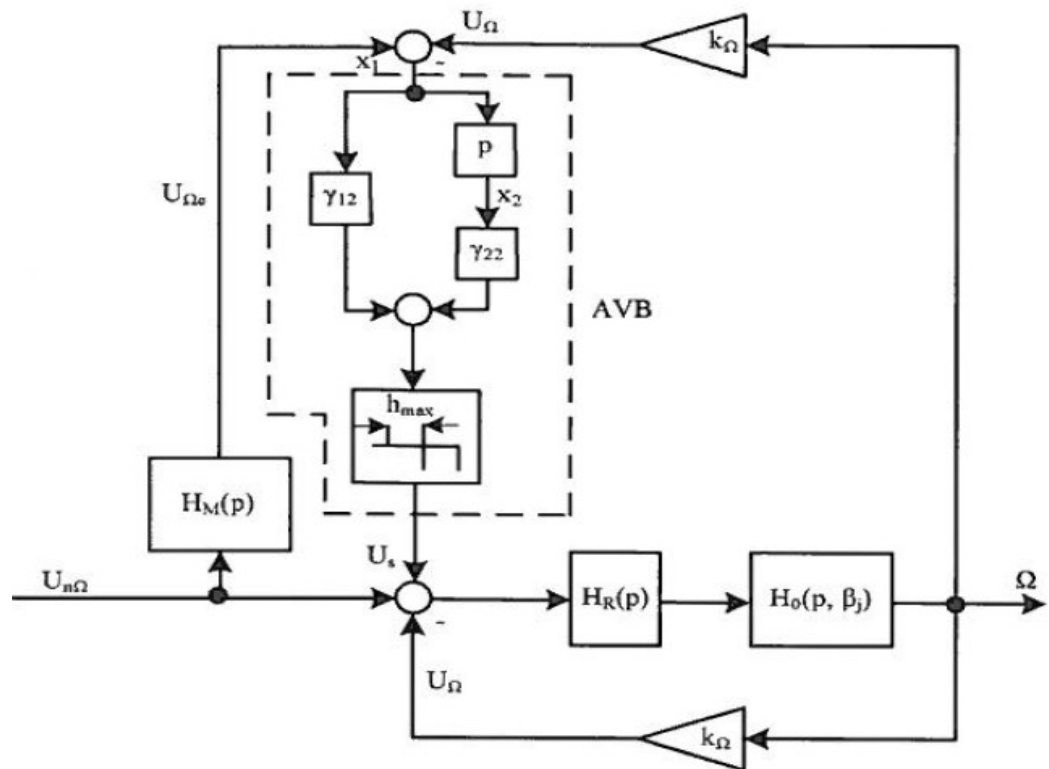
Kai kokybės kriterijus išreiškiamas funkcionalu, turinčiu ekstremumą (maksimumą ar minimumą), ir užtikrinama norima valdymo kokybė, esant ekstremaliai kokybės reikšmei, tai adaptacijos bloką galima sudaryti taip, kad būtų ieškoma ekstremumo, kaip tai daroma

ekstremaliose valdymo sistemose. Tačiau tam reikia įvesti ekstremumo paieškos judesius reguliatoriaus parametrus keisti, o dėl to adaptacijos blokes pasidaro sudėtingesnis ir veikimo sparta sumažėja.

Kuriant adaptyvias pavarų valdymo sistemas, dažniausiai naudojami adaptavimosi be paieškos principai, kai reguliatoriaus derinimas vyksta tiesiogiai kontroliuojant kokybės kriterijaus išvestinę arba jo gradientą [5].

1.4 Signalinė adaptacija elektromechaninėse vykdomo sistemose

Adaptyvios elektros pavaros, sudarytos naudojant signalinės adaptacijos principą, struktūrinė schema pateikiama 1.6 paveiksle.



1.6 pav. Adaptyvios pavaros, veikiančios signalinės adaptacijos principu, struktūrinė schema

Pagrindinį kontūrą sudaro valdymo objektas $H_0(p, \beta_i)$ su kintamais parametrais, reguliatorius $H_R(p)$, kurio parametrai nederinami, ir greičio grįžtamasis ryšys k_Ω . Adaptacijos kontūrą sudaro etaloninis modelis $H_M(p)$ ir adaptyvaus valdymo blokas AVB. Šį bloką sudaro diferenciatorius,

formuojantis nuokrypos signalo $\varepsilon = x_1 = U_{\Omega e} - U_\Omega$ išvestinę $x_2 = \frac{dx_1}{dt}$ (operatorine išraiška) $x_2(p) = px_1(p)$ dviejų stiprintuvų su stiprinimo koeficientais γ_{12} ir γ_{22} bei sumatorius, kurio išėjime gautas

signalas $\gamma_{12}x_1 + \gamma_{22}x_2$. 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 [5].

Elektros pavaros kokybė turi sutapti su techniškai optimalios hierarchinio valdymo pavaros kokybe, kurios dinamiką tiksliai apibūdina perdavimo funkcija:

$$H_M(p) = H_\Omega(p) = \frac{U_\Omega(p)}{U_{n\Omega}(p)} = \frac{1}{8 \cdot T_\mu^2 \cdot p^2 + 4 \cdot T_\mu \cdot p + 1}; \quad (7)$$

čia: T_μ – maža, nekompensuota laiko konstanta.

Pagal (7) perdavimo funkciją sudaromas etaloninis modelis, kurio reakcija į valdymo signalą, esant nulinėms pradinėms sąlygoms, išreiškiama lygtimi:

$$\frac{d^2 U_{\Omega e}}{dt^2} + a_{1m} \frac{dU_{\Omega e}}{dt} + a_{0m} U_{\Omega e} = b_{0m} U_{n\Omega}; \quad (8)$$

čia: $a_{1m} = \frac{1}{2T_\mu}$; $a_{0m} = \frac{1}{8T_\mu^2}$; $b_0 = \frac{1}{8T_\mu^2}$ – pastovūs etaloninio modelio koeficientai.

Pagrindinio elektros pavaros kontūro reakcija į tą patį valdymo signalą išreiškiama lygtimi:

$$\frac{d^2 U_\Omega}{dt^2} + a_1(t) \frac{dU_\Omega}{dt} + a_0(t) U_\Omega = b_o(t) U_{n\Omega} + b_o(t) U_s; \quad (9)$$

čia: $a_1(t)$, $a_0(t)$, $b_0(t)$ – apibrėžtoje srityje kintantys parametrai :

$$\begin{cases} a_{im} \leq a_i(t) \leq a_{im} \\ b_{0m} \leq b_0(t) \leq b_{0m} \end{cases}$$

$$U_s = h_{\max} \text{sign}(\gamma_{12}x_1 + \gamma_{22}x_2); \quad (10)$$

čia: h_{\max} – maksimali adaptacijos bloko išėjimo signalo reikšmė.

Didžiausias signalinės adaptacijos principo privalumas – adaptacija vyksta greitai, signalinės adaptacijos kontūras yra savotiškas papildomas neigiamas gryžtamasis 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 [5].

Signalinės adaptacijos principas sėkmingai taikomas ne tik elektromechaninėse, bet ir kitose mechatroninėse vykdomose – elektropneumatinėse [6, 7].

2. PARAMETRINĖS ADAPTACIJOS PRINCIPU VEIKIANČIOS ELEKTROMECHANINĖS VYKDYMO SISTEMOS TYRIMAS

2.1. Elektromechaninės vykdymo sistemos modelio sudarymo metodika

Parametrinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo 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 sukurinės 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 įmagnetinimo charakteristika yra tiesinė. Automatinėse elektros pavarose variklio greitis dažniausiai reguliuojamas keičiant inkaro įtampa U_i ir palaikant pastovią žadinimo įtampą U_z . Pagrindinis trikdys yra apkrovos momentas M_a [5].

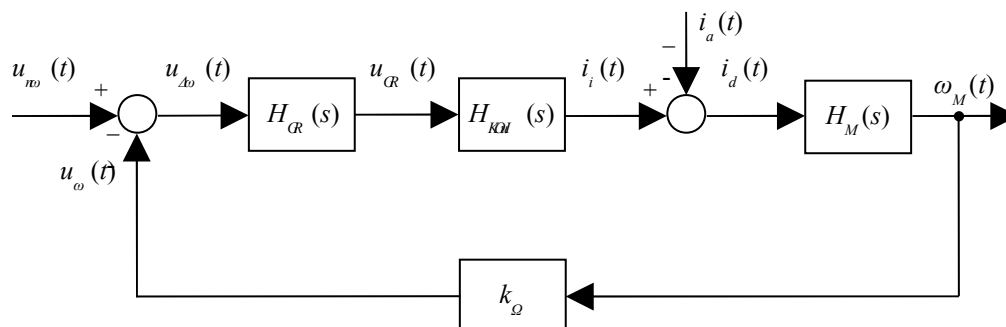
Elektromechaninėse vykdymo sistemose plačiai taikomas hierarchinio (kaskadinio) valdymo principas. Tuomet srovės reguliavimo kontūras yra pavaldus greičio reguliavimo kontūrai. Nuolatinės srovės elektros pavaros greičio reguliavimo kontūrą (2.1 pav.) sudaro variklio mechaninė dalis H_M , apibūdinama perdavimo funkcija [5]:

$$H_M(s) = \frac{R_i \cdot k_V}{T_m \cdot s} = \frac{C \cdot \Phi}{J_m \cdot s} = \frac{M_N / I_N}{J_m \cdot s}; \quad (11)$$

čia: $k_V = (C \cdot \Phi)^{-1}$ – variklio stiprinimo koeficientas, C – variklio konstrukcijos koeficientas, $\Phi = \text{const}$ – magnetinis srautas variklio oro tarpe, $T_m = J_m \cdot R_i / (C \cdot \Phi)^2$ – variklio elektromechaninė laiko pastovioji, J_m – variklio inercijos momentas, R_i – inkaro grandinės aktyvioji varža, M_N – nominalus momentas, I_N – nominali inkaro srovė; greičio grįžtamojo ryšio koeficientas k_Q , greičio regulatorius H_{GR} , ir pavaldus inkaro srovės reguliavimo kontūras, apibūdinamas perdavimo funkcija [5]:

$$H_{KQI}(s) = \frac{k_I^{-1}}{2 \cdot T_K \cdot s + 1}; \quad (12)$$

čia T_K – galios keitiklio laiko pastovioji, k_I – srovės grįžtamojo ryšio koeficientas.



2.1 pav. Nuolatinės srovės elektros pavaros greičio reguliavimo kontūro struktūrinė schema

Taikant kiekybinio optimumo kriterijų, greičio reguliatoriaus perdavimo funkcija apskaičiuojama:

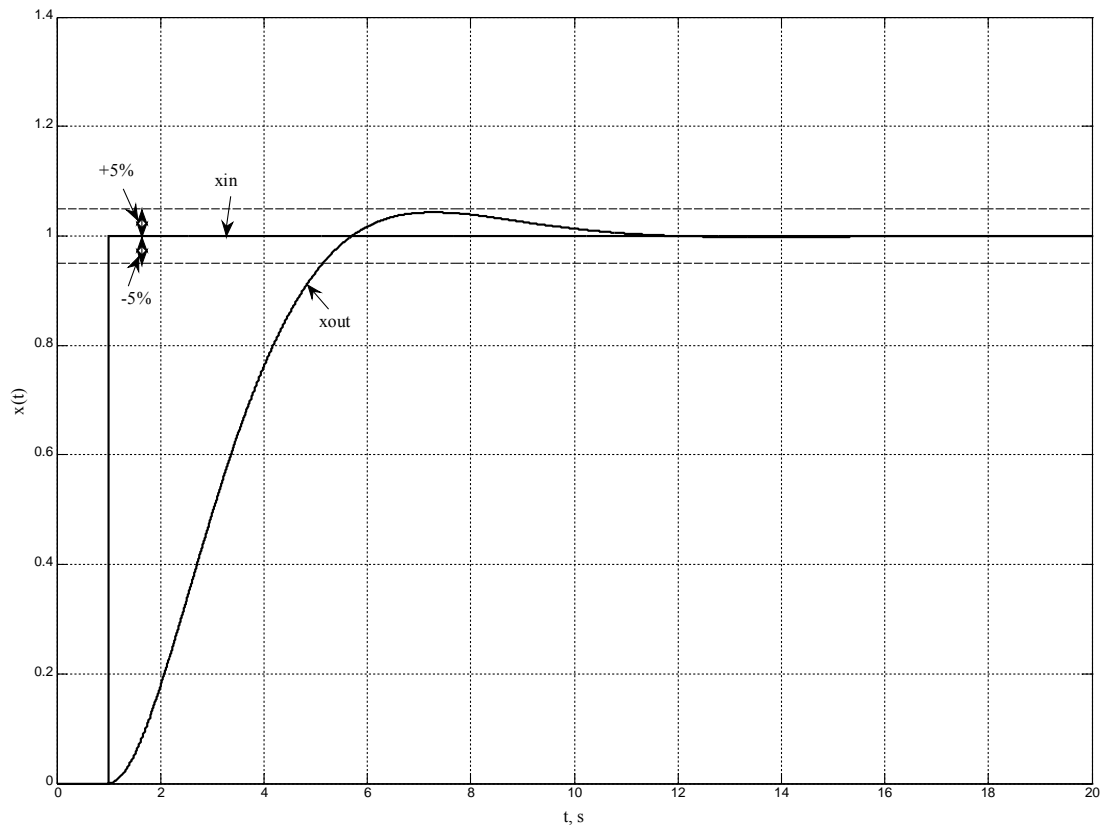
$$H_{GR.KO}(s) = \frac{k_I}{k_V \cdot k_{\Omega} \cdot R_i} \cdot \frac{T_m}{4 \cdot T_K} = k_{P\Omega} \quad (13)$$

Kaip matyti iš (13) išraiškos, kad optimizuoti greičio reguliavimo kontūrą pagal kiekybinio optimumo kriterijų, reikalingas proporcinio (P) valdymo dėsnio greičio reguliatorius [5, 11].

Etaloninio modelio perdavimo funkcija atitinkanti kiekybinį optimumą:

$$H_{etal}(p) = \frac{1}{8T_K^2 \cdot s^2 + 4T_K \cdot s + 1} \quad (14)$$

Kiekybiškai optimalaus valdymo kontūro reakcija į vienetinį šuolinį įėjimo signalą (x_{in}) pateikta 2.2 pav. x_{out} kreive. Maksimalus dinaminis nuokrypis (maksimalus persvyris) tuomet siekia tik 4,32% [5, 11].



2.2 pav. Kiekybiškai optimalaus valdymo kontūro pereinamoji charakteristika

Modeliuojant reikia remtis konkrečiais duomenimis, todėl duomenys parenkami iš nuolatinės srovės variklių katalogo [5]. Pasirinkto variklio duomenys pateikiami 1.1 lentelėje.

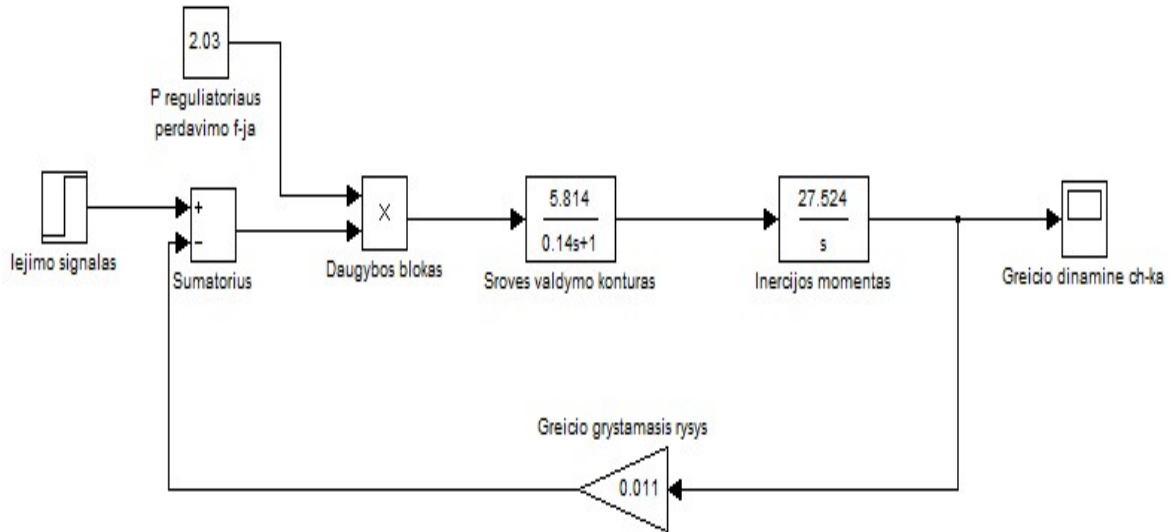
1.1 lentelė

Nuolatinės srovės variklio duomenys

Nr.	Variklio duomenys		Vertė
1.	Nominali inkaro srovė	I_n	11,6 A
2.	Nominali įtampa	U_n	220 V
3.	Nominali galia	P_n	2,1 kW
4.	Nominalus magnetinis srautas	Φ_n	5,8 mWb
5.	Nominalūs apsisukimai per min.	Ω_{vn}	750 aps/min
6.	Nominalus momentas	M_n	26,5 Nm
7.	Nominalus naudingumo koef.	η_n	76,5
8.	Inkaro apvijų varža prie 15°C	R_a	0,99 Ω
9.	Papildomų polių varža prie 15°C	R_p	0,72 Ω
10.	Keitiklio laiko pastovioji	T_k	0,07 s
11.	Greičio perdavimo koef.	$k_\Omega = \frac{10}{1,2 \cdot \Omega_{vn}}$	0,011
12.	Inkaro srovės perdavimo koef.	$k_I = \frac{10}{I_{\max}}$	0,172
13.	Variklio perdavimo koef.	$k_v = k_m = \frac{1}{C\Phi}$	0,44
14.	Koef. susijęs su varikliu	$C\Phi = \frac{M_n}{I_n}$	2,28 Nm/A
15.	Keitiklio perdavimo koef.	$k_k = \frac{U_{vn}}{10}$	22
16.	Inercijos momentas	J_m	0,083 kg m ²
17.	Maksimalus sukimo momentas	M_{\max}	132,5 Nm
18.	Maksimali srovė	$I_{\max} = \frac{M_{\max}}{C\Phi}$	58,11 A
19.	Šiluminė laiko pastovioji	T_T	55,8min
20.	Elektromechaninė laiko pastovioji	T_M	27,19 ms
21.	Elektromagnetinė laiko pastovioji	T_E	18,13 ms

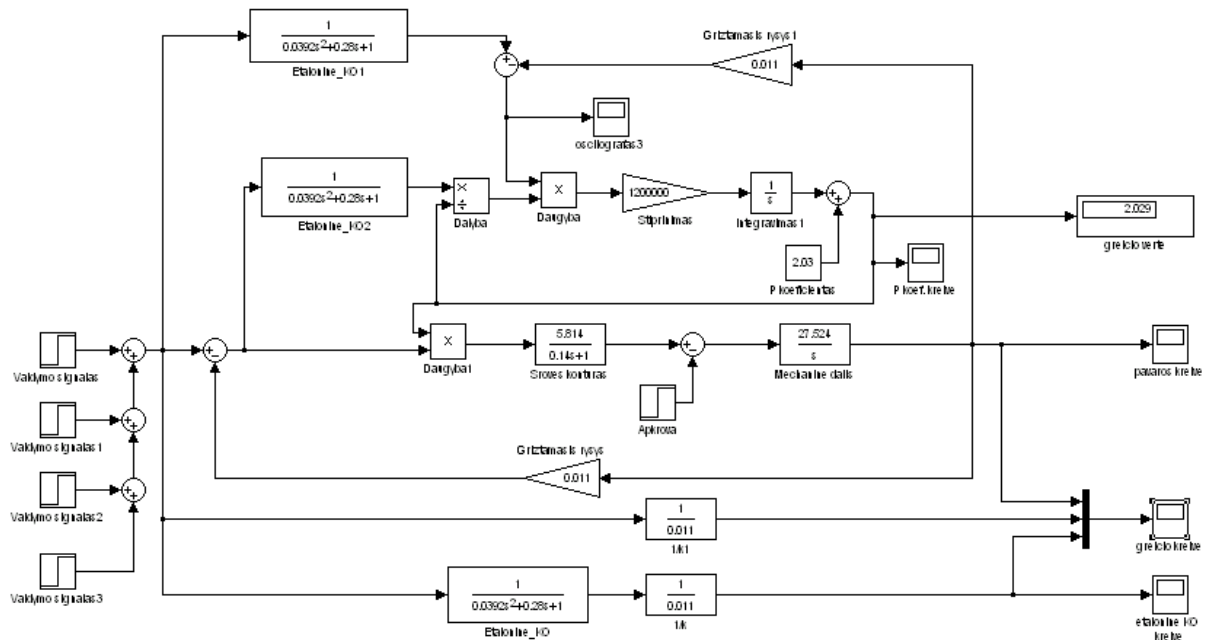
2.2. Statinio apkrovos ir inercijos momentų kitimo įtakos valdymo kokybei tyrimas

Pagal 2.1 skyrelyje pateiktą metodiką sudarytas nuolatinės srovės elektros pavaros modelis MATLAB/SIMULINK programa (2.3 pav.).



