

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

Dainius Baradinskas

**PID REGULIATORIAUS PARAMETRŲ DERINIMO TYRIMAS
PAGAL SUMAŽINTĄ PROCESO MODELĮ**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Leonas Balaševičius

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

PID REGULIATORIAUS PARAMETRŲ DERINIMO TYRIMAS
PAGAL SUMAŽINTĄ PROCESO MODELĮ

Baigiamasis magistro projektas
Valdymo technologijos (kodas M3066L21)

Vadovas

Doc. dr. Leonas Balaševičius

Recenzentas

Projektą atliko

Dainius Baradinskas

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos

(Fakultetas)

Dainius Baradinskas

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos M3066L21

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „PID regulatoriaus parametrų derinimo tyrimas pagal sumažintą proceso modelį“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

_____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Dainiaus Baradinsko** baigiamasis projektas tema „PID regulatoriaus parametrų derinimo tyrimas pagal sumažintą proceso modelį“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Baradinskas, D. PID reguliatoriaus parametru derinimo tyrimas pagal sumažintą proceso modelį. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Leonas Balaševičius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Automatikos katedra.

Kaunas, 2015. 82 psl.

SANTRAUKA

Darbe pateikiama PID reguliatoriaus parametru analizė tiriant objektų aprašomų pirmos/antros eilės perdavimo funkcija be/su vėlinimo grand (-ies, -imi) valdymą pagal užduotus dinaminis rodiklius. Analizės metu gauti PID reguliatoriaus parametrai panaudojami sukuriant vartotojo funkcinį bloką valdiklių programavimo pakete Concept. Funkcinio bloko paskirtis – paskaičiuoti PID reguliatoriaus parametrus pagal sumažintą proceso modelį (nuo trečios eilės procesams pagal 2 eilės perdavimo funkcija, 2 eilės procesui pagal 1 eilės perdavimo funkciją).

Reikšminiai žodžiai:

PID reguliatorius, perdavimo funkcija, derinimas.

Baradinskas, Dainius. Research of PID Parameters Tuning by Plant Model Reduction. Final project of *title qualification degree* / supervisor doc. dr. Leonas Balaševičius; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Automation.

Kaunas, 2015. 82 pages.

SUMMARY

The paper presents the PID controller parameters analysis investigating objects, which are described by the first/second order transfer function with/without delay control according to established dynamic parameters. During the analyses PID controller parameters were obtain and use in the creation of a functional control block in a Concept programming package. Functional block purpose – calculate PID controller parameters by plant model reduction (the third order systems according second order systems, the second order systems according first order systems).

Keywords:

PID controller, transfer function, tuning.

Turinys

1	APŽVALGINĖ DALIS	9
1.1	Automatinis valdymas ir reguliavimo kriterijai	9
1.2	Reguliatorių savybės	10
1.3	Derinimo metodai	12
1.3.1	Ziegler - Nichols derinimo ir susiję metodai	13
1.3.2	Atviro kontūro derinimo metodas	13
1.3.3	Uždaro kontūro derinimo metodas	14
1.3.4	Cohen - Coon metodas	15
1.3.5	Kappa - Tau metodas	17
1.4	Analiziniai metodai	18
1.4.1	Polių išdėstymo (angl. <i>pole placement</i>) metodas	18
2	METODINĖ DALIS	20
2.1	Regulatoriaus parametrų analizė	20
2.1.1	PI regulatoriaus parametrų parinkimas pirmos eilės objektui be vėlinimo valdyti	20
2.1.2	PI regulatoriaus parametrų parinkimas pirmos eilės objektui su vėlinimu valdyti	22
2.1.3	PID regulatoriaus parametrų parinkimas antros eilės objektui be vėlinimo valdyti	26
2.1.4	PID regulatoriaus parametrų parinkimas antros eilės objektui su vėlinimu valdyti	28
3	TYRIMO REZULTATŲ DALIS	34
3.1	Antros eilės objekto be vėlinimo valdymas	34
3.1.1	PID regulatoriaus parametrų parinkimas pagal antros eilės objekto modelį	34
3.1.2	PI regulatoriaus parametrų parinkimas pagal pirmos eilės objekto modelį	37
3.2	Antros eilės objekto su vėlinimu valdymas	40
3.2.1	PID regulatoriaus parametrai parinkimas pagal antros eilės su vėlinimu objekto modelį	40
3.2.2	PI regulatoriaus parametrų parinkimas pagal pirmos eilės su vėlinimu objekto modelį	42
3.3	Trečios eilės objekto be vėlinimo valdymas	45