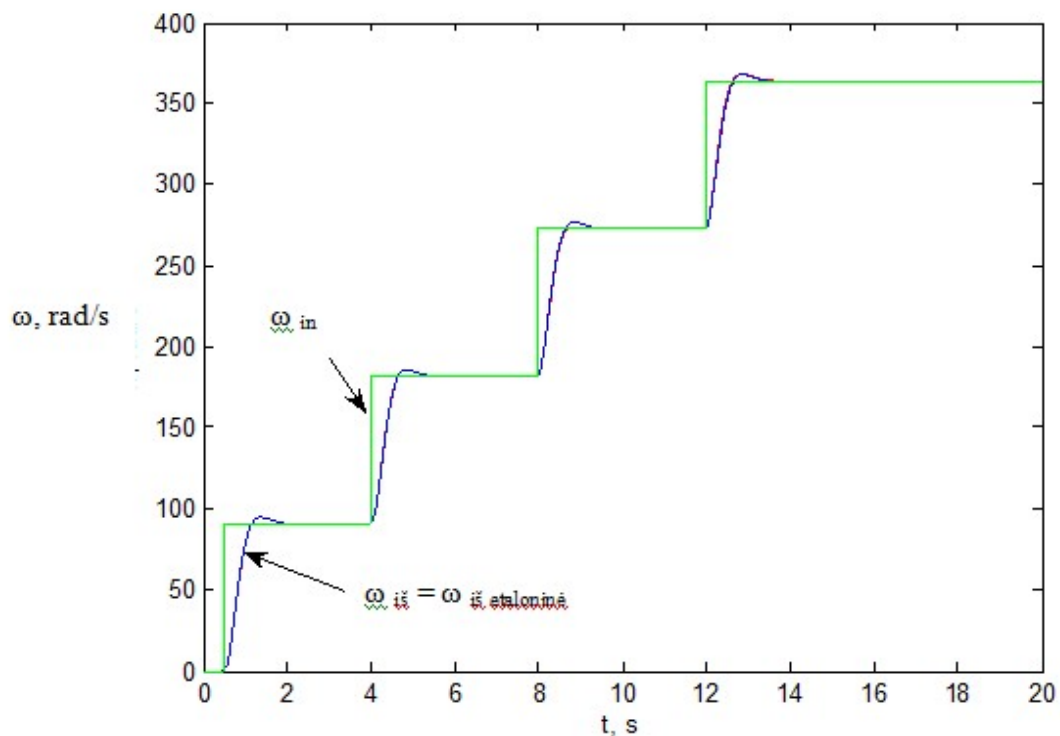
2.3 pav. Nuolatinės srovės elektros pavaros modelis MATLAB/SIMULINK programa

Prie nuolatinės srovės elektros pavaros modelio buvo prijungtas parametrinės adaptacijos kontūras. Šioje valdymo sistemoje kintant valdymo objekto parametru – inercijos momentui, automatiškai keičiamas reguliatoriaus stiprinimo koeficientas siekiant išlaikyti optimalią pereinamojo proceso dinamiką atitinkančią kiekybinį optimumą. Sudarytas parametrinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos modelis MATLAB/SIMULINK programa pateiktas 2.4 pav.

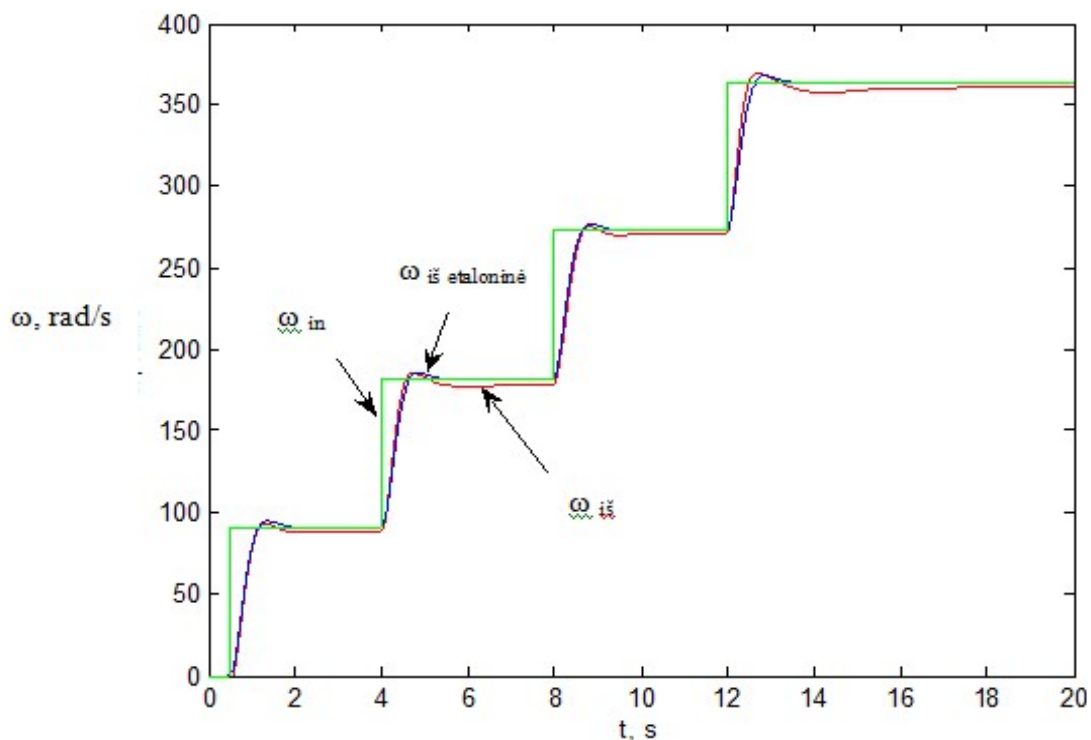


2.4 pav. Parametrinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos modelis MATLAB/SIMULINK programa

Parametrinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdomo sistemos greičio pereinamojo proceso kreivės – reakcijos į šuolinį valdymo signalo pokytį, kai nėra statinės apkrovos ir sistema nėra išderinta – nėra pakitęs inercijos momentas pateikta 2.5 pav. (ω_{in} - įėjimo signalas; $\omega_{i\acute{s}}$ etaloninė- etaloninis išėjimo signalas; $\omega_{i\acute{s}}$ -išėjimo signalas). Tuomet greičio dinaminis nuokrypis neviršija 5% ir atitinka kiekybinį optimumą.

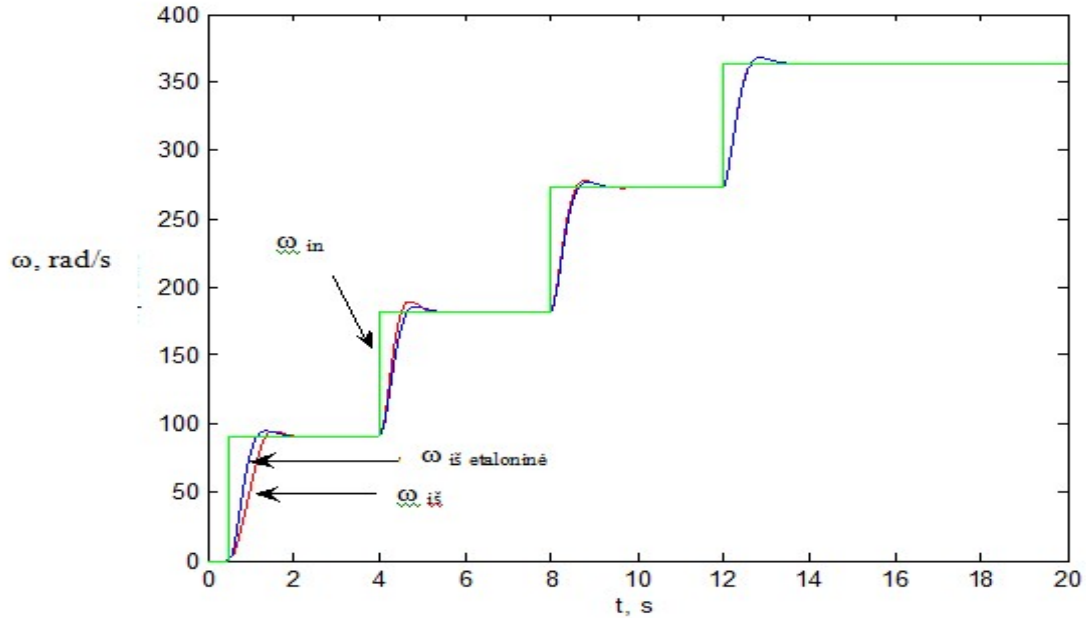


2.5 pav. Parametrinė adaptacija, kai nėra apkrovos, sistema neišderinta

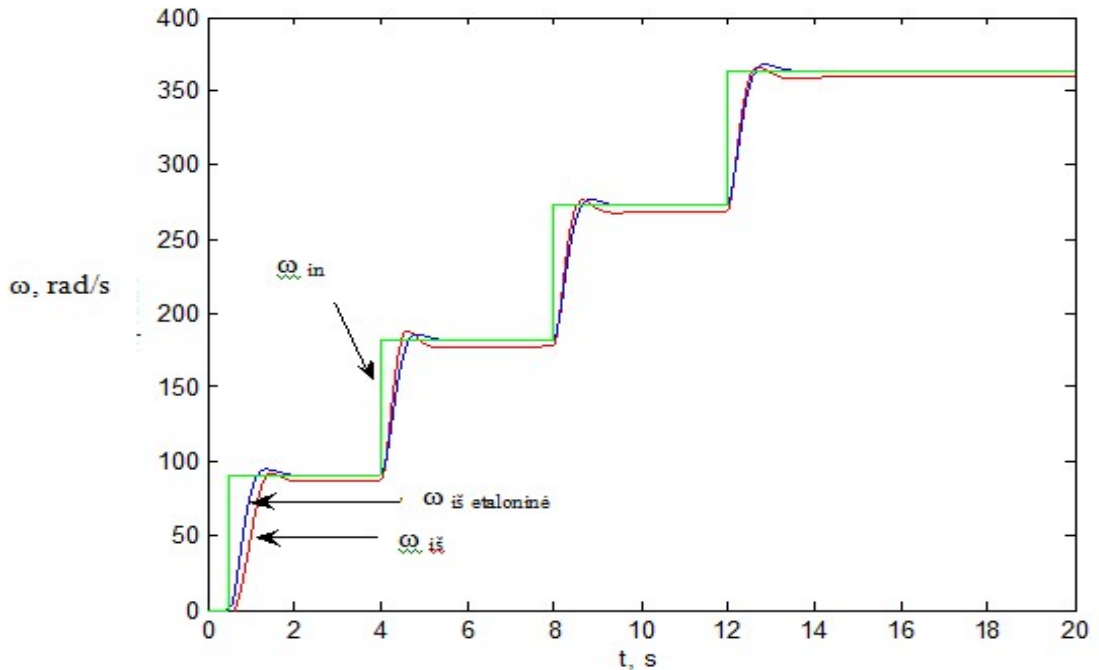


2.6 pav. Parametrinė adaptacija esant apkrovai, sistema neišderinta

Tačiau esant statinei apkrovai parametrinės adaptacijos principu veikiančioje elektromechaninėje vykdymo sistemoje gaunamas greičio statinis nuokrypis, tai matyti iš 2.6 pav. Inercijos momentą padidinus du kartus iki $J_m=0,166 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ t.y. išderinus sistemą, greičio pereinamojo proceso kreivės pateiktos 2.7 ir 2.8 pav. Matyti, kad pilnai sistema adaptuotusi – greičio kreivė atitiktų etaloninę reikia keleto ciklų. Vieno ciklo metu sistema nespėja adaptuotis.

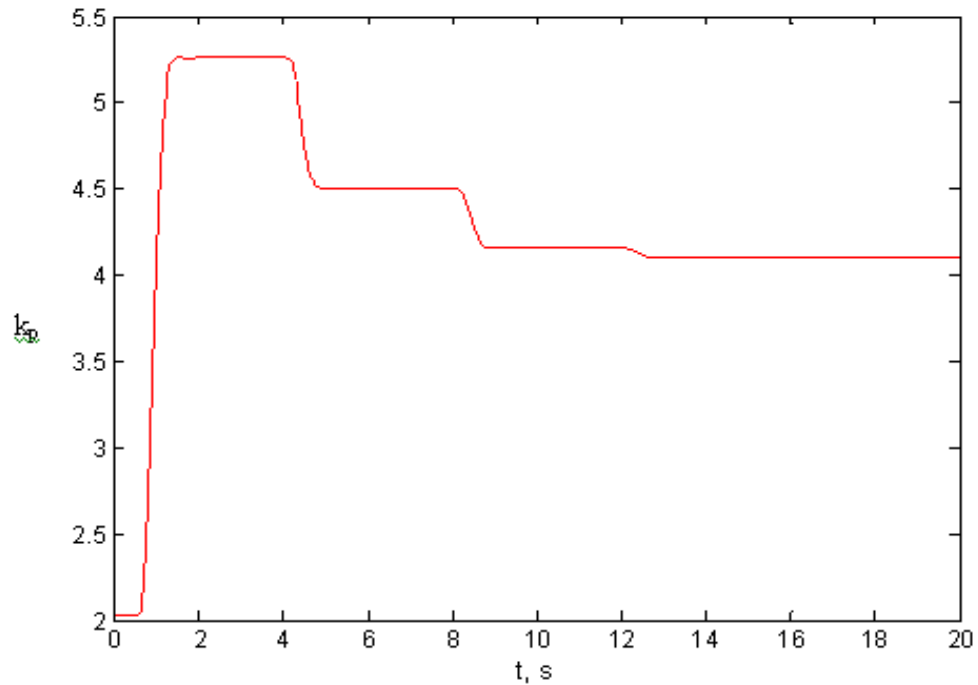


2.7 pav. Parametrinė adaptacija, kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas du kartus

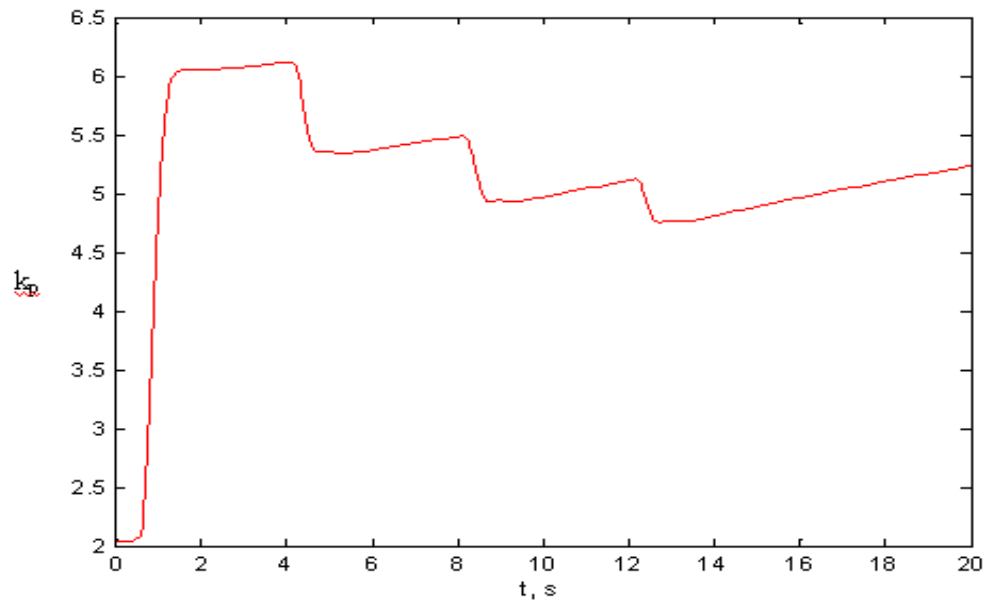


2.8 pav. Parametrinė adaptacija esant apkrovai, kai inercijos momentas padidintas du kartus

Adaptacijos proceso metu sistemoje keičiamas parametras – greičio regulatoriaus stiprinimo koeficiento vertė, kurio kreivės pateiktos 2.9 ir 2.10 pav., kai nėra apkrovos ir esant apkrovai, bei kai inercijos momentas padidintas du kartus.

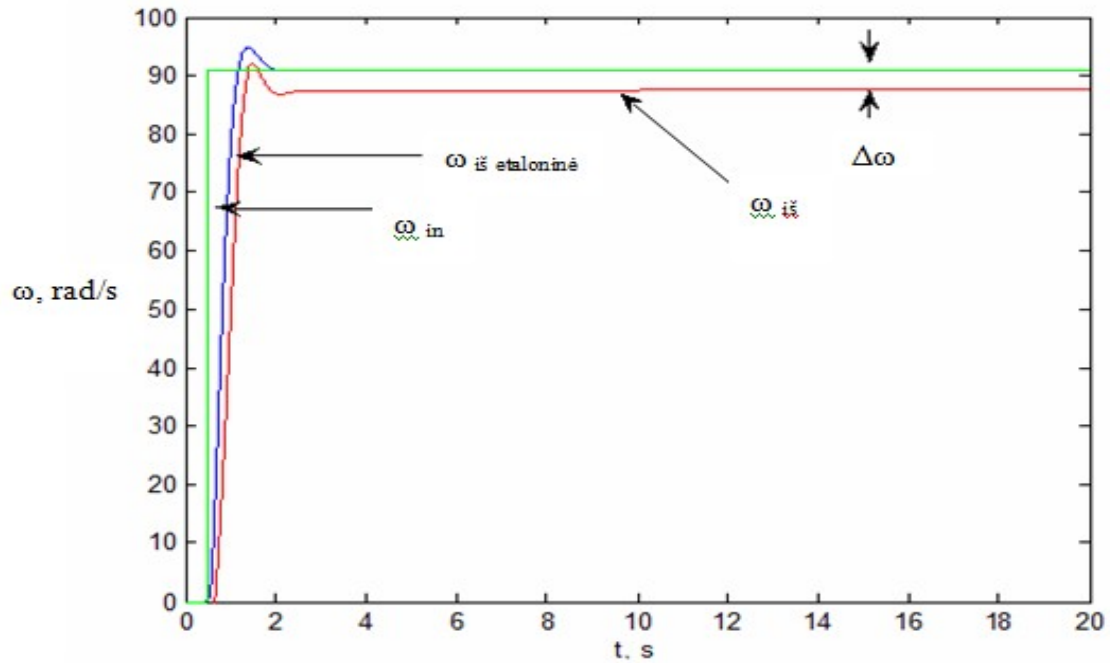


2.9 pav. Regulatoriaus koeficiento kreivė, kai nėra apkrovos



2.10 pav. Regulatoriaus koeficiento kreivė esant apkrovai

Taigi kaip rodo atlikti tyrimai, parametrinė adaptacija turi trūkumų, t.y. pilnai adaptuojamasi ne iš karto, o tik po kelių ciklų – po keleto greičio nustatymo signalo pokyčių. Pajungus apkrovą gaunamas statinis greičio nuokrypis $\Delta\omega$ (2.11 pav.), todėl tokios adaptacijos elektromechaninėse vykdymo sistemose yra mažai naudojamos.

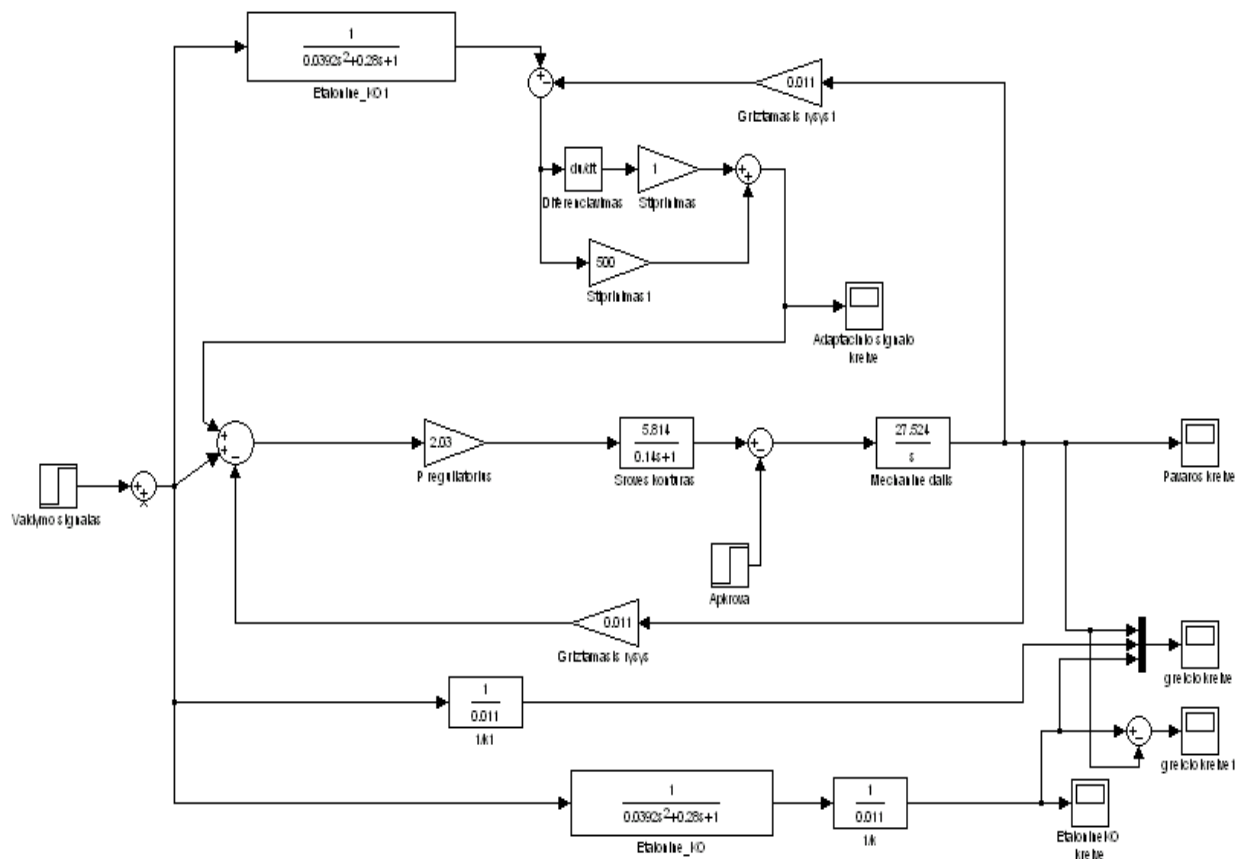


2.11 pav. Parametrinės adaptacijos greičio kreivės esant apkrovai

3. SIGNALINĖS ADAPTACIJOS PRINCIPU VEIKIANČIOS ELEKTROMECHANINĖS VYKDYMO SISTEMOS TYRIMAS

3.1 Signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos modelio sudarymas MATLAB/Simulink programa

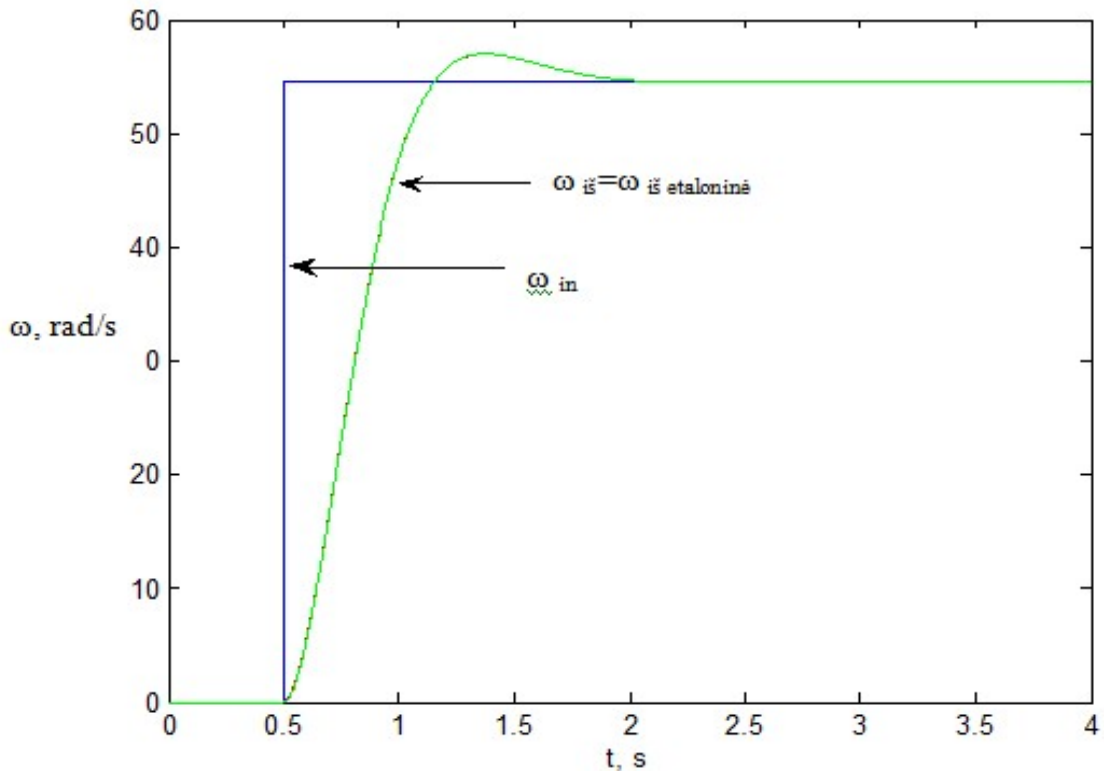
Žinant greičio valdymo sistemos modelį (2.1 pav.) galime prijungti signalinės adaptacijos kontūrą. Adaptacijos kontūrą sudaro etaloninis modelis ir adaptyvaus valdymo blokas. Šio bloko išėjime formuojamas adaptacijos signalas U_s , veikiantis pagrindinio kontūro įėjime ir koreguojantis jo dinamiką taip, kad, kintant valdymo objekto parametrms, pavaros kokybė nekistų [5]. Sudarytas signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos modelis MATLAB/SIMULINK programa pateiktas 3.1 pav.



3.1 pav. Signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos modelis MATLAB/SIMULINK programa

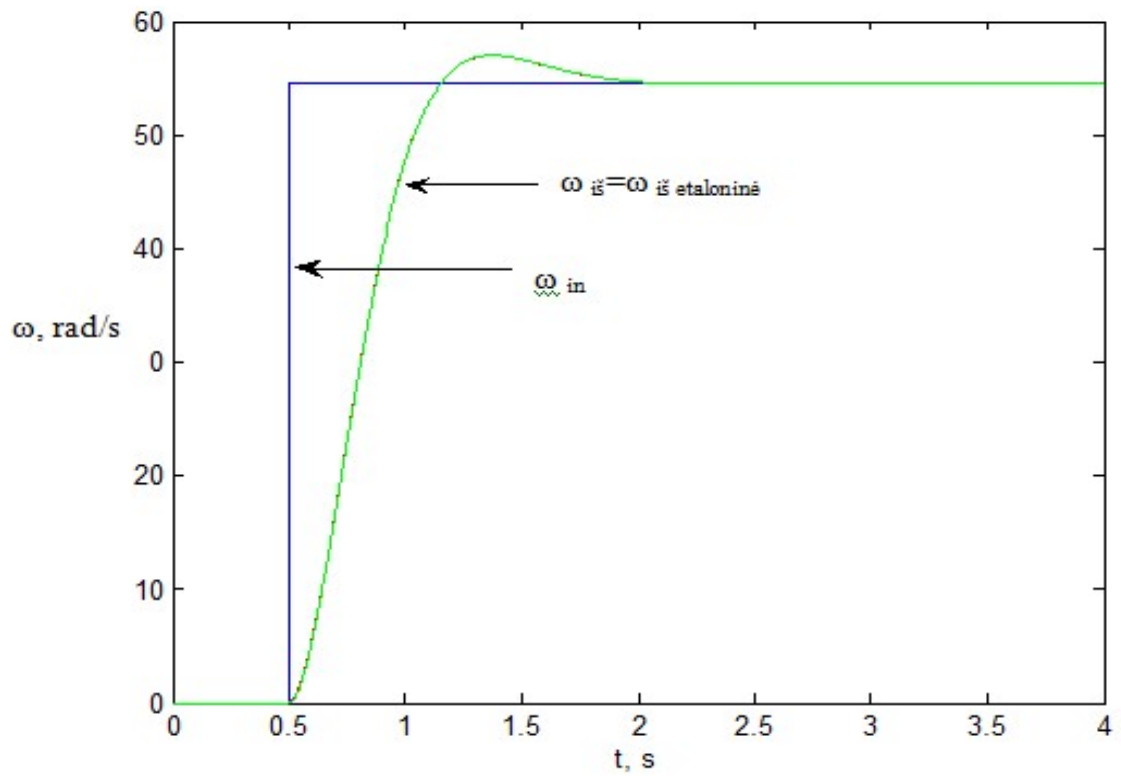
3.2 Statinio apkrovos ir inercijos momentų kitimo įtakos valdymo kokybei tyrimas

Signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdomo sistemos greičio pereinamojo proceso kreivės – reakcijos į šuolinį valdymo signalo pokytį, kai nėra statinės apkrovos ir sistema nėra išderinta – nėra pakitęs inercijos momentas pateikta 3.2 pav. (ω_{in} - įėjimo signalas; $\omega_{iš\ etaloninė}$ - etaloniinis išėjimo signalas; $\omega_{iš}$ – išėjimo signalas). Tuomet greičio dinaminis nuokrypis neviršija 5% ir atitinka kiekybinį optimumą.



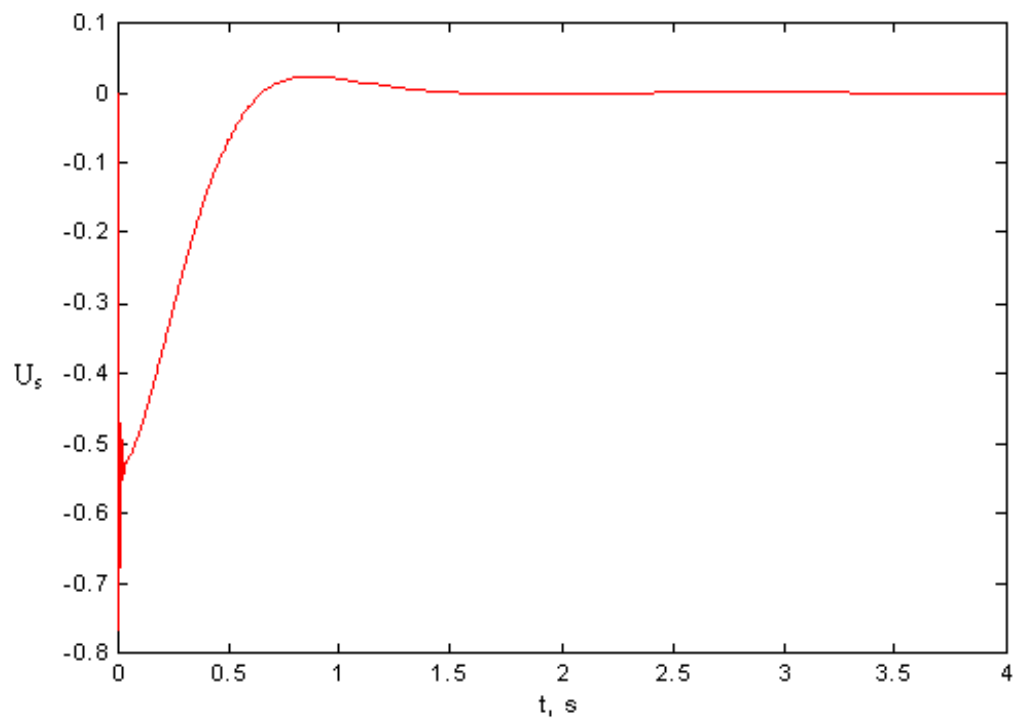
3.2 pav. Signalinė adaptacija, kai nėra apkrovos esant neišderintai sistemai

Esant statinei apkrovai signalinės adaptacijos principu veikiančioje elektromechaninėje vykdomo sistemoje nėra gaunamas greičio statinis nuokrypis (3.3 pav.). Tai yra vienas iš signalinės adaptacijos privalumų lyginant ją su parametrine adaptacija.

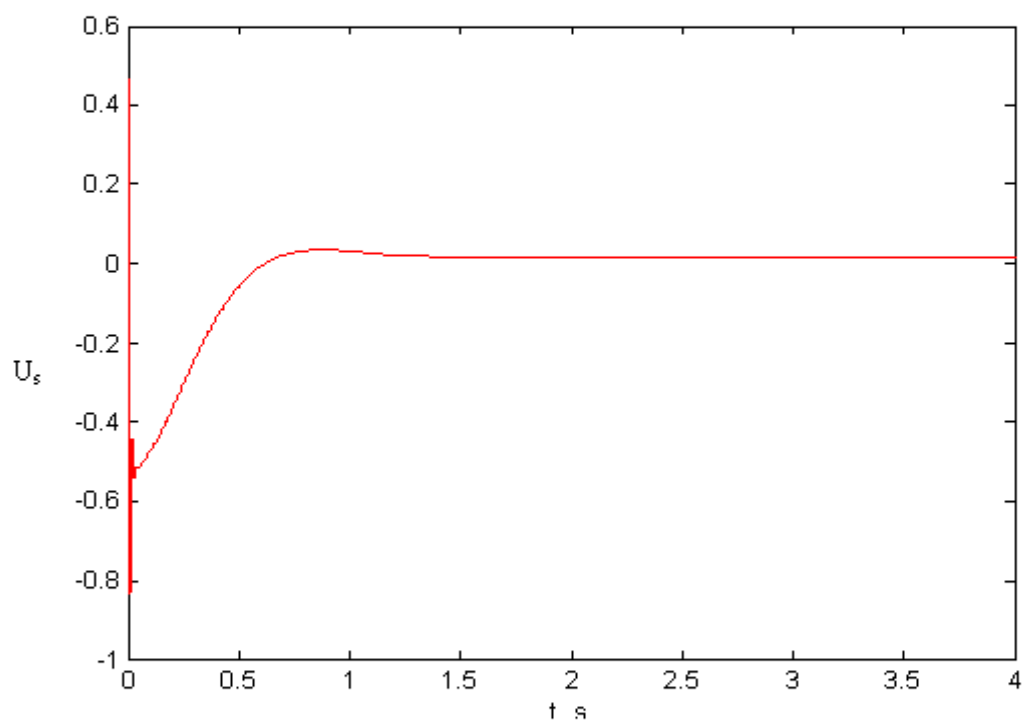


3.3 pav. Signalinė adaptacija esant apkrovai, kai neišderinta sistema

Pateikiamos adaptacinio signalo kitimo kreivės, kai sistema yra neišderinta, esant apkrovai ir kai jos nėra (3.4 ir 3.5 pav.).

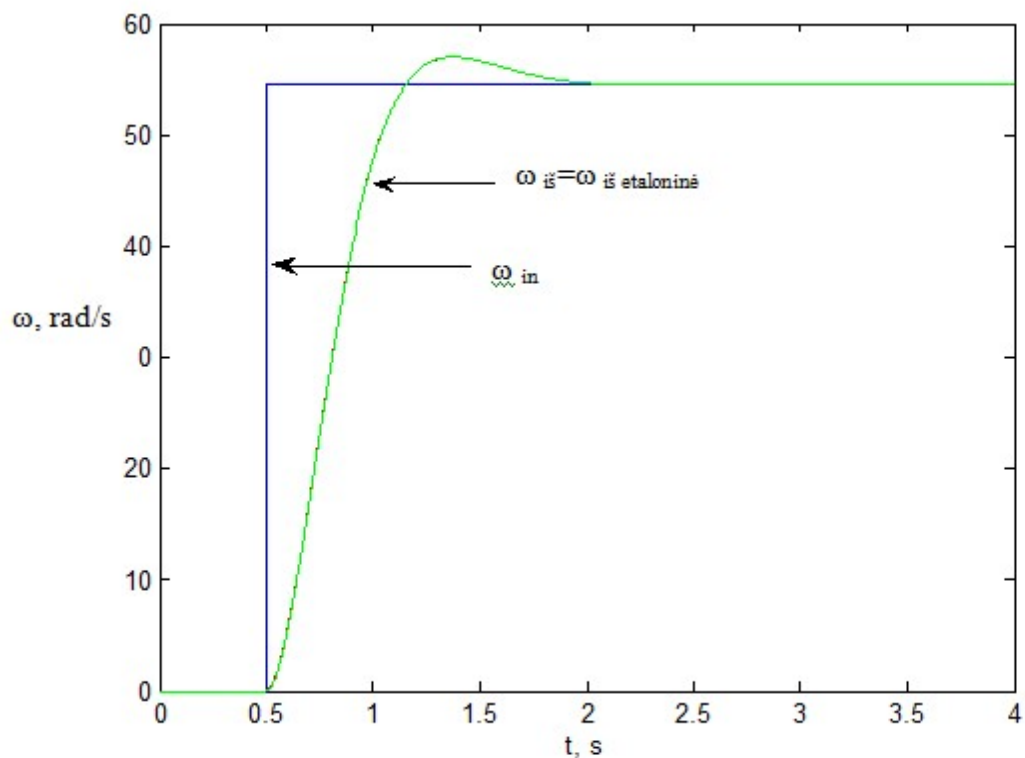


3.4 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė, kai nėra apkrovos

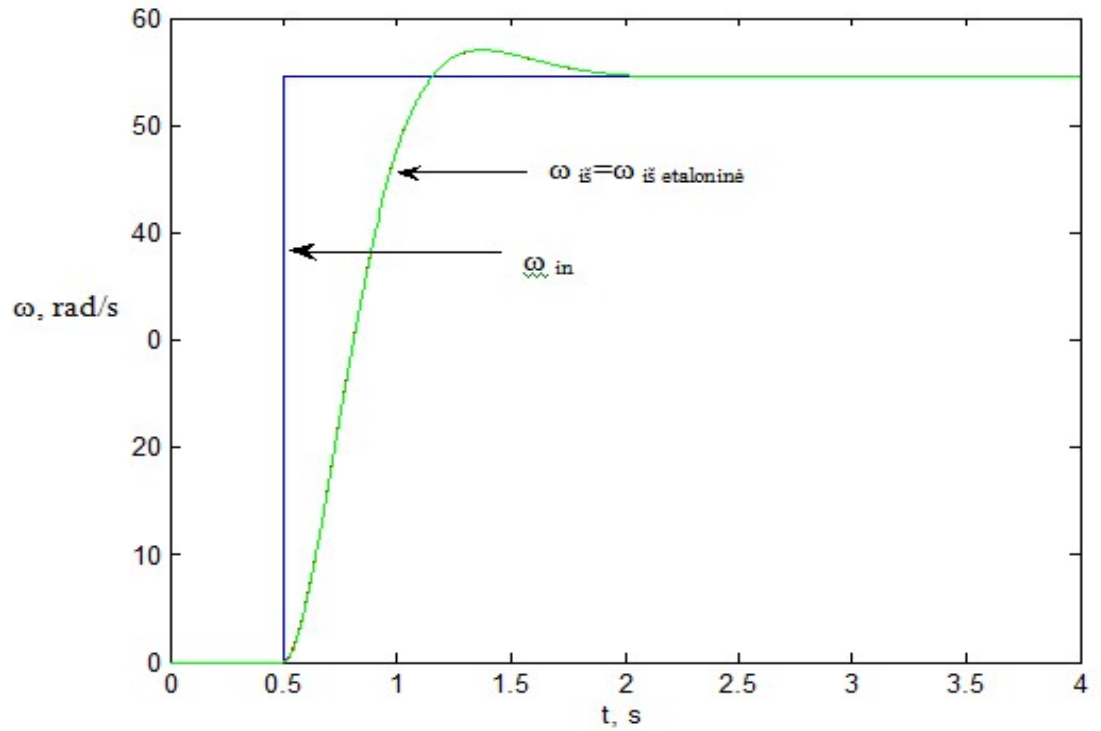


3.5 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė esant apkrovai

Padidinus inercijos momentą du kartus iki $J_m=0,166 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, t.y. išderinus sistemą, greičio pereinamojo proceso kreivės pateiktos 3.6 ir 3.7 pav. Iš kurių matyti, kad adaptuojamasi iš karto – to paties ciklo metu, t.y. sistemos greičio kitimo kreivė identiška norimai gauti – etaloninei greičio kreivei.

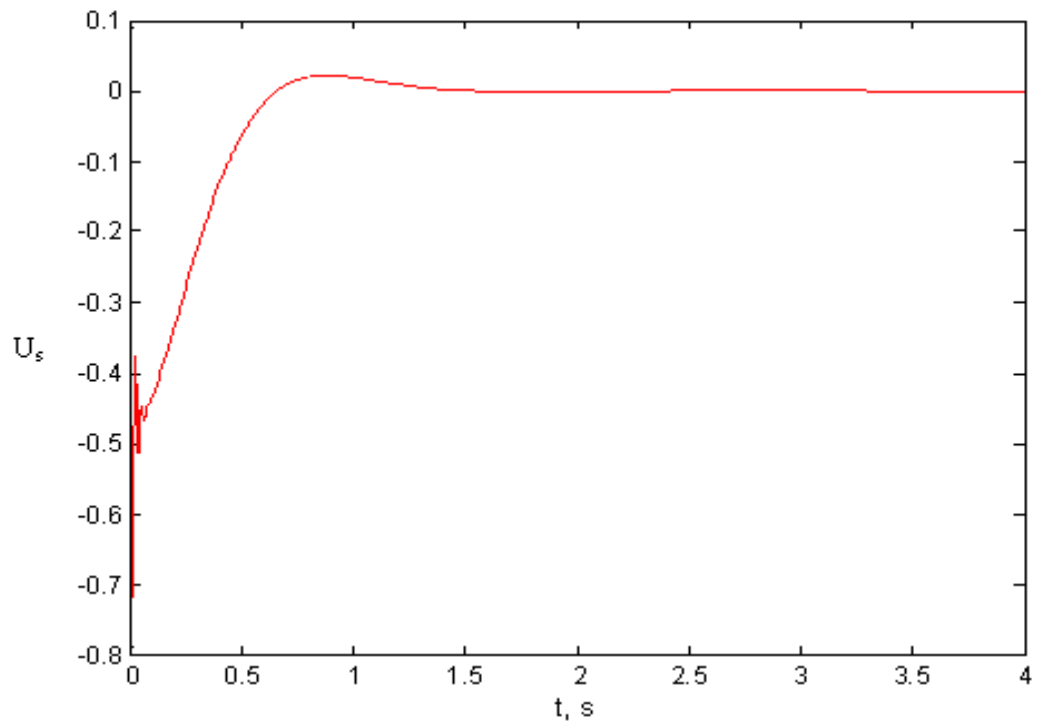


3.6 pav. Signalinė adaptacija, kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas du kartus

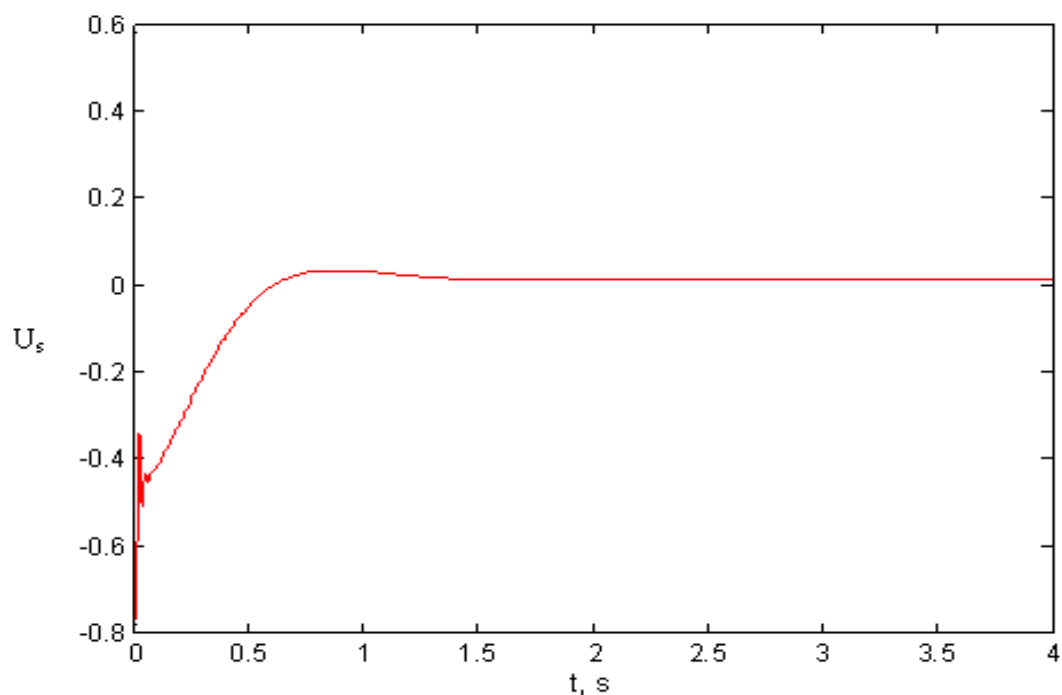


3.7 pav. Signalinė adaptacija esant apkrovai ir kai inercijos momentas padidintas du kartus

Esant išderintai sistemai adaptacinio signalo kitimo kreivės, esant apkrovai ir kai jos nėra, pateikiamos 3.8 ir 3.9 pav.