3.3.1	PID regulatoriaus parametų parinkimas pagal antros eilės objekto modelį.....	45
3.4	Trečios eilės objekto su vėlinimo grandimi valdymas.....	50
3.4.1	PID regulatoriaus parametų parinkimas pagal antros eilės su vėlinimo grandimi objekto modelį.....	50
4	PID REGULATORIAUS PARAMETRŲ PARINKIMO FUNKCINIS BLOKAS.....	53
5	IŠVADOS	62
6	LITERATŪRA	63
7	PRIEDAI	64

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

Z-N – Ziegler ir Nichols PID regulatoriaus derinimo metodas;

P - regulatoriaus proporcinė dedamoji;

I - regulatoriaus integralinė dedamoji;

D – regulatoriaus diferencinė dedamoji;

G(s) – objekto (proceso) perdavimo funkcija;

G_c(s) – regulatoriaus perdavimo funkcija;

K_{pr} – statinis stiprinimo koeficientas;

K_u – ribinis periodas;

T_u – ribinis periodas;

K_{ob} – objekto (proceso) stiprinimo koeficientas;

T_{ob} – atstojamoji laiko pastovioji pirmos eilės objekto;

T_{ob1} – pirmoji laiko atstojamoji, antros eilės objekto;

T_{ob2} – antroji laiko atstojamoji, antros eilės objekto;

α – vėlinimas;

p. f. – perdavimo funkcija.

IVADAS

Šiandieniniame sparčiai besivystančių technologijų ir didėjančio pramonės našumo pasaulyje didelį vaidmenį vaidina esamų technologijų gerinimas ir tobulinimas. Siekiama kuo daugiau procesų padaryti automatizuotais, keičiant žmonių atliekamus darbus į sudėtingų automatizuotų mašinų, robotų veiksmus. Tokiais pasikeitimais siekiama didinti pramonės našumą ir kompensuoti augančias naudojamų medžiagų ir energijos kainas.

Sudėtingėjant automatizuotiems procesams kyla vienas svarbus klausimas kaip tokius procesus padaryti našesniais išgaunant kuo didesnę efektyvumą. Nuo reguliuojamų procesų suderinimo priklauso ne tik gaminamos produkcijos kokybiškumas ir technologinio proceso našumas, bet ir suvartojamos energijos sąnaudos. „1930-ais trijų dedamųjų parametru valdiklis su proporcingąja (angl. proportional), integraline (angl. integral) ir diferencine (angl. derivative) formomis tapo komerciškai prieinamas ir pradėjo plisti pramonėje“ [1]. Šis procesų valdymo būdas išliko populiarus ir šiuo metu yra plačiai naudojamas pramonės technologinių procesų valdyme. PID reguliatorių populiarumą lėmė jų paprastumas ir patikimumas taikant juos procesų, mechatroninių sistemų valdyme. Apskaičiuota, jog „net 80 % pramonėje veikiančių automatinio reguliavimo sistemų su PID reguliatoriais yra blogai suderintos ir 30% šių sistemų dirba rankinių režimu, nepaisant to, kad pirmieji reguliatorių derinimo metodai sukurti prieš penkiasdešimt metų, o pastaraisiais dešimtmečiais įvairūs autoriai yra pateikę daug naujų efektyvių P, PI, ir PID reguliatorių derinimo metodų“ [2].

Šis darbas koncentruojasi ties PID reguliatoriumi, jo projektavimu ir paplitusiais parametru derinimo metodais. Pateikiama PID reguliatorių parametru derinimo skirtingos eilės objektams analizė ir jos pritaikymas.

1 APŽVALGINĖ DALIS

1.1 Automatinis valdymas ir reguliavimo kriterijai

Šiuo metu atliekant daugelį darbų yra pasitelkiamos papildomos technologijos ir įrankiai, kurie supaprastina atlikimo procesą t. y. palengvina dirbančiajam atlikti jam paskirtą užduotį. Tačiau daugelį procesų galima patikėti atlikti mašinoms ir robotams. Tokį procesą, kuriame nereikalinga žmogaus pagalba nusako automatinis valdymas, „tai toks procesas, kai visos pagrindinės sistemos darbo ir valdymo operacijos (t. y. visų sistemos elementų funkcijos) yra atliekamos automatiškai, žmogui (operatoriui) tiesiogiai nedalyvaujant“ [5].

Automatinio reguliavimo sistemų tikslas palaikyti pastovią numatytą reikšmę ir kompensuoti sistemoje atsiradusius trikdžius. Valdymo sistemos kokybę apibūdinantys kriterijai:

- stabilumo;
- stabiliosios būsenos;
- dinaminės reakcijos.

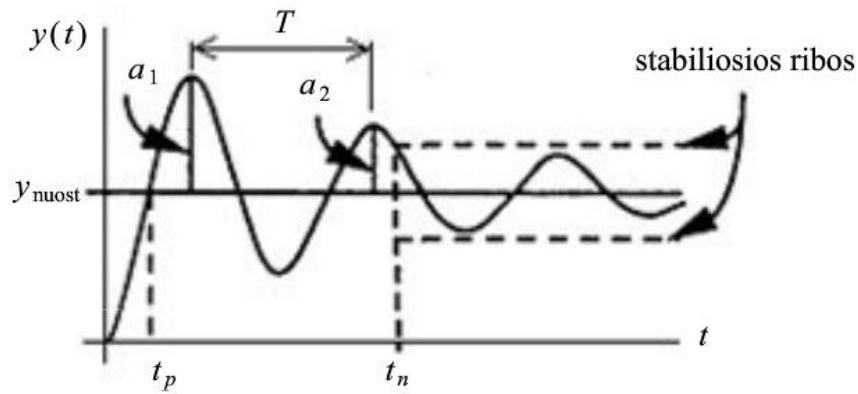
Stabilumo kriterijus nusako, jog valdymo sistema turi būti stabili. „Stabiliosios būsenos kriterijus reiškia, kad sistemoje neturi būti statinės paklaidos arba ši paklaida turi būti maža. Dinaminės reakcijos kriterijus nusako sistemos darbo kokybę pereinamųjų procesų metu“ [2]. Taigi norint, jog valdymo sistema veiktų efektyviai, reikia jog ji tenkintų šiuos 3 kriterijus.

Automatinio reguliavimo sistemos stabilumas tiriamas sistemą paveikus šuoliniu signalu. Galimi kelios reakcijų rūšys į šuolinį signalą:

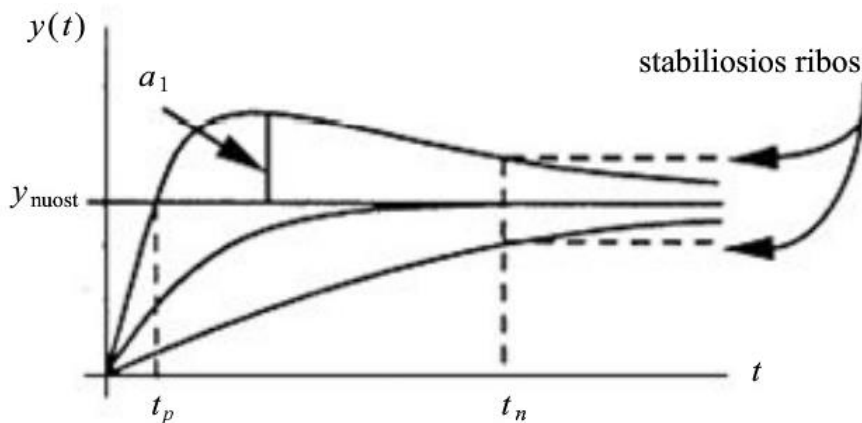
- 1) svyruojama reakcija (1.1 pav.)
- 2) nesvyruojama reakcija (1.2 pav.)