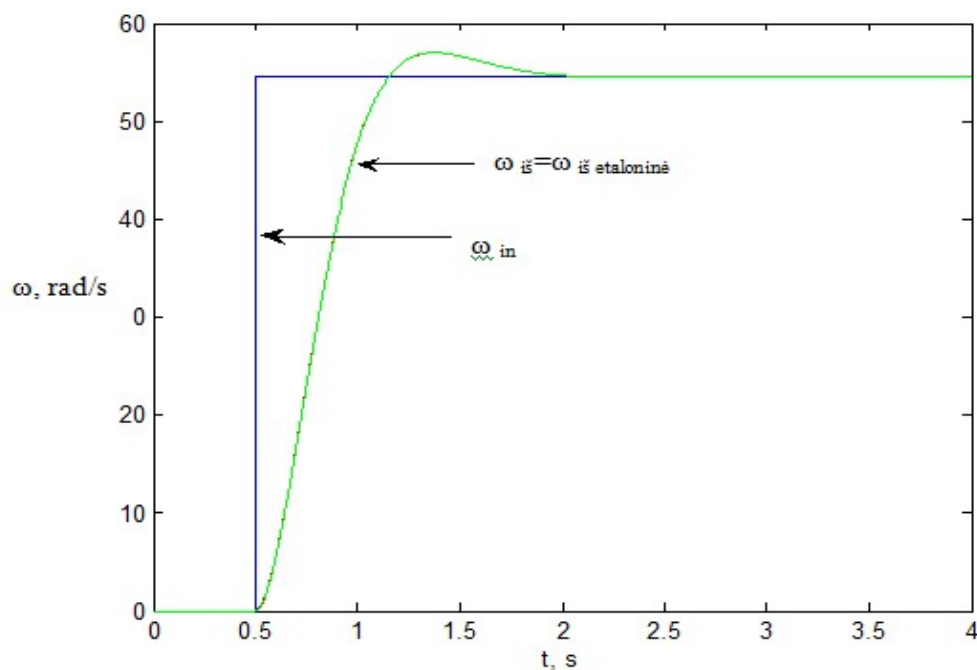


3.8 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė, kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas du kartus

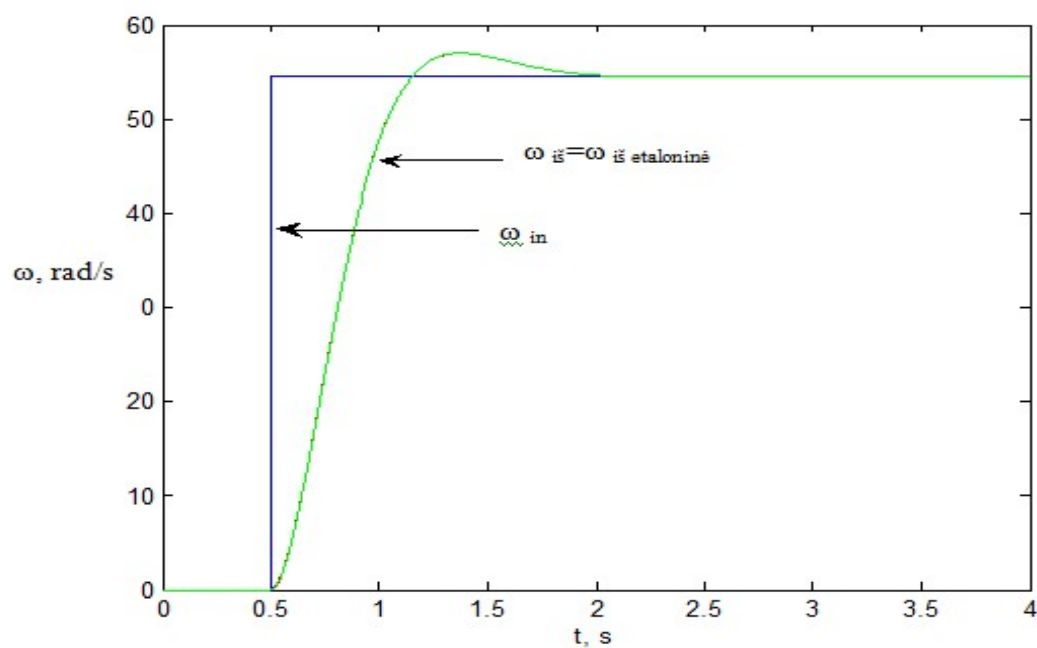


3.9 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė esant apkrovai ir kai inercijos momentas padidintas du kartus

Atliktas tyrimas, kai yra padidinamas inercijos momentas tris kartus, t.y. $J_m=0,249 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, kai išderinta sistema veikia su apkrova ir be jos. Gautos greičio kreivės pateikiamos 3.10 ir 3.11 pav. Iš kurių matyti, kad adaptuojamasi irgi iš karto – to paties ciklo metu, t.y. sistemos greičio kitimo kreivė identiška norimai gauti – etaloninei greičio kreivei.

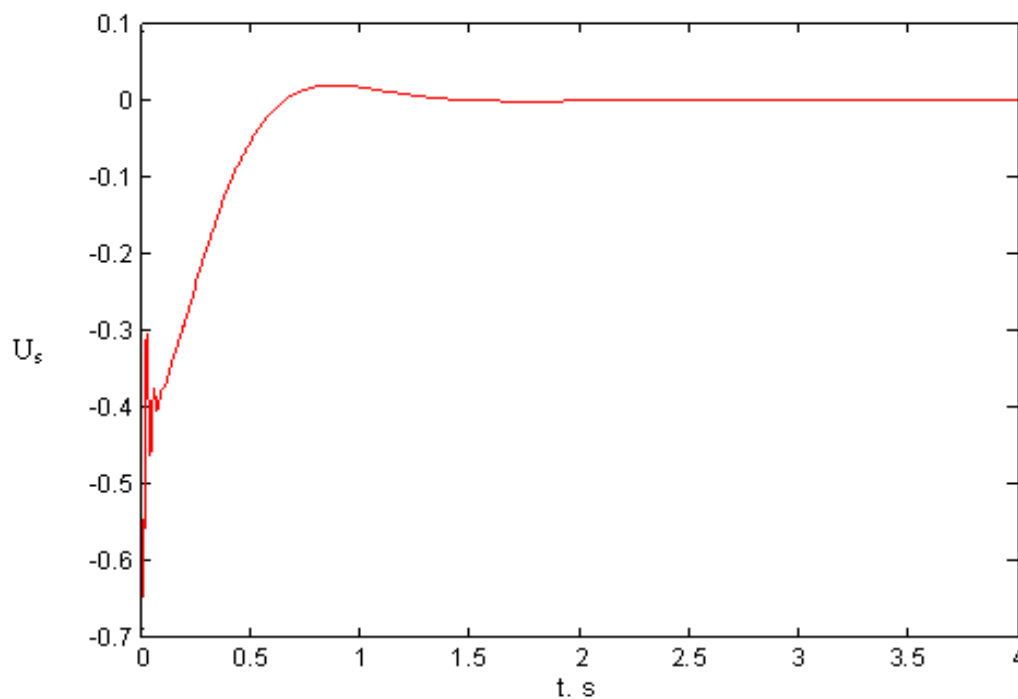


3.10 pav. Signalinė adaptacija, kai nėra apkrovos esant išderintai sistemai ir inercijos momentas padidintas tris kartus

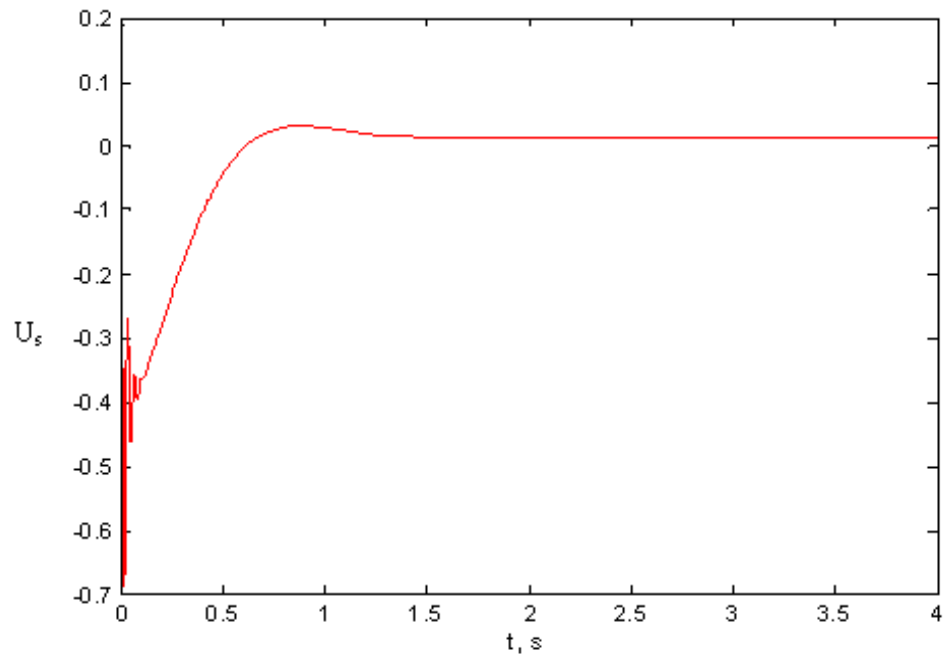


3.11 pav. Signalinė adaptacija esant apkrovai, kai išderinta sistema ir inercijos momentas padidintas tris kartus

Esant išderintai sistemai adaptacinio signalo kitimo kreivės, kai inercijos momentas padidintas tris kartus ir esant apkrovai, ir kai jos nėra, pateikiamos 3.12 ir 3.13 pav.

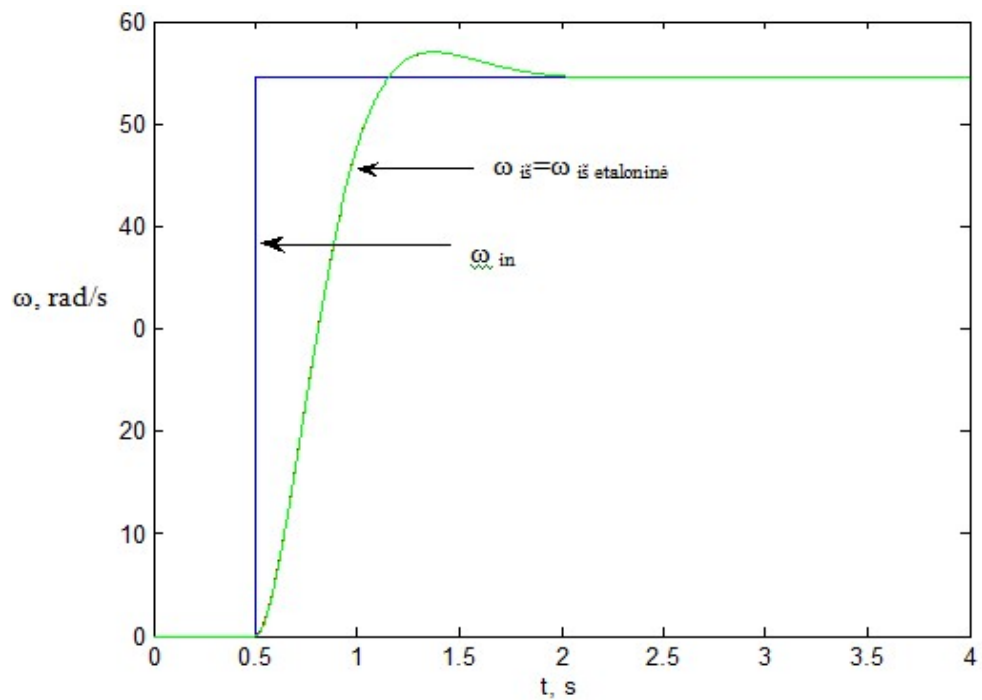


3.12 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė, kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas tris kartus

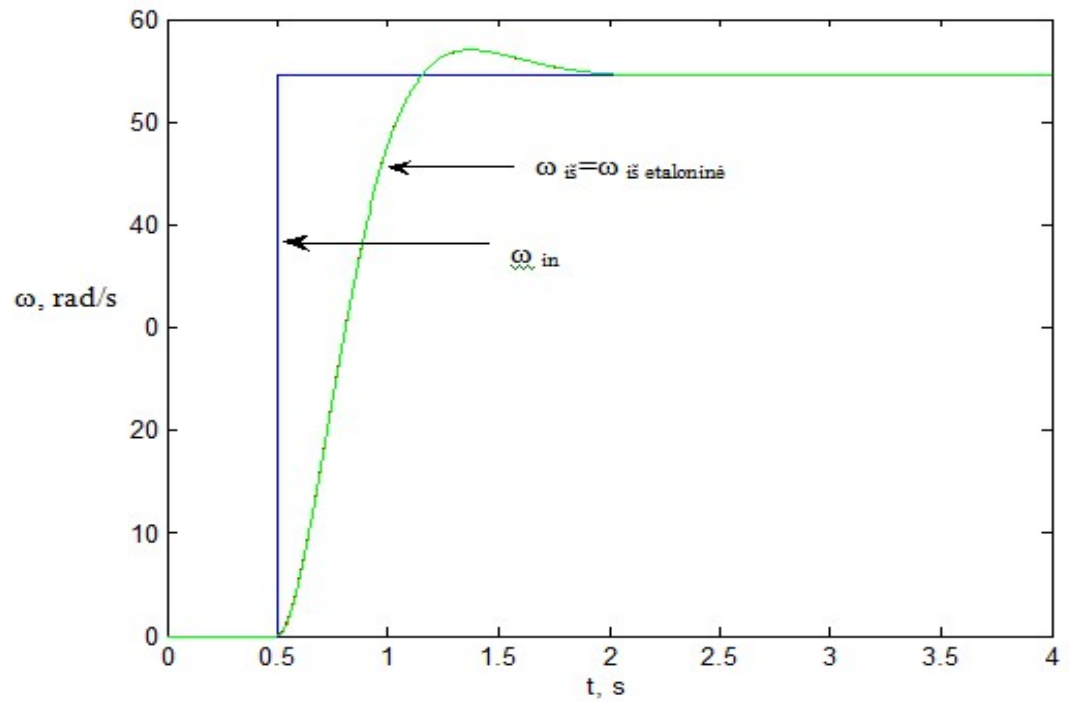


3.13 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė esant apkrovai ir inercijos momentas padidintas tris kartus

Atliktas tyrimas, kai yra sumažintas inercijos momentas du kartus, t.y. $J_m=0,0415 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, kai išderinta sistema veikia su apkrova ir be jos. Gautos greičio kreivės pateikiamos 3.14 ir 3.15 pav. Taigi ir šiuo atveju adaptacija vyksta iš karto vieno ciklo metu.

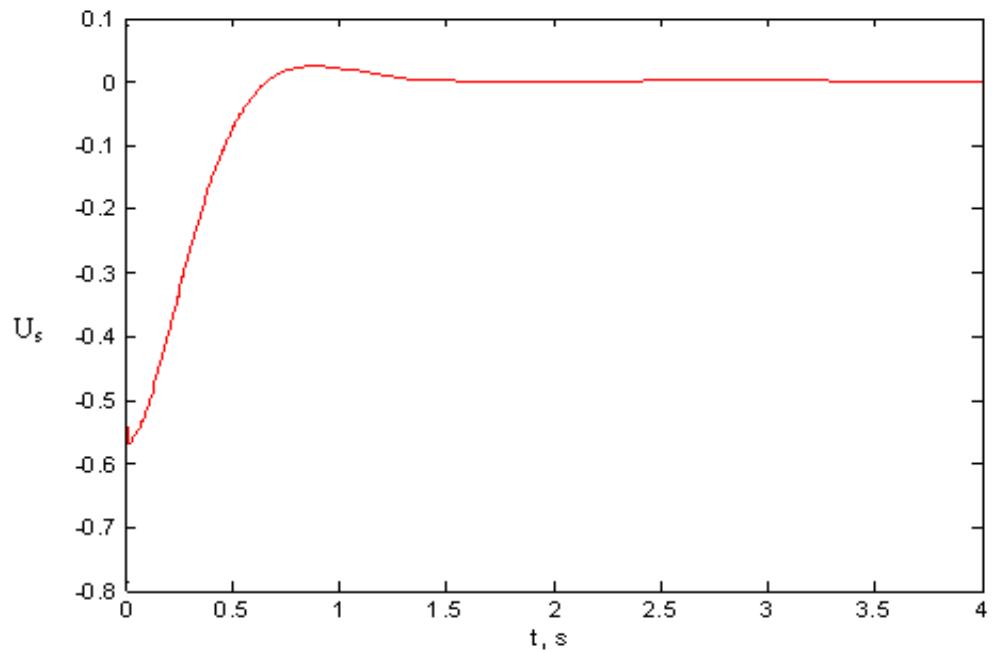


3.14 pav. Signalinė adaptacija, kai nėra apkrovos esant išderintai sistemai ir inercijos momentas sumažintas 2 kartus

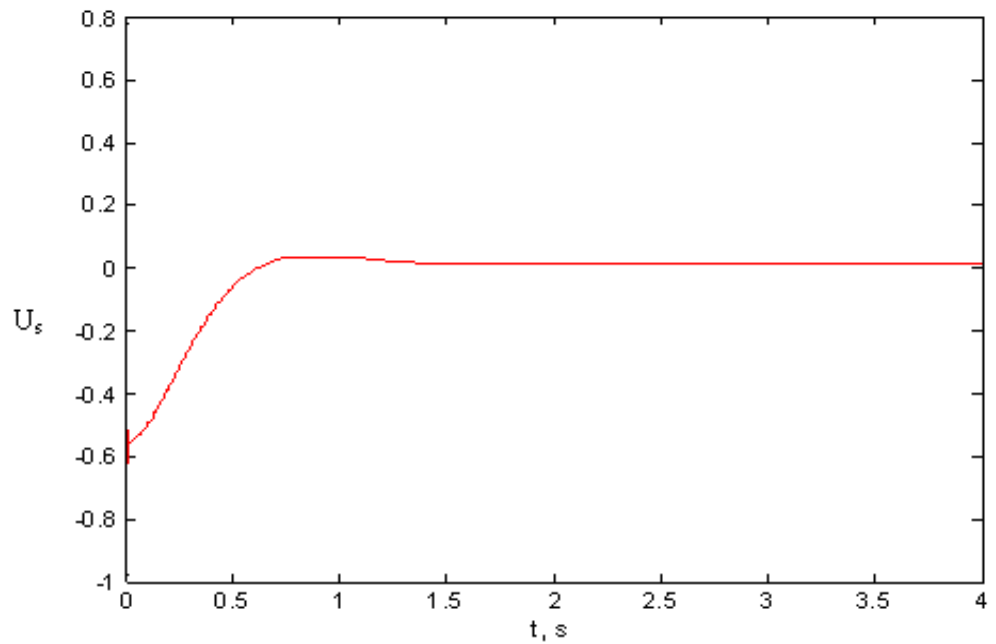


3.15 pav. Signalinė adaptacija esant apkrovai, kai išderinta sistema ir inercijos momentas sumažintas du kartus

Esant išderintai sistemai adaptacinio signalo kitimo kreivės, kai inercijos momentas sumažintas du kartus ir esant apkrovai, ir kai jos nėra, pateikiamos 3.16 ir 3.17 pav.