„Reakcijų pobūdis priklauso nuo sistemos suderinimo“ [2]. Gamybos procesai yra labai įvairūs ir kiekvienai valdymo sistemai reikia konkrečiai nustatyti ir parinkti koks pereinamasis procesas yra tinkamiausias. Egzistuoja tokie pagrindiniai kriterijai pagal, kuriuos sistemų automatinis reguliavimas pasirenkamas:

- minimali pakilimo trukmė (angl. *minimum rise time*) t_p ;
- minimali pereinamojo proceso trukmė (angl. *minimum settling time*) t_n ;
- apribotas maksimalus perreguliavimas (angl. *maximum overshoot*), $a_1 \leq a_{1max}$;
- apribotas maksimalus (angl. *maximum decay ratio*) svyruojančių pereinamųjų procesų slopinimo santykis, $a_2/a_1 \leq d_{max}$.



1.1 pav. Svyruojama reakcija [2]



1.2 pav. Kelios nesvyruojamos reakcijos [2]

Daugelis reguliatorių derinimo metodų remiasi integraliniais kriterijais, kurių veikimas pagrįstas sistemos išėjimo nuokrypiu nuo nuostatos sistemos vertės (nuostato). „Dažniausiai taikomi tokie integraliniai kriterijai“ [2] :

- 1) absoliutinės paklaidos integralas;
- 2) kvadratinės paklaidos integralas;
- 3) absoliutinės paklaidos su laiko svoriniu koeficientu integralas;
- 4) kvadratinės paklaidos su laiko svoriniu koeficientu integralas.

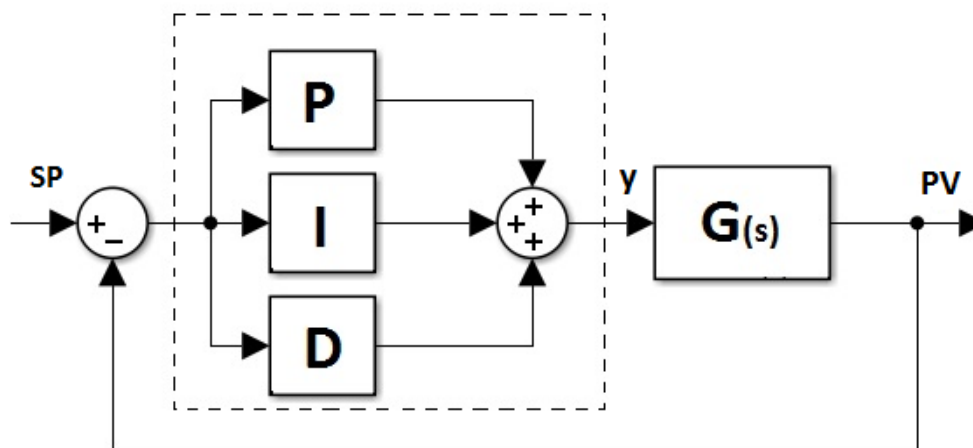
Visų šių integralinių kriterijų užduotis yra sumažinti išėjimo nuokrypį nuo sistemai nustatytos vertės.

1.2 Reguliatorių savybės

„Klasikiniai valdymo algoritmai grįžtamojo ryšio automatinio reguliavimo sistemose sudaromi iš proporcingosios (P), integralinės (I) ir diferencialinės (D) dedamųjų, kurios skirtingai reaguoja į grįžtamojo ryšio signalo nuokrypį, o jų įvairios kombinacijos suteikia valdymo algoritmams naudingas specifines savybes“ [2]. Galimi įvairūs reguliatorių realizavimo tipai. Pats paprasčiausias yra P, kiti reguliatoriai yra sudėtingesni: I, PD, PI, PID. Nors „I

regulatorius praktikoje beveik nenaudojamas“ [3]. Anksčiausiai pradėtas naudoti derinimo būdas buvo paremtas bandymų ir klaidų metodu. Šis metodas tiko bet kokios struktūros PID regulatoriams derinti. Dabar šis būdas praktikoje retai taikomas.

„Proporcinio regulatoriaus objekto išėjimas pasikeičia tik tuomet kai keičiasi trikdžio signalo reikšmė“ [4]. Taip pat „proporcinis regulatorius visada palaiko statinę paklaidą“, kuri apriboja proporcinio regulatoriaus taikymo ribas. Dažniausia eliminuoti statinę paklaidą galima su integraline (I) dedamoja. Taigi P valdiklio panaudojimo sritis yra siaura, dažniausia taikoma lygio palaikymo sistemose.



1.3 pav. Blokinė PID regulatoriaus struktūra (pažymėta punktyrine linija)
SP - užduoties signalas, y – valdymo signalas, PV – proceso vertė

PID regulatorius (1.3 pav.) aprašomas perdavimo funkcija:

$$G_C(s) = P + I + D = K_P + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (1)$$

arba:

$$G_C(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2)$$

Kur K_p yra proporcinis stiprinimas, K_i yra integravimo koeficientas ir K_d išvestinės koeficientas. T_i yra žinomas kaip integralinė dedamoji arba atsistatymo trukmė ir T_d yra nurodytas kaip diferencialinė dedamoji. Integralinė dedamoji panaikina statinę reguliavimo paklaidą, o diferencialinė dedamoji leidžia pagreitinti sistemoje pereinamuosius procesus ir pagerinti jų slopinimą [2] [8].

Praktikoje dažniausia naudojama pertvarkyta išraiška:

$$G_C(s) = K_P + \frac{K_i}{s} + \frac{K_d s}{1 + T_n s} \quad (3)$$

Ši realizacija įtraukia ir žemo dažnio filtrą su diferencialine dedamąja sumažindama triukšmus. T_n yra filtro laiko konstanta. PID išraiška duota (3) formulėje yra žinoma kaip lygiagrečios struktūros reguliatorius. Taip pat PID reguliatorius gali turėti ir nuoseklią struktūrą, kuri aprašoma (4) [8]:

$$G_C(s) = G_{PI}(s)G_{PD}(s) \quad (4)$$

Arba (5):

$$G_C(s) = K_P \left(\frac{T_i s + 1}{T_i s} \right) \left(\frac{T_d s + 1}{\beta T_d + 1} \right) \quad (5)$$

Ši išraiška reikalauja, jog $\beta < 1$, dėl to jog būti gauta tinkama fazių seka. Nuosekli struktūra yra mažiau lanksti nei lygiagreti reguliatoriaus struktūra. Pastebėta, jog iš nuoseklios struktūros galima paversti reguliatorių į lygiagrečią struktūrą.

1.3 Derinimo metodai

„Pastaraisiais dešimtmečiais įvairūs autoriai yra pateikę daug naujų efektyvių<...>reguliatorių derinimo metodų. Šiuo metu žinoma daugiau nei 200 derinimo taisyklių ir metodų“ [2]. Reguliatorių naudojimas pasiskirsto: apie 60% visų reguliatorių sudaro PI (proporciniai - integraliniai), 20% yra PID (proporciniai - integraliniai - diferencialiniai) tipo, ir 20% yra P (proporciniai) tipo [4]. PID reguliatoriaus derinimo metodai yra skirstomi į kelias pagrindines kategorijas:

- uždaro kontūro metodai (angl. *closed loop methods*);
- atviro kontūro metodai (angl. *open loop methods*);
- analiziniai metodai.

Darbe toliau išanalizuoti reguliatorių derinimo metodai:

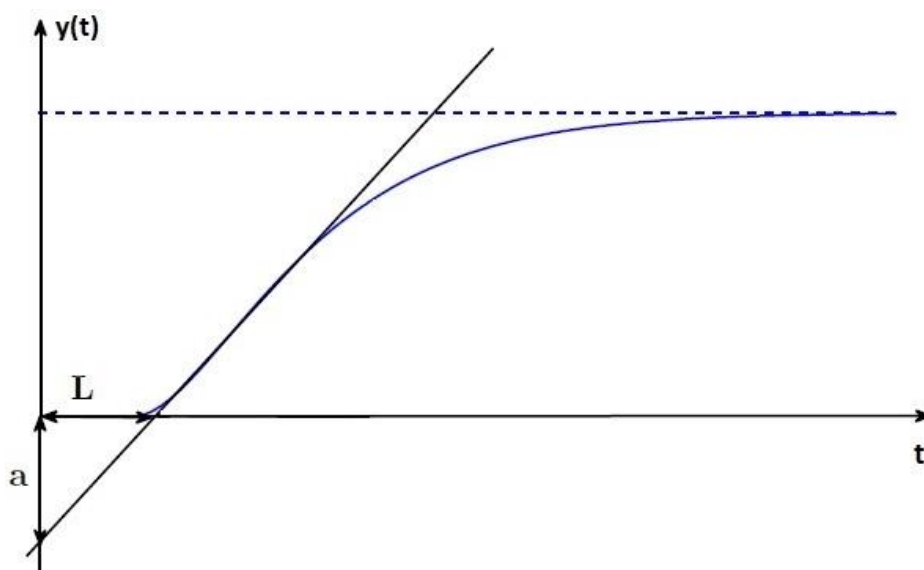
- Ziegler - Nichols;
- Cohen - Coon;
- Kappa - Tau;
- Polių išdėstymo.