3.16 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė, kai nėra apkrovos ir inercijos momentas sumažintas du kartus



3.17 pav. Adaptacinio signalo kitimo kreivė esant apkrovai ir inercijos momentas sumažintas du kartus

Gauti rezultatai rodo, kad išderinus sistemą – pakeitus inercijos momento vertę, adaptuojamasi iš karto to paties ciklo metu. Statinės apkrovos įtaka irgi yra pašalinama tuo išvengiant greičio statinio nuokrypio bei užtikrinant norimą gauti etaloninį pereinamąjį procesą atitinkantį kiekybinį optimumą. Todėl signalinė adaptacija yra pranašesnė nei prieš tai nagrinėta parametrinė ir rekomenduotina taikyti elektromechaninėse vykdymo sistemose.

4. ELEKTROMECHANINĖS VYKDYMO SISTEMOS SU KINTAMOS STRUKTŪROS REGULIATORIUMI TYRIMAS

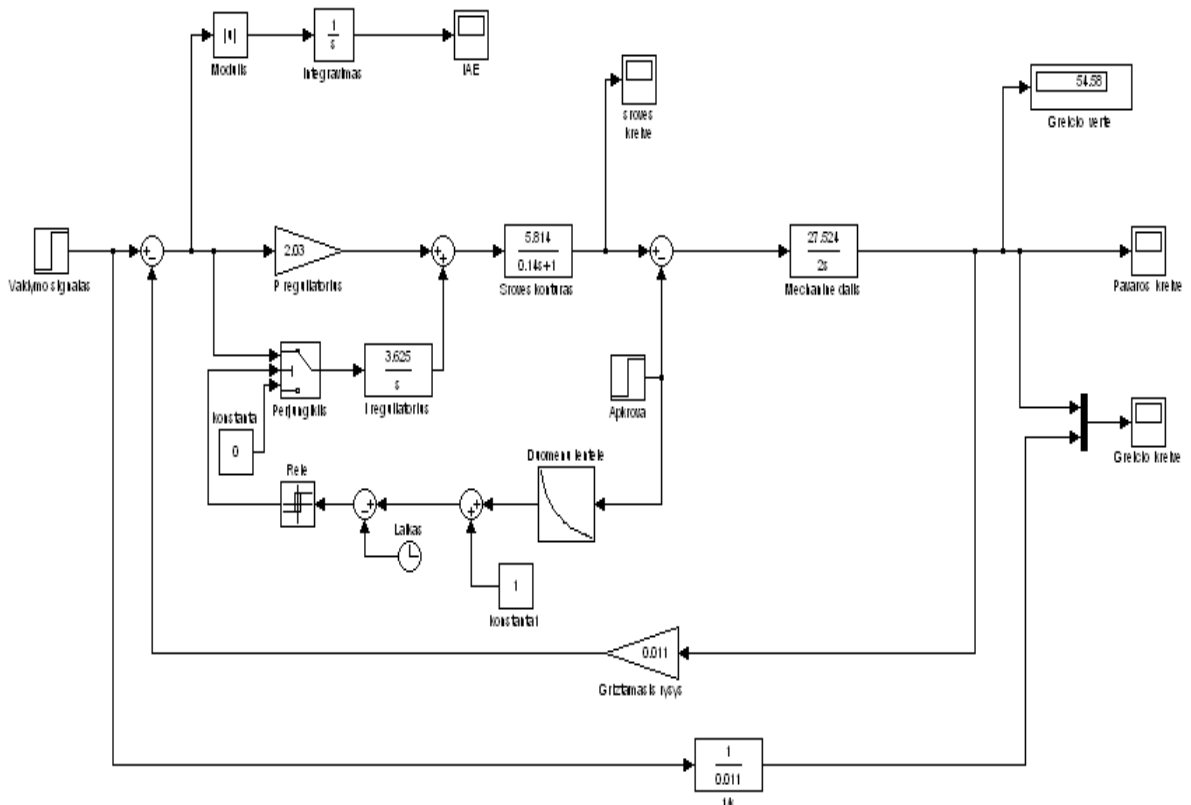
4.1 Elektromechaninės sistemos su P-PI reguliatoriumi modelio sudarymas MATLAB/Simulink programa

Ankstesniais tyrimais [8, 9] nustatyta, kad statinės apkrovos įtakos pašalinimui gerai tinka P-PI kintamos struktūros reguliatorius, kurio valdymo dėsnis pereinamojo proceso metu yra automatiškai keičiamas iš proporcinio (P) suderinto pagal kiekybinį optimumą į proporcinį integruojantį (PI) suderinto pagal simetrinį optimumą. Tačiau nebuvo tirta kaip toks kintamos struktūros reguliatorius reaguos į sistemos parametro – inercijos momento pokytį.

Derinant greičio reguliavimo kontūrą pagal simetrinio optimumo kriterijų, naudojamas proporcinio integralinio (PI) valdymo dėsnio greičio reguliatorius, kurio perdavimo funkcija:

$$H_{GR.SO}(s) = k_{P\Omega} + \frac{k_{PI\Omega}}{8 \cdot T_K \cdot s} = k_{P\Omega} + \frac{k_{I\Omega}}{s}. \quad (15)$$

Sudarytas elektromechaninės vykdyimo sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi modelis MATLAB/Simulink programa pateiktas 4.1 pav.



4.1 pav. Elektromechaninės vykdyimo sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi modelis MATLAB/Simulink programa

Į programuojamą lentelę (Lookup Table) suvestos regulatoriaus perjungimo iš vieno valdymo dėsnio į kitą laiko momento vertės (2 lentelė ir 4.2 pav.) pritaikytos pasirinktai elektros pavarai pagal formulę [9]:

$$t_{\text{perj.l.}} = t_{\text{perj.l.}}^* \cdot T_{\text{srov.kont.}} \quad (17)$$

čia: $t_{\text{perj.l.}}^*$ – universali P valdymo dėsnio veikimo trukmė;

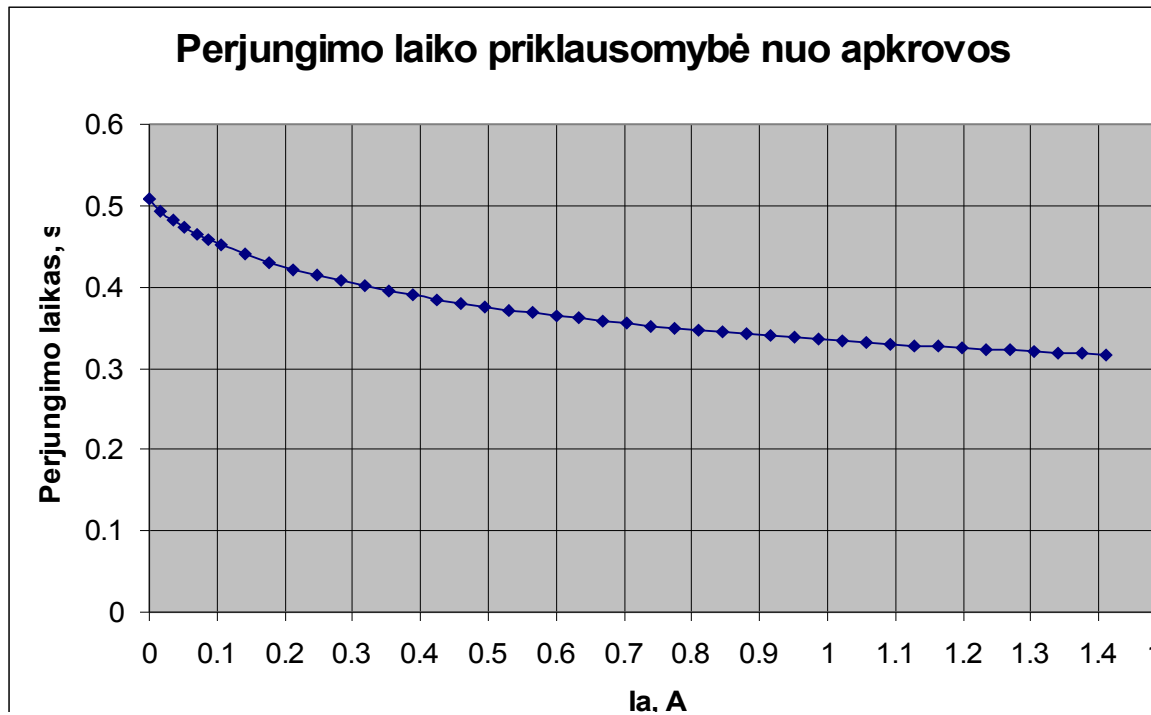
$T_{\text{srov.kont.}}$ – nagrinėjamos sistemos srovės kontūro laiko pastovioji, s.

2 lentelė

P-PI kintamos struktūros regulatoriaus perjungimo parametro verčių priklausomybė nuo statinės apkrovos

I_a, A	$t_{\text{perj, s}}$
0	0.508084
0.017625	0.49266
0.03525	0.482733
0.052875	0.473662
0.0705	0.465095
0.088125	0.45794
0.10575	0.451769
0.141	0.439971
0.17625	0.430388
0.2115	0.421607
0.24675	0.41419
0.282	0.407112
0.31725	0.400876
0.3525	0.395392
0.38775	0.38962
0.423	0.384894
0.45825	0.380268
0.4935	0.375998
0.52875	0.371979
0.564	0.368348
0.59925	0.364588
0.6345	0.361273
0.66975	0.35798
0.705	0.35504
0.74025	0.35224
0.7755	0.349369
0.81075	0.34678
0.846	0.344343
0.88125	0.341964
0.9165	0.3395
0.95175	0.337568
0.987	0.335653
1.02225	0.333564
1.0575	0.331688
1.09275	0.329868
1.128	0.32816
1.16325	0.326494
1.1985	0.325114
1.23375	0.323414
1.269	0.321984
1.30425	0.320586
1.3395	0.319527

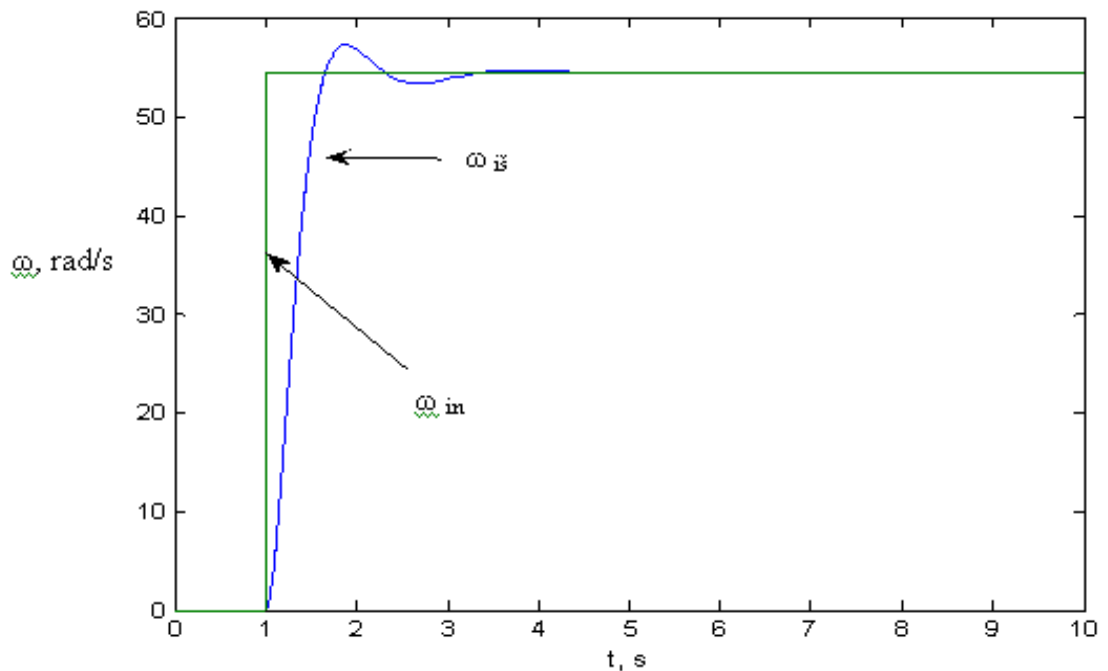
1.37475	0.31801
1.41	0.316806



4.2 pav. Perjungimo laiko priklausomybė nuo apkrovos

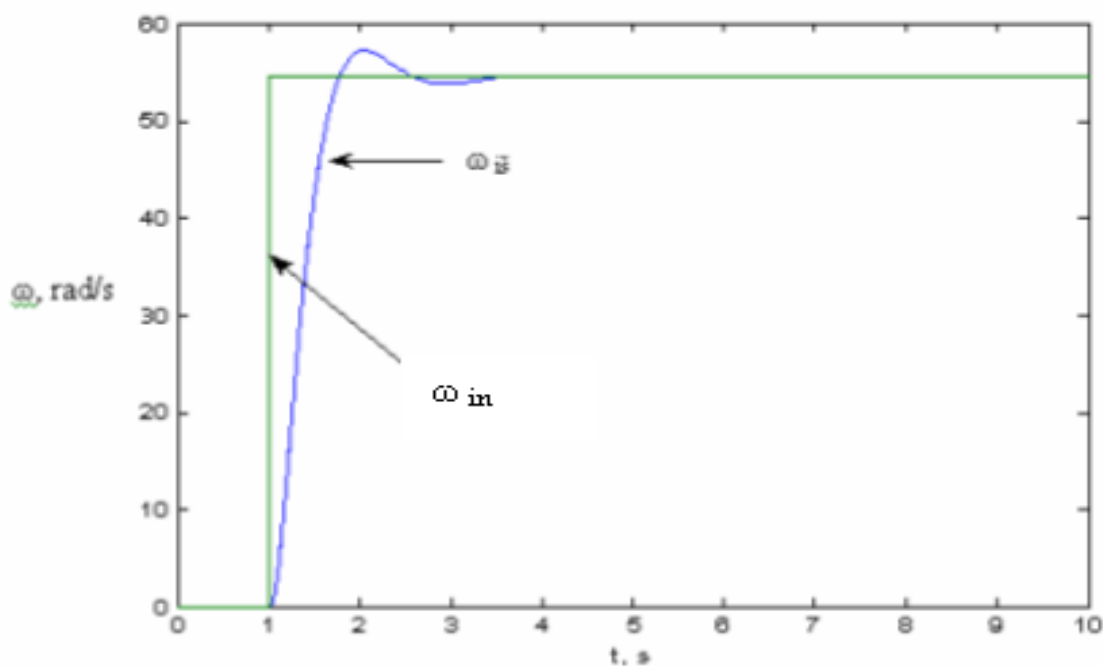
4.2 Statinio apkrovos ir inercijos momentų kitimo įtakos valdymo kokybei tyrimas

Elektromechaninės vykdymo sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi greičio pereinamojo proceso kreivės – reakcijos į šuolinį valdymo signalo pokytį, kai kinta statinė apkrova, o sistema nėra išderinta – nėra pakitęs inercijos momentas, pateikiamos 4.3-4.5 pav.

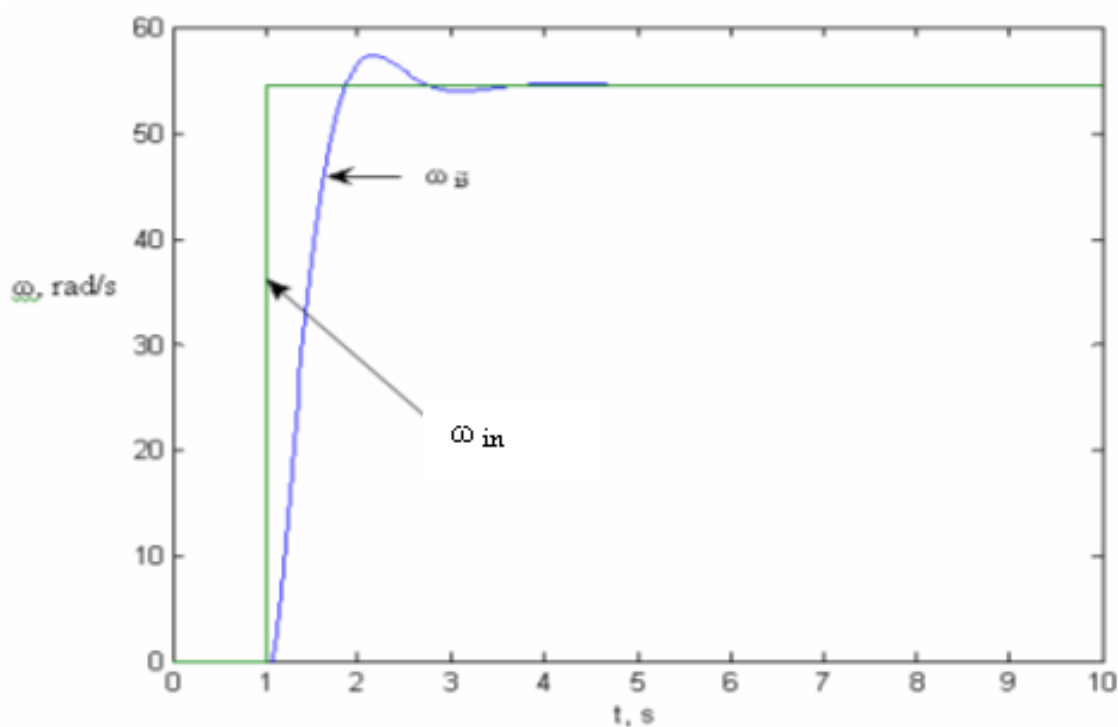


4.3 pav. Nėra pakitęs inercijos momentas ir nėra apkrovos

Kaip matyti iš 4.3-4.5 pav., naudojant P-PI kintamos struktūros reguliatorių užtikrinama optimali greičio pereinamojo proceso dinamika – dinaminis nuokrypis neviršija 5% ir yra pašalinamas statinės apkrovos daromas neigiamas poveikis variklio sukimosi greičiui – greičio statinio nuokrypio nėra gaunama.

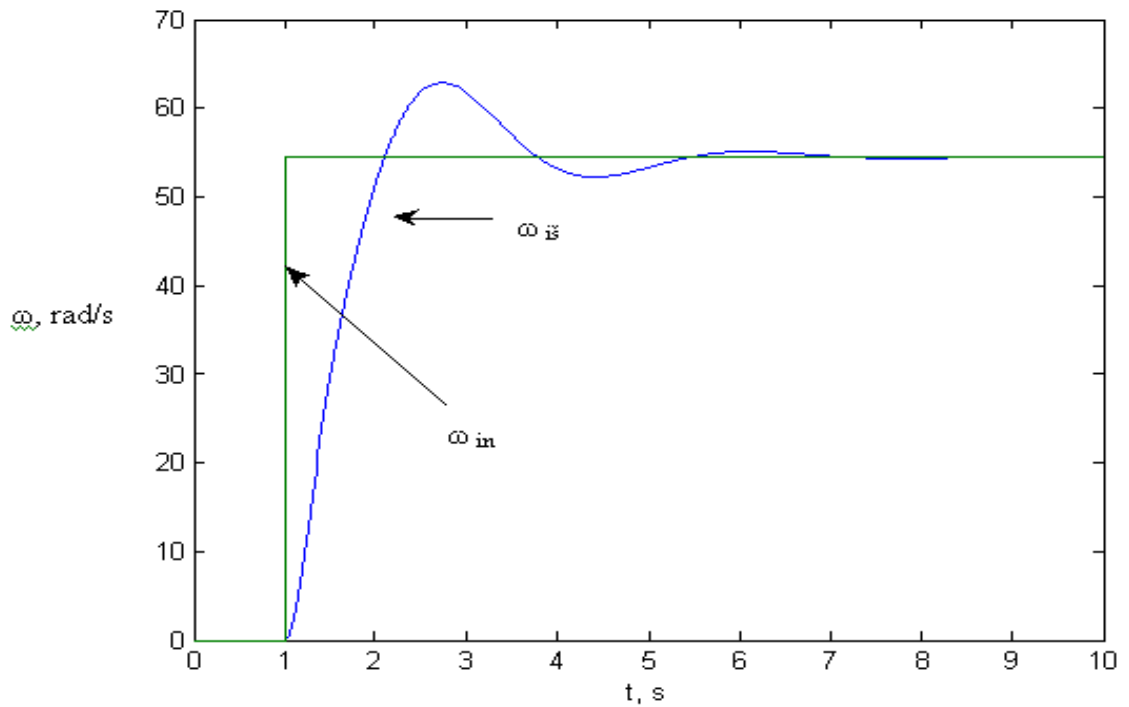


4.4 pav. Apkrova lygi pusei nominalios ir nėra pakitęs inercijos momentas

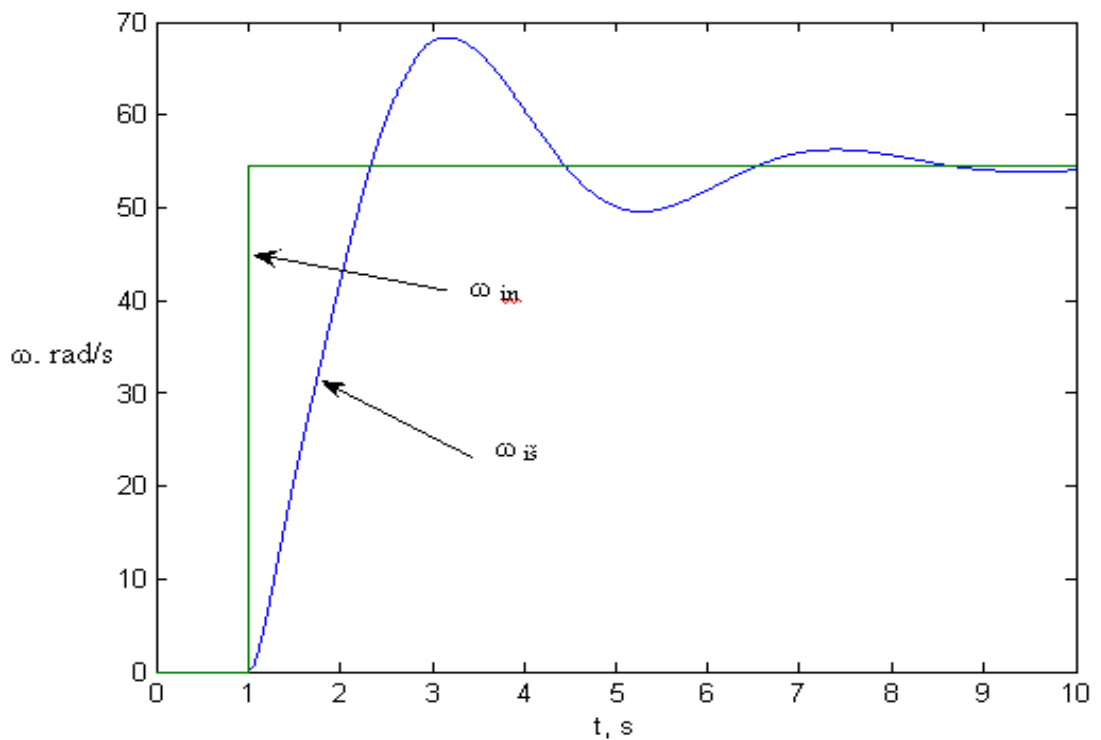


4.5 pav. Apkrova lygi nominaliajai ir nėra pakitęs inercijos momentas

Elektromechaninės vykdymo sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi greičio pereinamojo proceso kreivės – reakcijos į šuolinį valdymo signalo pokytį, kai nėra statinės apkrovos, o sistema yra išderinta – inercijos momentas padidėjęs arba sumažėjęs, pateikiamos 4.6-4.11 pav.

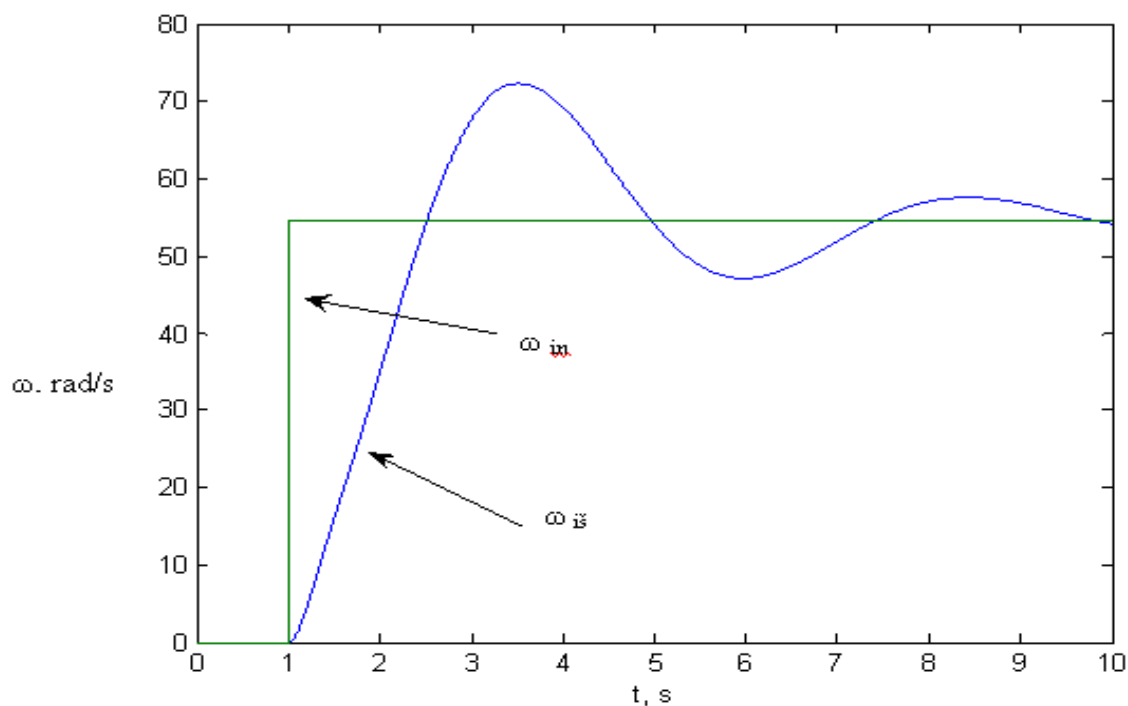


4.6 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas du kartus

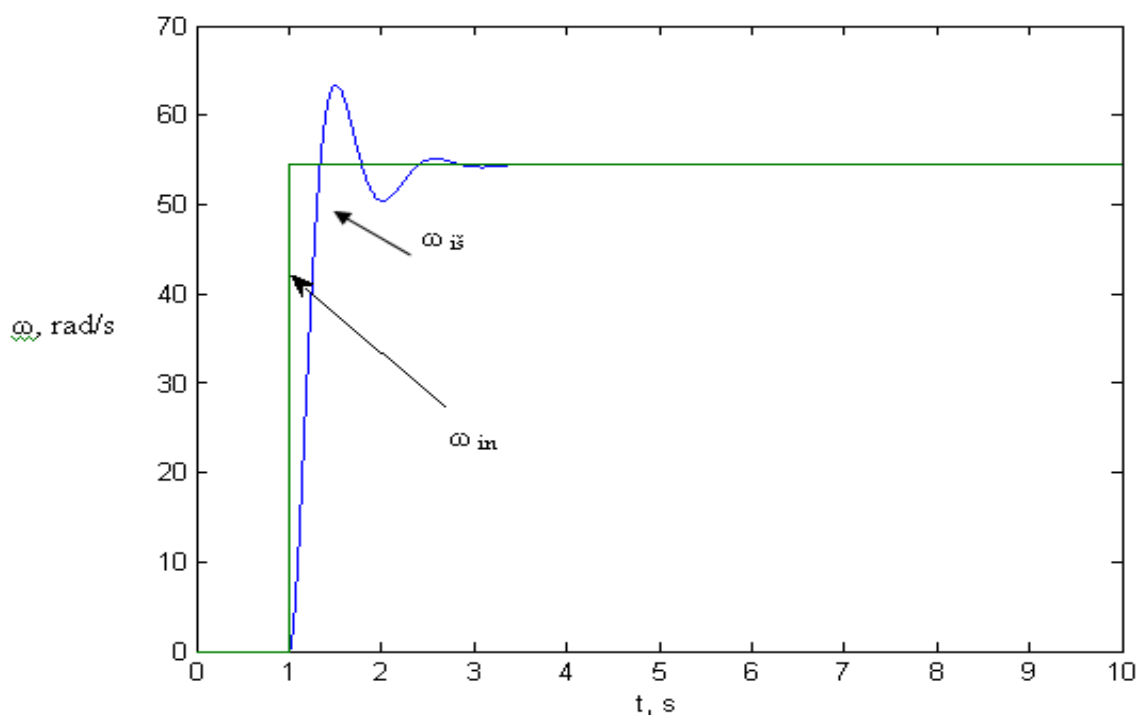


4.7 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas tris kartus

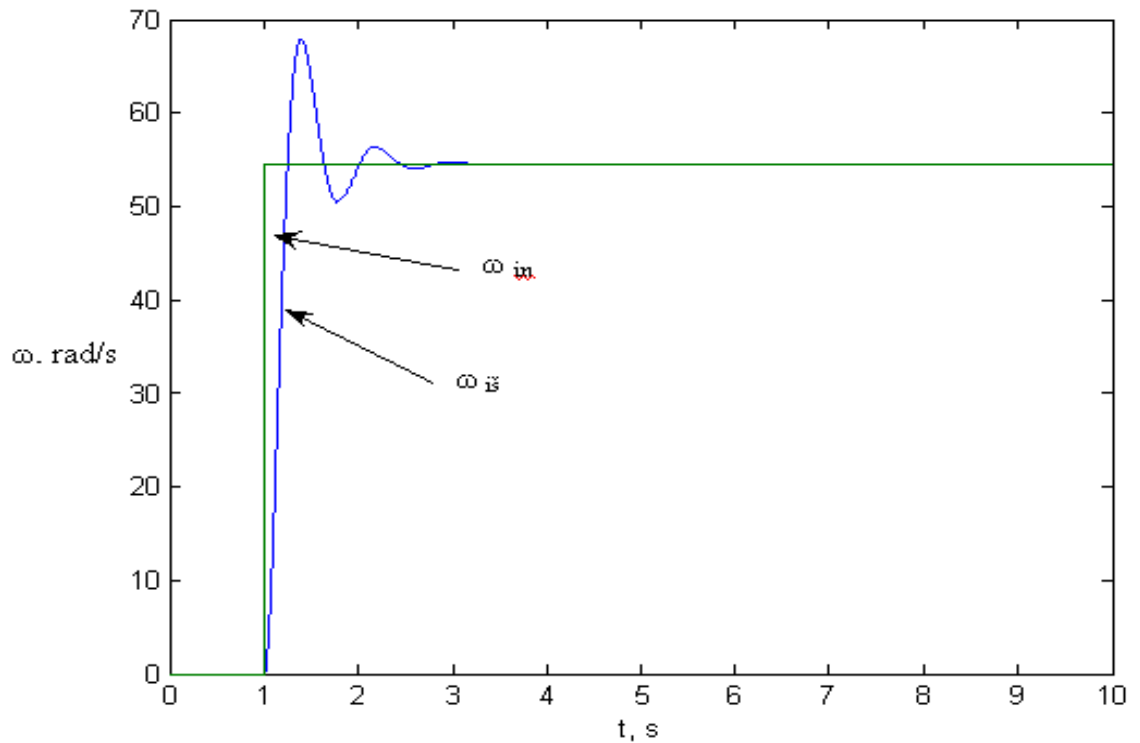
Kaip matyti iš 4.6-4.11 pav., esant sistemai išderintai P-PI kintamos struktūros reguliatorius nebeužtikrina optimalios greičio pereinamojo proceso dinamikos – dinaminis nuokrypis viršyja 5% ir padidėja iki 33,46%. Tačiau vis tiek yra pašalinamas statinės apkrovos daromas neigiamas poveikis variklio sukimosi greičiui – greičio statinio nuokrypio nėra gaunama.



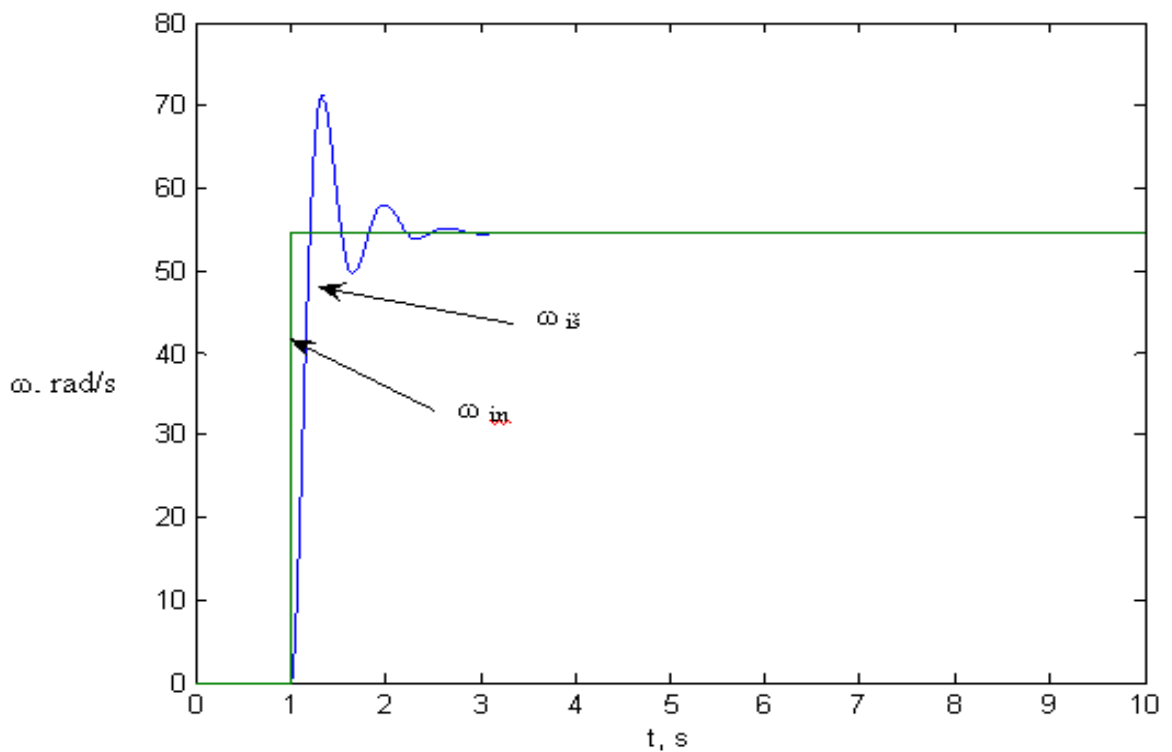
4.8 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas padidintas keturis kartus



4.9 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas sumažintas du kartus



4.10 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas sumažintas tris kartus



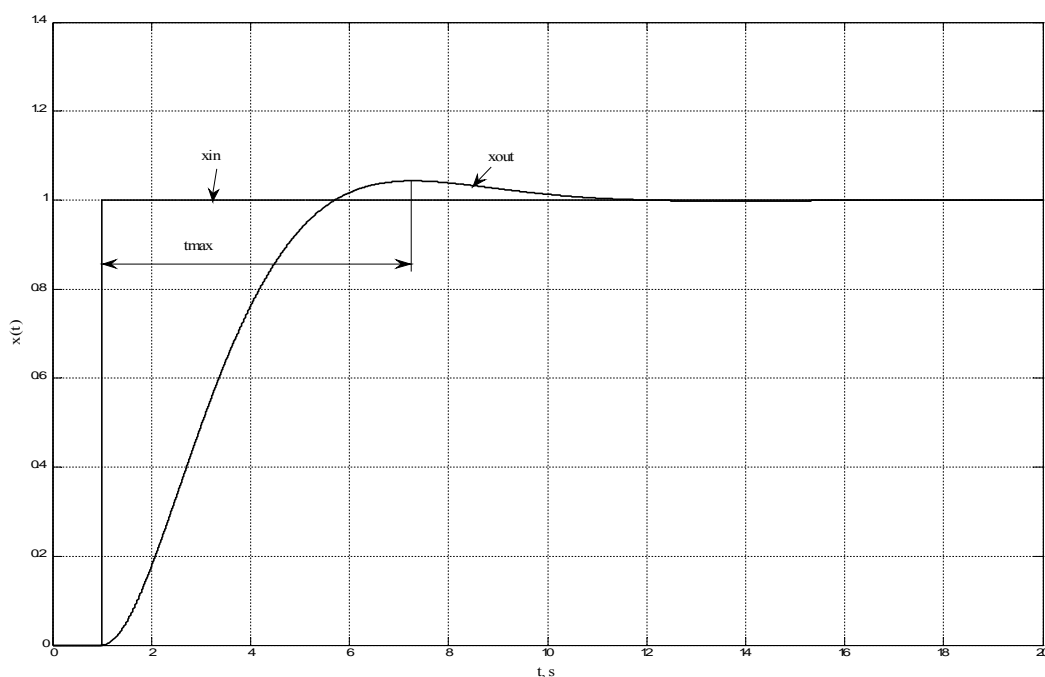
4.11 pav. Kai nėra apkrovos ir inercijos momentas sumažintas keturis kartus

Taigi P-PI kintamos struktūros reguliatorius pašalina tik statinės apkrovos įtaką variklio sukimosi greičiui, tačiau inercijos momento pokyčio įtaka lieka nepašalinta, todėl tuomet pablogėja sistemos dinamikos kokybė – padidėja perreguliavimas.

5. ADAPTYVIŲJŲ ELEKTROMECHANINIŲ VYKDYMO SISTEMŲ DINAMIKOS KOKYBĖ

5.1 Elektromechaninės sistemos dinamikos kokybės įvertinimo metodika

Elektromechaninės vykdyimo sistemos vienas iš tiesioginių dinamikos kokybės rodiklių yra pirmojo maksimumo pasiekimo trukmė, kai išėjimo signalas pasiekia maksimumo vertę [10, 11] (5.1 pav.). Dinamikos kokybė yra tuo geresnė, kuo maksimumo pasiekimo trukmė yra trumpesnė. Pereinamojo proceso pirmojo maksimumo pasiekimo trukmė paprastai nustatoma pagal ARS pereinamosios charakteristikos ar svorinės funkcijos pavidalą esant nulinėms pradinėms sąlygoms. Šuolinis poveikis laikomas vienu sunkiausiu sistemos darbo režimu, todėl jei šiuo atveju pereinamojo proceso kokybė bus patenkinama, tai galima tikėtis, kad ji nebus blogesnė ir esant lėčiau kintančiam poveikiui [11].



5.1 pav. Maksimumo pasiekimo trukmė

Vienas iš netiesioginių sistemos dinamikos kokybės rodiklių yra IAE (Integral of Absolute Error) integralinis rodiklis [12]

$$J_{IAE} = \int_0^{\infty} |\Delta x(t)| dt ; \quad (19)$$

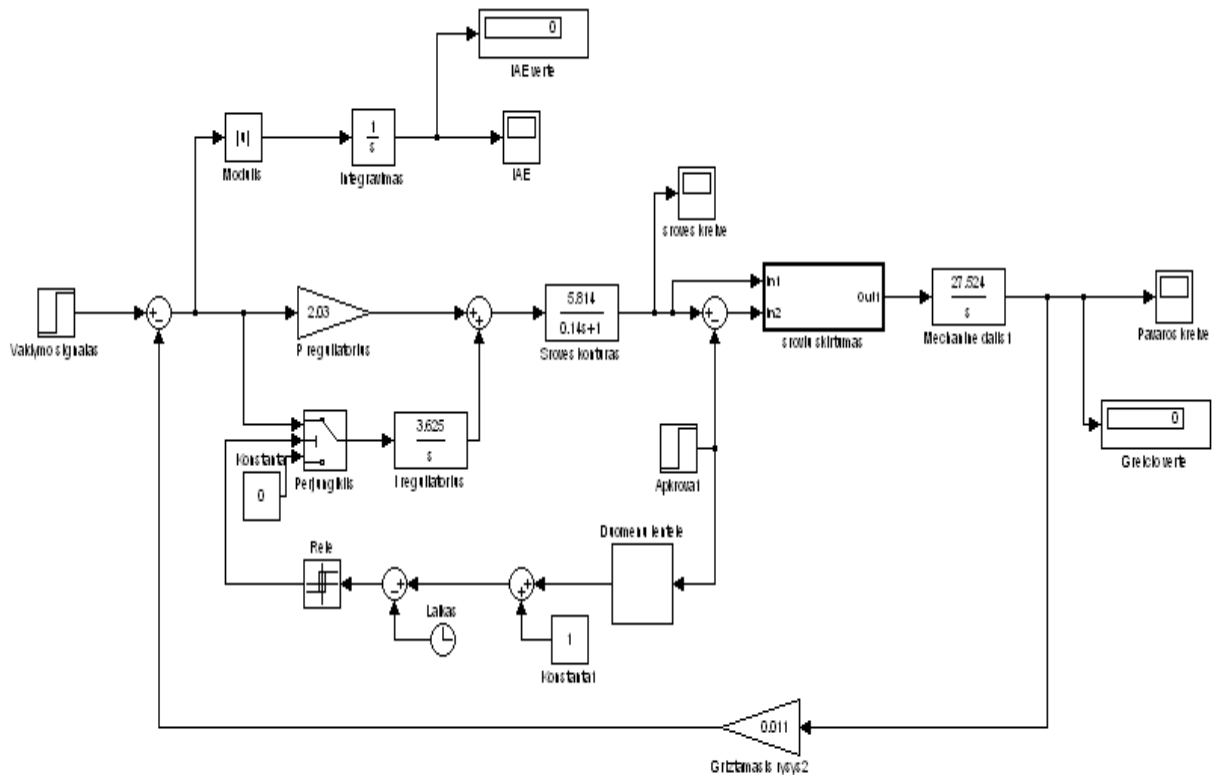
čia $\Delta x(t)$ – paklaidos (nuokrypio) signalas.

Šiuo rodikliu skaičiuojamas plotas po paklaidos (nuokrypio) signalu. Kuo plotas yra mažesnis (IAE vertė mažesnė), tuo procesas yra kokybiškesnis.

Taigi mažiausios tiesioginio dinamikos kokybės rodiklio – pirmojo maksimumo pasiekimo trukmės ir netiesioginio dinamikos kokybės rodiklio – IAE integralinio rodiklio vertės parodo geriausią elektromechaninės vykdyimo sistemos dinamikos kokybę.

5.2 Elektromechaninės sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi dinamikos kokybės nustatymas

Ketvirto skyriaus elektromechaninės vykdyimo sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi modeliui MATLAB/Simulink programa papildomai sudarytas netiesioginis dinamikos kokybės rodiklis – IAE integralinis rodiklis (5.2 pav.).

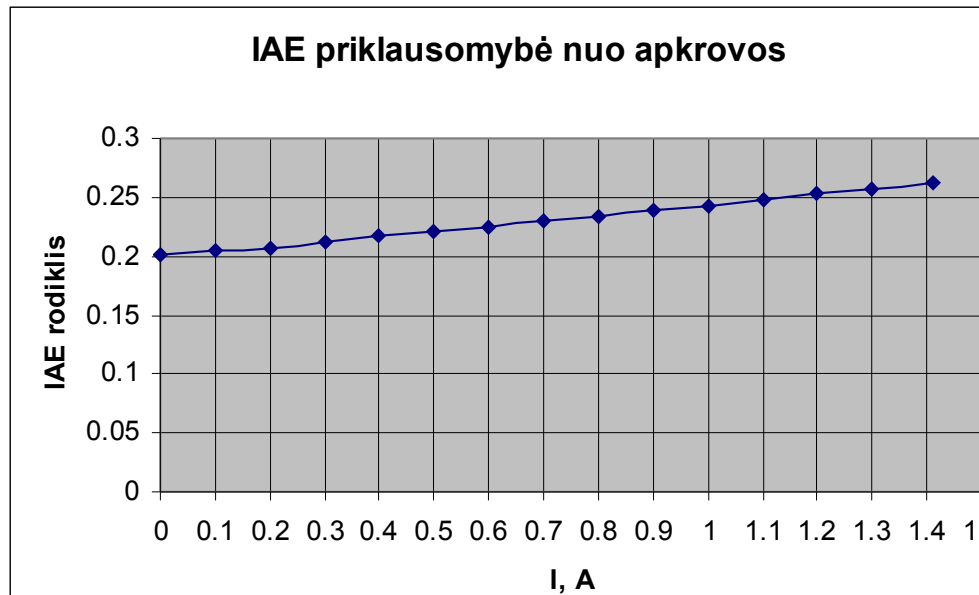


5.2 pav. Elektromechaninės vykdyimo sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi ir IAE integraliniu rodikliu modelis MATLAB/Simulink programa

Tyrimas atliktas keičiant statinės apkrovos vertę ir fiksuojant elektromechaninės vykdyimo sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi dinamikos kokybę įvertinančio IAE integralinio rodiklio vertę. Rezultatai pateikiami 3 lentelėje ir 5.3 pav.

IAE integralinio rodiklio priklausomybė nuo statinės apkrovos

IAE rodiklis	Apkrova (I_A , A)
0.2011	0
0.2046	0.1
0.2063	0.2
0.2124	0.3
0.2165	0.4
0.2206	0.5
0.225	0.6
0.2294	0.7
0.2339	0.8
0.2385	0.9
0.2432	1
0.2478	1.1
0.2525	1.2
0.2576	1.3
0.263	1.41



5.3 pav. IAE integralinio rodiklio priklausomybė nuo apkrovos

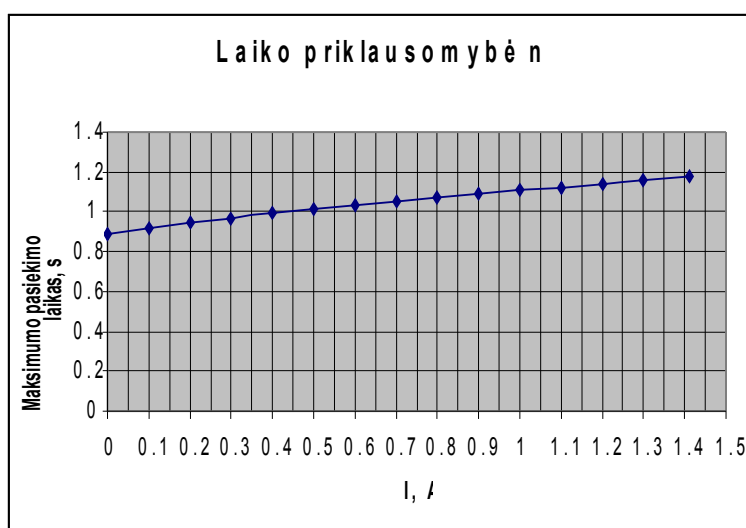
Iš gautos kreivės 5.3 pav. matyti, kad didinant statinę apkrovą IAE integralinio rodiklio vertė tiesiškai didėja.

Taip pat atliktas tyrimas ir su kitu kriterijumi – nustatant maksimumo pasiekimo laiką. Keičiant statinės apkrovos vertę buvo fiksuojamos tiesioginio dinamikos kokybės rodiklio – pirmojo maksimumo pasiekimo trukmės vertės. Rezultatai pateikiami 4 lentelėje ir 5.4 pav.

4 lentelė

Maksimumo pasiekimo trukmės priklausomybė nuo statinės apkrovos

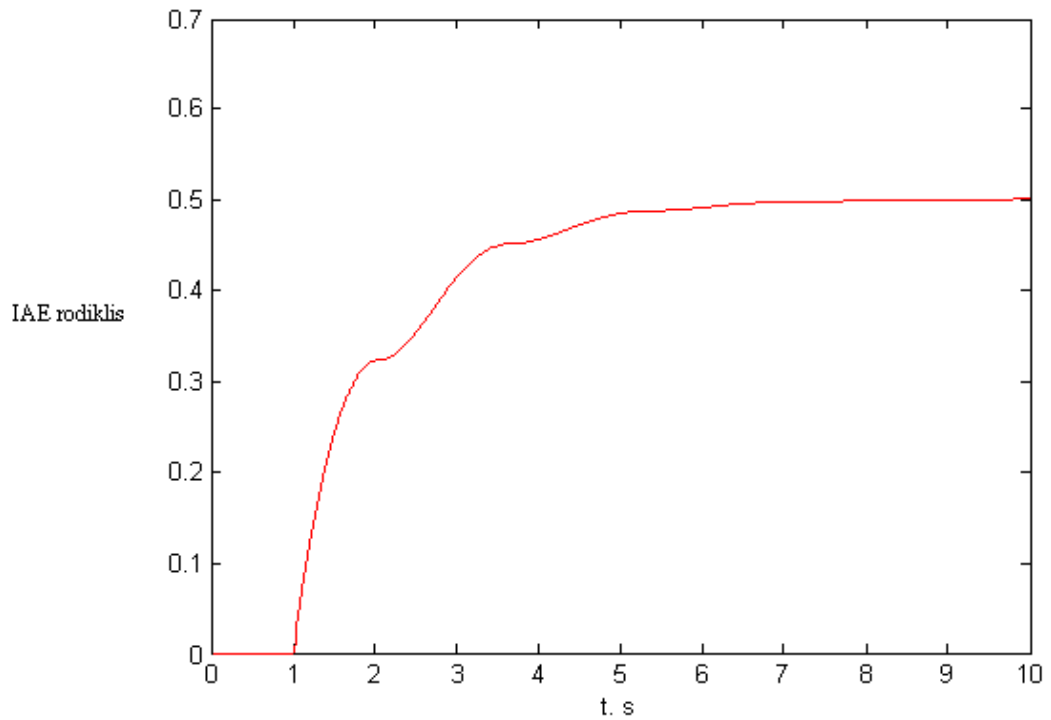
Apkrova (I_A, A)	Pasiekimo laikas, s
0	0.887
0.1	0.919
0.2	0.945
0.3	0.97
0.4	0.992
0.5	1.014
0.6	1.034
0.7	1.053
0.8	1.072
0.9	1.089
1	1.107
1.1	1.124
1.2	1.142
1.3	1.157
1.41	1.174



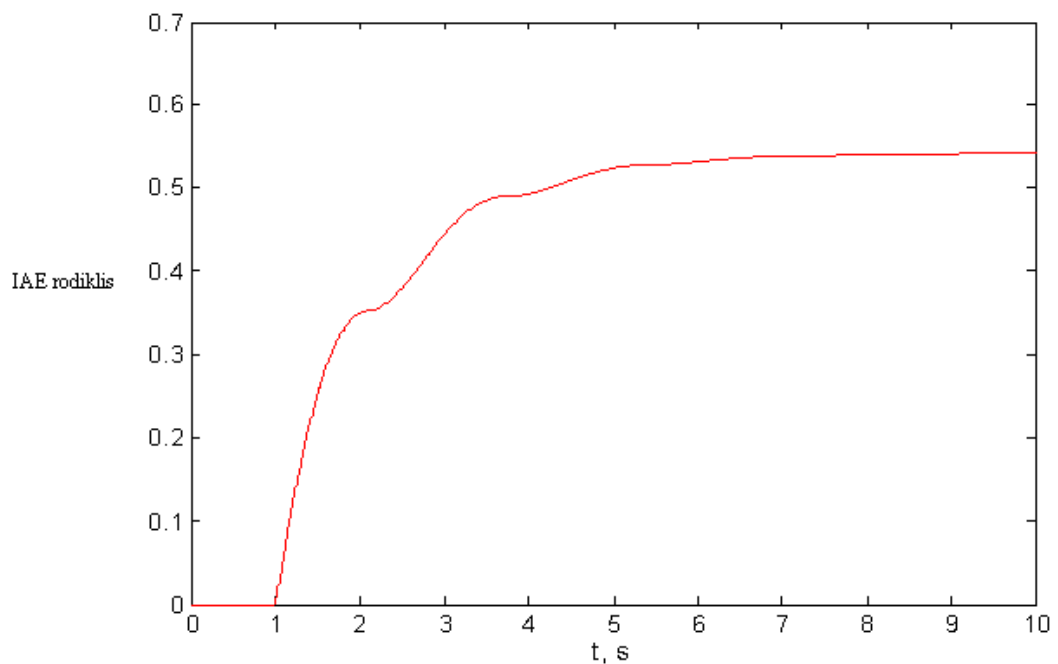
5.4 pav. Maksimumo pasiekimo trukmės priklausomybė nuo statinės apkrovos

Iš gautos kreivės 5.4 pav. matyti, kad didinant statinę apkrovą maksimumo pasiekimo trukmės vertės, kaip ir IAE integralinio rodiklio vertės, tiesiškai didėja. Todėl abu šie rodikliai yra lygiaverčiai ir vienodai parodo sistemos dinamikos kokybės kitimo pobūdį.

IAE integralinio rodiklio pereinamojo proceso kitimo kreivės pateiktos 5.5 ir 5.6 pav.



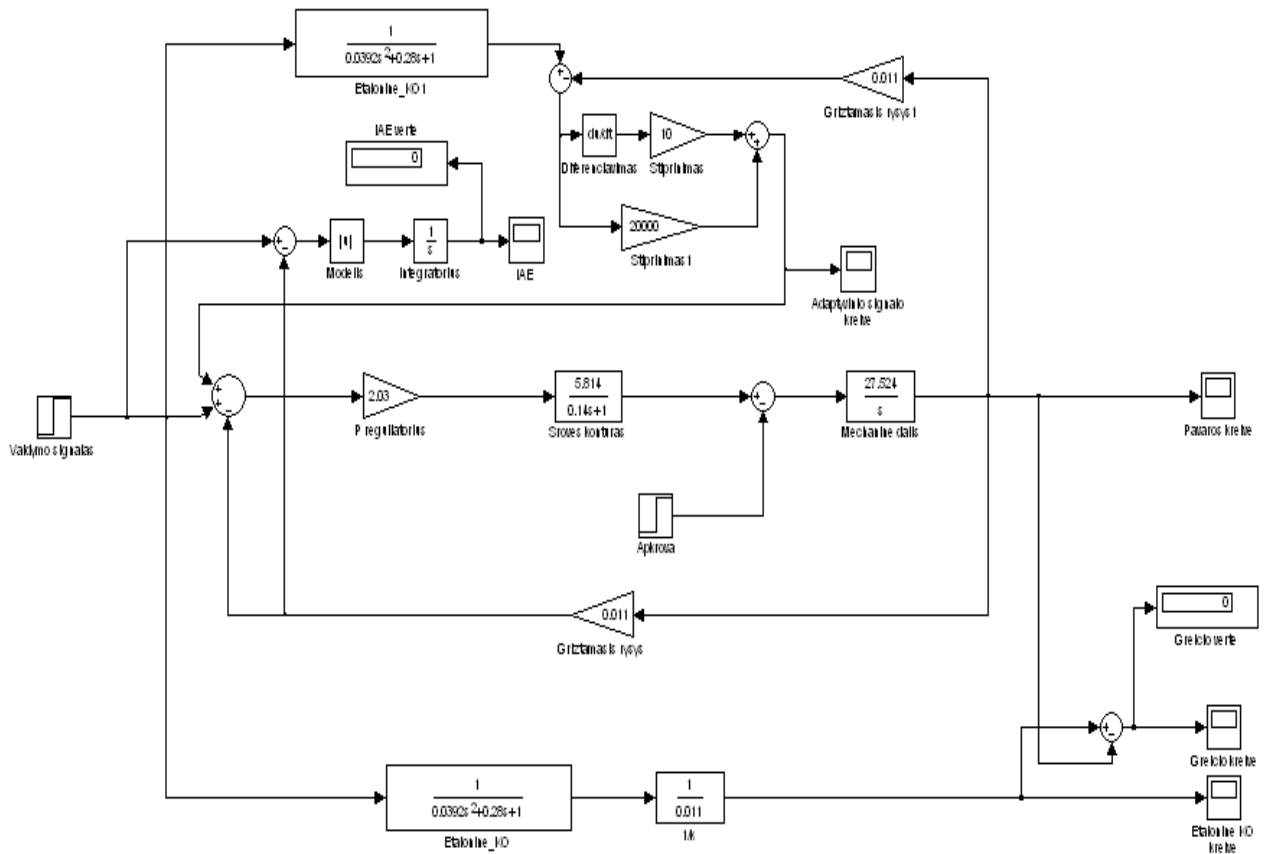
5.5 pav. IAE integralinio rodiklio kreivė, kai apkrova lygi pusei nominalios



5.6 pav. IAE integralinio rodiklio kreivė, kai apkrova lygi nominaliajai

5.3 Signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės sistemos dinamikos kokybės nustatymas

Trečio skyriaus signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdomo sistemos modeliui MATLAB/Simulink programa papildomai sudarytas netiesioginis dinamikos kokybės rodiklis – IAE integralinis rodiklis (5.7 pav.).



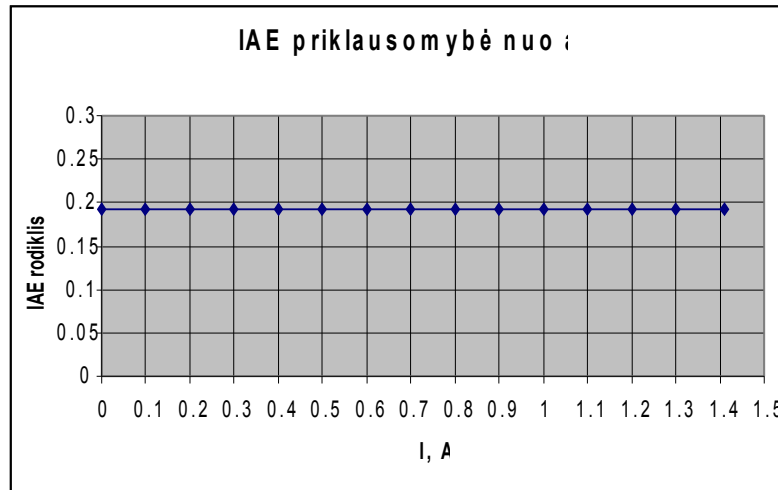
5.7 pav. Signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos su IAE integraliniu rodikliu modelis MATLAB/Simulink programa

Tyrimas atliktas keičiant statinės apkrovos vertę ir fiksuojant signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos dinamikos kokybę įvertinančio IAE integralinio rodiklio vertę. Rezultatai pateikiami 5 lentelėje ir 5.8 pav.

5 lentelė

IAE integralinio rodiklio priklausomybė nuo statinės apkrovos esant signalinei adaptacijai

Apkrova (I_A , A)	Signalinės IAE rodiklis
0	0.1915
0.1	0.1915
0.2	0.1915
0.3	0.1915
0.4	0.1915
0.5	0.1915
0.6	0.1915
0.7	0.1915
0.8	0.1915
0.9	0.1915
1	0.1915
1.1	0.1915
1.2	0.1915
1.3	0.1915
1.41	0.1915



5.8 pav. Signalinės adaptacijos IAE priklausomybė nuo apkrovos

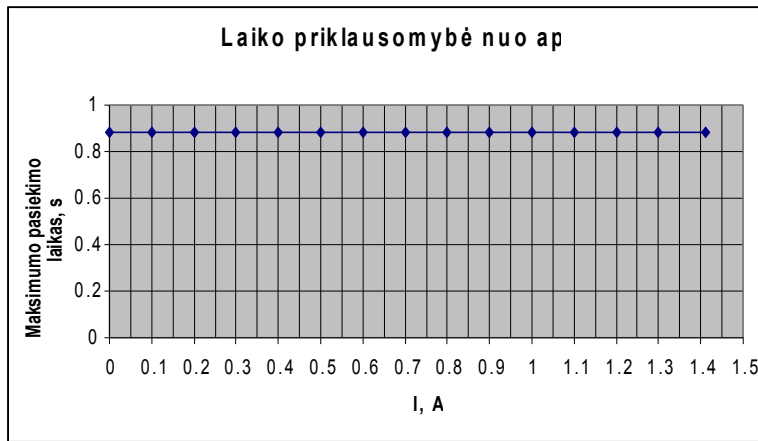
Iš gautos kreivės 5.8 pav. matyti, kad IAE integralinio rodiklio vertė nepriklauso nuo statinės apkrovos – ji išlieka pastovi.

Taip pat atliktas tyrimas ir su kitu kriterijumi – nustatant maksimumo pasiekimo laiką. Keičiant statinės apkrovos vertę buvo fiksuojamos tiesioginio dinamikos kokybės rodiklio – pirmojo maksimumo pasiekimo trukmės vertės. Rezultatai pateikiami 6 lentelėje ir 5.9 pav.

6 lentelė

Maksimumo pasiekimo trukmės priklausomybė nuo statinės apkrovos esant signalinei adaptacijai

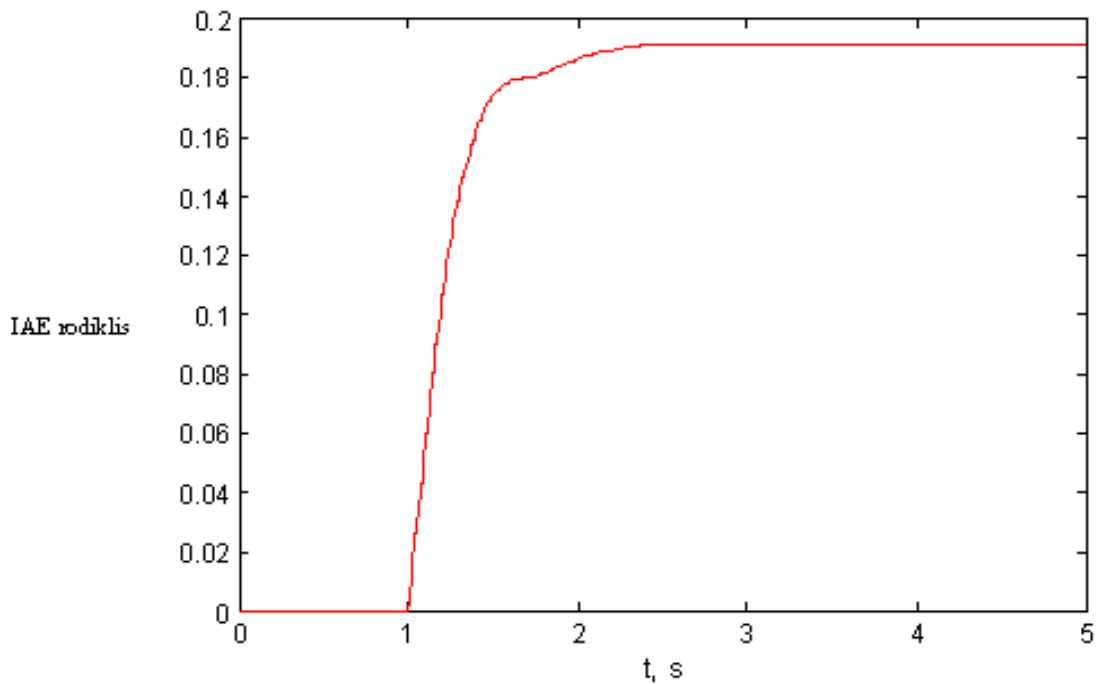
Apkrova (I_A , A)	Signalinės laikas, s
0	0.881
0.1	0.881
0.2	0.881
0.3	0.881
0.4	0.881
0.5	0.881
0.6	0.881
0.7	0.881
0.8	0.881
0.9	0.881
1	0.881
1.1	0.881
1.2	0.881
1.3	0.881
1.41	0.881



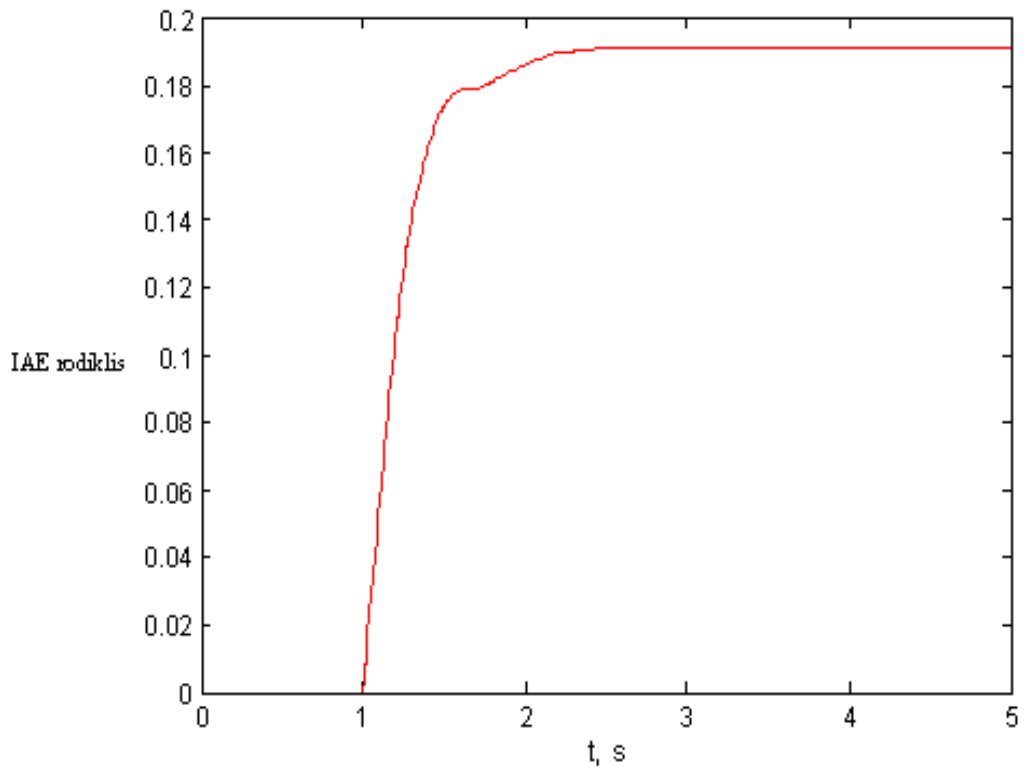
5.9 pav. Maksimumo pasiekimo trukmės priklausomybė nuo statinės apkrovos esant signalinei adaptacijai

Iš gautos kreivės 5.9 pav. matyti, kad didinant statinę apkrovą maksimumo pasiekimo trukmės vertės, kaip ir IAE integralinio rodiklio vertės, nekinta, t.y. nepriklausomai nuo statinės apkrovos vertės sistemos dinamikos kokybė išlieka vienoda.

IAE integralinio rodiklio pereinamojo proceso kitimo kreivės pateiktos 5.10 ir 5.11 pav.



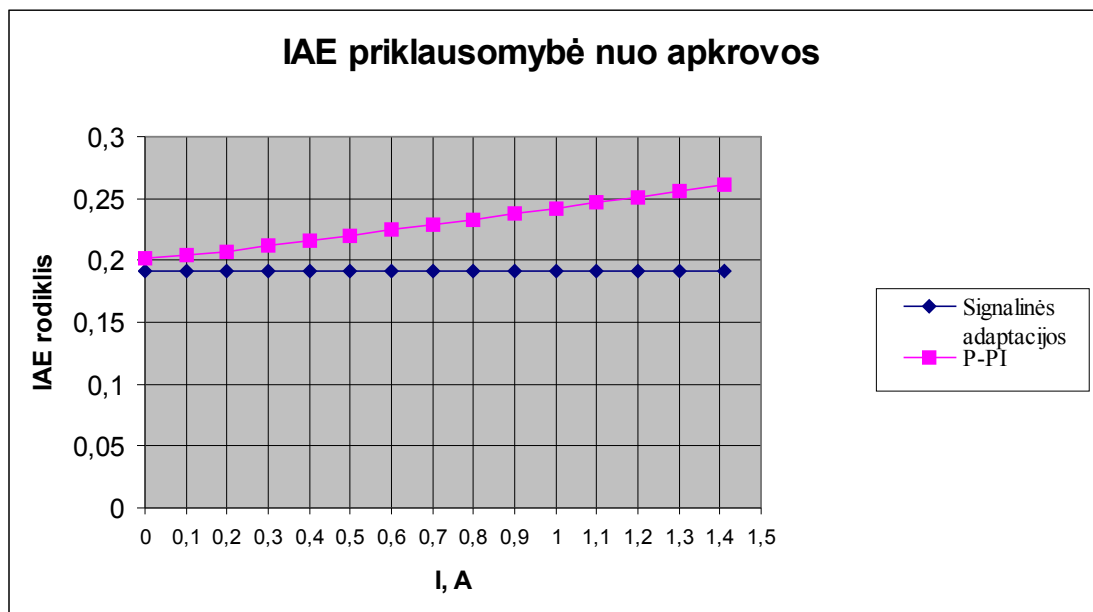
5.10 pav. IAE integralinio rodiklio kreivė, kai apkrova lygi pusei nominalios



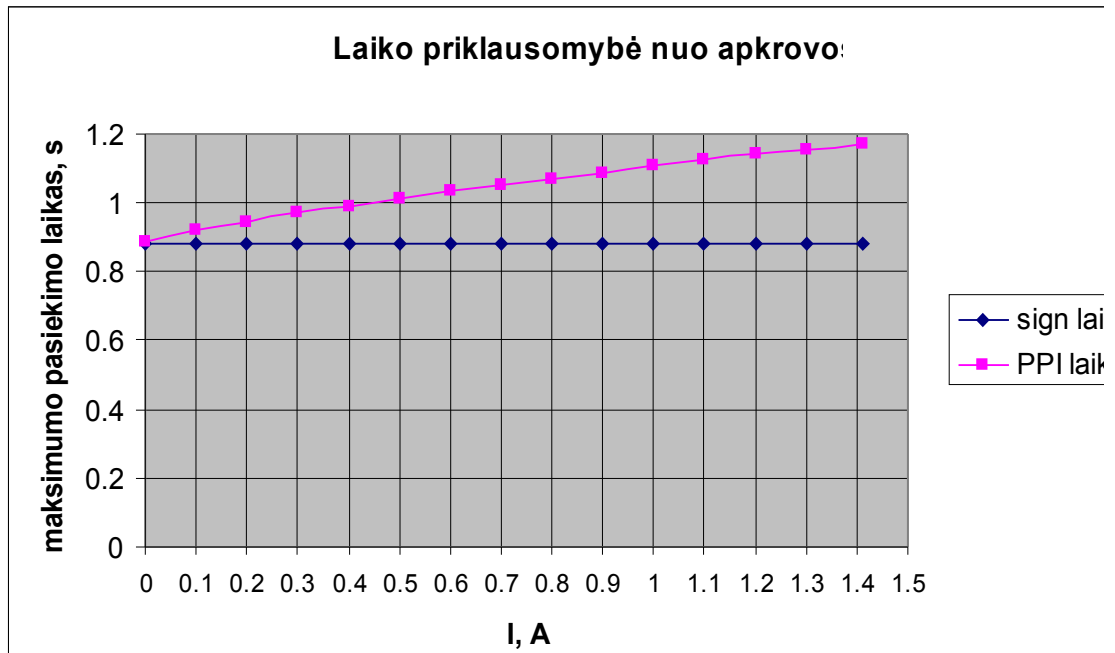
5.11 pav. IAE integralinio rodiklio kreivė, kai apkrova lygi nominaliajai

5.4 Adaptyviųjų elektromechaninių sistemų dinamikos kokybės palyginimas

Adaptyviųjų elektromechaninių sistemų dinamikos kokybės palyginimas atliekamas pagal gautąsias pirmojo maksimumo pasiekimo trukmės ir IAE integralinio rodiklio priklausomybes nuo statinės apkrovos (5.12 ir 5.13 pav.).

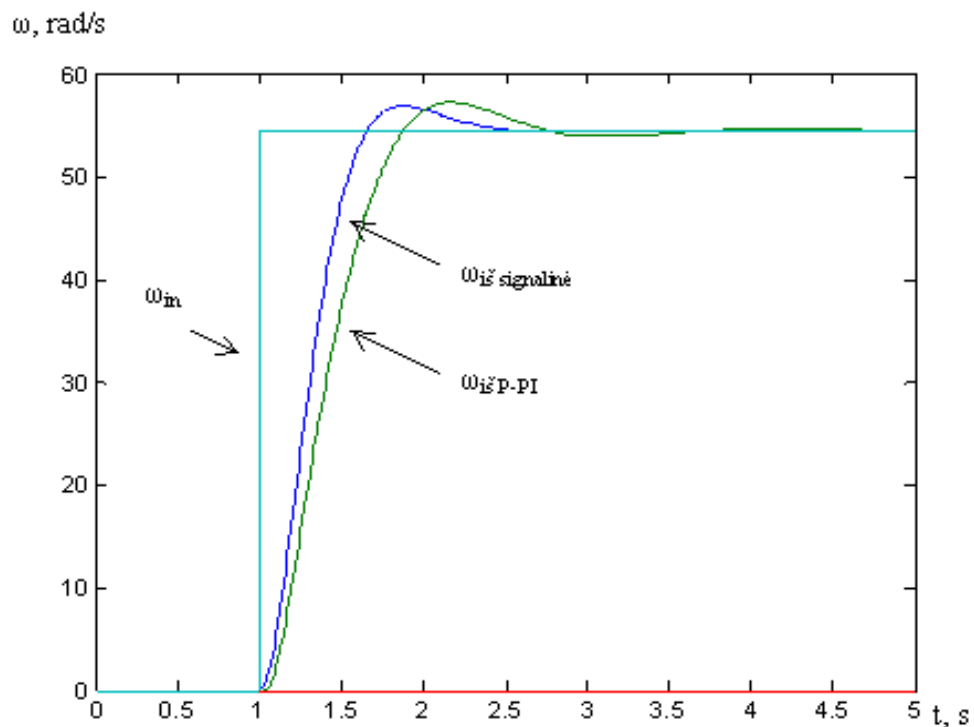


5.12 pav. Signalinės adaptacijos ir P-PI kintamos struktūros reguliatoriaus IAE priklausomybės nuo apkrovos



5.13 pav. Signalinės adaptacijos ir P-PI kintamos struktūros reguliatoriaus laiko priklausomybės nuo apkrovos

Iš gautų rezultatų (5.13 pav.) matyti, kad signalinės adaptacijos laikas nesikeičia kintant apkrovai, tačiau P-PI kintamos struktūros reguliatoriaus laikas akivaizdžiai didėja, t.y. dinamikos kokybė blogėja. Tai iliustruoja ir greičio pereinamojo proceso kreivės (5.14 pav.).



5.14 pav. Greičio pereinamojo proceso kreivės signalinės adaptacijos ir kintamos struktūros reguliatoriaus atveju

Adaptiviųjų elektromechaninių sistemų kiekybinis dinamikos kokybės palyginimas remiantis IAE integraliniu rodikliu atliekamas pagal formulę

$$\Delta I_{\%} = \frac{I_{P-PI} - I_{signaline}}{I_{signaline}} \cdot 100 \%;$$
 (20)

čia: I_{P-PI} – IAE integralinio rodiklio vertė sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi, $I_{signaline}$ – IAE integralinio rodiklio vertė sistemos su signaline adaptacija. Skaičiavimų rezultatai pateikiami 7 lentelėje.

7 lentelė

Dinamikos kokybės palyginimas remiantis IAE integraliniu rodikliu

Apkrova (I_A , A)	Signalinės IAE rodiklis	P-PI IAE rodiklis	Procentai, %
0	0.1915	0.2011	5,01
0.1	0.1915	0.2045	6,79
0.2	0.1915	0.2063	7,73
0.3	0.1915	0.2123	10,86
0.4	0.1915	0.2163	12,95
0.5	0.1915	0.2203	15,04
0.6	0.1915	0.2246	17,28
0.7	0.1915	0.2288	19,48
0.8	0.1915	0.2332	21,78
0.9	0.1915	0.2376	24,07
1	0.1915	0.2421	26,42
1.1	0.1915	0.2465	28,72
1.2	0.1915	0.251	31,07
1.3	0.1915	0.2558	33,58
1.41	0.1915	0.2609	36,24

Adaptiviųjų elektromechaninių sistemų kiekybinis dinamikos kokybės palyginimas remiantis pirmojo maksimumo pasiekimo trukmės rodikliu atliekamas pagal formulę

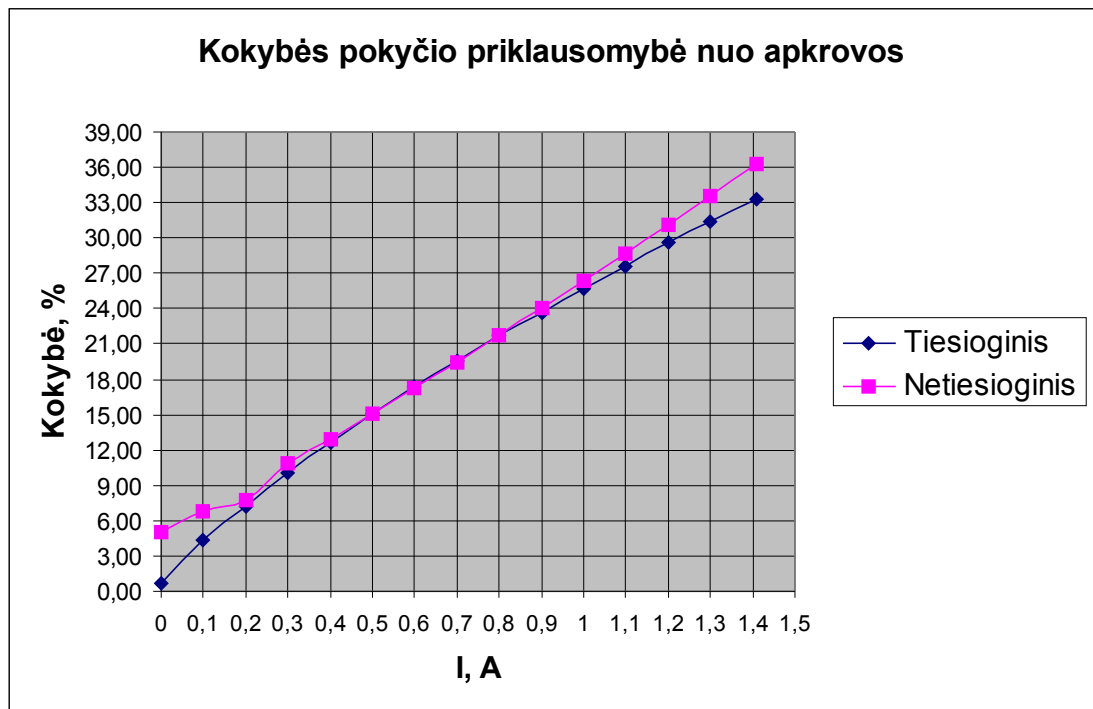
$$\Delta t_{\%} = \frac{t_{P-PI} - t_{signaline}}{t_{signaline}} \cdot 100 \%.$$
 (21)

čia: t_{P-PI} – pirmojo maksimumo pasiekimo trukmės vertė sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi, $t_{signaline}$ – pirmojo maksimumo pasiekimo trukmės vertė sistemos su signaline adaptacija. Skaičiavimų rezultatai pateikiami 8 lentelėje.

Dinamikos kokybės palyginimas remiantis tiesioginiu kokybės rodikliu

Apkrova (I_A, A)	Signalinės laikas, s	P-PI laikas, s	Procentai, %
0	0.881	0.887	0.68
0.1	0.881	0.919	4.31
0.2	0.881	0.945	7.26
0.3	0.881	0.97	10.10
0.4	0.881	0.992	12.60
0.5	0.881	1.014	15.10
0.6	0.881	1.034	17.37
0.7	0.881	1.053	19.52
0.8	0.881	1.072	21.68
0.9	0.881	1.089	23.61
1	0.881	1.107	25.65
1.1	0.881	1.124	27.58
1.2	0.881	1.142	29.63
1.3	0.881	1.157	31.33
1.41	0.881	1.174	33.26

Sistemos dinamikos kokybės pokyčio priklausomybė nuo apkrovos pateikiama 5.15 pav. Šios diagramos grafiškai iliustruoja 7 ir 8 lentelių rezultatus ir parodo kiek procentiškai signalinė adaptacija yra geresnė už P-PI kintamos struktūros reguliatorių.



5.15. pav. Kokybės pokyčio priklausomybė nuo apkrovos

Kaip rodo kokybės pokyčio priklausomybės nuo apkrovos (5.15 pav.), pagal abu kokybės rodiklius P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi gaunama dinamikos kokybė yra blogesnė už signalinės adaptacijos dinamikos kokybę. Sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi dinamikos kokybės pablogėjimas priklausomai nuo statinės apkrovos siekia nuo 1% iki 36%.

IŠVADOS

1. Sudarytas parametrinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos imitacinis modelis MATLAB/SIMULINK programa. Nustatyta, kad parametrinė adaptacija turi trūkumų – adaptuojamasi tik po kelių ciklų, pajungus apkrovą gaunamas statinis greičio nuokrypis. Taigi parametrinės adaptacijos metu yra kompensuojamas inercijos momento pokytis, tačiau nėra kompensuojama apkrovos momento įtaka.
2. Sudarytas signalinės adaptacijos principu veikiančios elektromechaninės vykdymo sistemos imitacinis modelis MATLAB/SIMULINK programa. Nustatyta, kad signalinės adaptacijos metu adaptuojamasi iš karto to paties ciklo metu. Statinės apkrovos įtaka yra pašalinama tuo išvengiant greičio statinio nuokrypio bei užtikrinant pageidaujamą pereinamąjį procesą. Taigi taikant signalinę adaptaciją kompensuojami tiek inercijos, tiek ir apkrovos momentų pokyčiai.
3. Sudarytas elektromechaninės vykdymo sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi imitacinis modelis MATLAB/SIMULINK programa. Nustatyta, kad taikant P-PI kintamos struktūros reguliatorių yra kompensuojamas tik statinės apkrovos momento pokytis, tuo išvengiant greičio statinio nuokrypio. Tačiau inercijos momento pokyčio įtaka lieka nepašalinta, todėl tuomet pablogėja sistemos dinamikos kokybė.
4. Elektromechaninės vykdymo sistemos sudarytos taikant signalinę adaptaciją bei su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi dinamikos kokybė įvertina pirmojo maksimumo pasiekimo trukmės ir IAE integraliniu rodikliu. Tyrimo rezultatai rodo, kad kintant statinei apkrovai, sistemos su signaline adaptacija dinamikos kokybė nekinta, tuo tarpu kai sistemos su P-PI kintamos struktūros reguliatoriumi dinamikos kokybė suprastėja iki 36%.
5. Remiantis atliktų tyrimų rezultatais galima konstatuoti, kad tinkamiausias taikytinas metodas elektromechaninės vykdymo sistemos parametrų kitimo kompensavimui yra signalinės adaptacijos metodas, kompensuojantis inercijos ir apkrovos momentų pokyčius ir užtikrinantis geresnę dinamikos kokybę nei P-PI kintamos struktūros reguliatorius.

LITERATŪRA

1. www.cseiq.org/.../1229506669_Adaptive%20Control_4th_control_Eng.pdf [žiūrėta 2011-02-17]
2. K. J. Astrom, B. Wittenmark. Adaptive Control. Addison-Wesley, 1989, 2d ed. 1994.
3. Shankar Sastry, Marc Bodson. Adaptive Control: Stability, Convergence, and Robustness. Prentice-Hall, 1989-1994.
4. <http://www.pages.drexel.edu/~kws23/tutorials/MRAC/MRAC.html> [žiūrėta 2011-02-17]
5. V. Geleževičius, K. Kriščiūnas, V. Kubilius. Elektros pavarų valdymo sistemos. – Vilnius: Mokslas, 1990. – 360p.
6. V. A. Geleževičius, A. Grigaitis. Research of Adaptive Force Control Loop of Electropneumatic Acting System // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2007. – Nr. 7(79). – P. 7-10.
7. A. Grigaitis, V. A. Geleževičius. Electropneumatic Positioning System with an Adaptive Force Controller // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2008. – Nr. 7(87). – P. 3-6.
8. N. Šulčius, A. Mikulskis. Proporcinio - proporcinio integruojančio kintamos struktūros greičio reguliatoriaus tyrimas. *Jaunųjų mokslininkų darbai*. ISSN 1648-8776. Šiauliai: Šiaulių universiteto leidykla, 2009, Nr. 3(24), p. 137–141.
9. N. Šulčius. Kintamos struktūros greičio reguliatoriaus realizavimo elektromechaninėje vykdomo sistemoje tyrimas. *Jaunųjų mokslininkų darbai*. ISSN 1648-8776. Šiauliai: Šiaulių universiteto leidykla, 2009, Nr. 3(24), p. 132–136.
10. V. S. Januševičius. Automatinis valdymas: teorija, uždaviniai, sprendimai. Kaunas, Technologija, 2003, p. 556.
11. A. Ivanauskas. Automatinio valdymo teoriniai pagrindai. Kaunas, Technologija, 2005, p. 484.
12. W. J. Palm III. Modeling, analysis, and control of dynamic systems. 2nd ed. – New York: John Wiley & Sons, 2000. – 854 p.
13. N. Šulčius. Mechatroninių vykdomo sistemų valdymas kintamos struktūros reguliatoriais. Daktaro disertacija. Kauno technologijos universitetas, Kaunas, 2008, p.98.
14. V. A. Geleževičius. Dvikoordinatės vykdomo sistemos. Habilitacinis darbas. Kaunas, Technologija, 1997, p. 86.

15. N. Šulčius, V. A. Geleževičius. Elektromechaninių vykdymo sistemų su kintamos struktūros reguliatoriais dinamikos kokybės tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika. Kaunas: Technologija, 2005. – Nr.7 (63). – p. 40-43.
16. V. A. Geleževičius, N. Šulčius. Dynamical Quality Improvement of Mechatronic Servo System Using Variable Structure Velocity Controller // Information Technology and Control. – Kaunas: Technologija, 2009, Vol. 38, No. 1. – p. 38-42.