1.3.1 Ziegler - Nichols derinimo ir susiję metodai

1942 metais Ziegler ir Nichols pateikė du empirinius PID reguliatorių derinimo metodus: šuolinės reakcijos (angl. *step response*) ir dažnių (angl. *frequency*). Šie metodai dar ir dabar yra plačiai naudojami, taip pat ir naujos jų modifikacijos. Metodai paremti proceso dinamikos įvertinimu, naudojant tik du proceso dinamiką apibūdinančius parametrus: ribinį ciklą (angl. *ultimate gain*) ir ribinį periodą (angl. *ultimate period*) [2] [6].

1.3.2 Atviro kontūro derinimo metodas

Pirmasis Ziegler - Nichols metodas, laiko srities, remiasi proceso šuoline reakcija atviro kontūro sistemoje (1.4 pav.). Regulatoriaus derinimas atliekamas naudojant įprastinį būdą pasitelkiant proporcinės, integralinės ir diferencialinės išraiškas. Atliekant šuolinės reakcijos bandymą, sistemos reakcija turi būti nubraižyta, pageidautina kompiuteryje. Suradus amplitudę (a), įėjimo šuolinio pokyčio dydį (Δu), vėlinimą (L) ir kuomet amplitudės slopinimo santykis neviršija 0.25 galima apskaičiuoti P, PI ar PID regulatoriaus parametrus.



1.4 pav. Proceso parametrų nustatymas iš šuolinės charakteristikos

Ziegler ir Nichols sudarytos reguliatorių derinimo taisyklės (1.1 lentelė), pagal kurias galima apskaičiuoti regulatoriaus parametrus.

1.1 lentelė. Reguliatoriaus derinimo taisyklės šuolinės reakcijos [8]

Regulatorius	K	T_i	T_d
P	1/a		
PI	0.9/a	3L	
PID	1.2/a	2L	L/2

Šuolinis Z - N metodas pasižymi greitesniu ir lengvesniu reguliatoriaus parametru radimu. Taip pat šis metodas yra plačiai taikomas ir patikimas. Pagrindinis privalumas jog jis yra lengviau įgyvendinamas lyginant su kitais derinimo metodais. Tačiau šis metodas neturi I, D ir PD reguliatorių derinimo galimybių.

1.3.3 Uždaro kontūro derinimo metodas

Vėlesnis Ziegler ir Nichols pasiūlytas dažnių metodas taikomas uždaro kontūro sistemoms. Šis metodas turi apribojimą, jog jis negali būti pritaikytas atviro kontūro sistemai. Stiprinimas pakeliamas iki kol uždaro kontūro sistema tampa kritiškai stabili (pastovūs svyravimai) [9] [10].

Dažninės charakteristikos atlikimo etapai(naudojama uždaro kontūro sistema):

- 1) Pakeičiamos integralinė ir diferencialinė dedamosios. Integravimo laikas (T_i) nustatomas labai didelis (galima didžiausia leidžiama reikšmė), diferencialinė dedamoji (T_d) nustatoma 0;
- 2) Įvedamas trikdys taip pakeičiama užduota reikšmė (angl. *set point*). Proporcinis stiprinimas didinamas arba mažinamas iki kol sistemoje atsiranda pastovios amplitudės svyravimai;
- 3) Surandamos ribinio stiprinimo koeficiento (K_u) ir ribinio periodo (T_u) reikšmės;
- 4) Naudojantis rastomis reikšmėmis ir Z - N derinimo taisyklėmis (1.2 lentelė) apskaičiuojami reguliatoriaus parametrai.

1.2 lentelė. Reguliatoriaus derinimo taisyklės dažninės reakcijos metodui [8]

Regulatorius	K	T_i	T_d
P	$0.5K_u$		
PI	$0.4K_u$	$0.8T_u$	
PID	$0.6K_u$	$0.5T_u$	$0.125T_u$

Naudojantis šiuo metodu reguliatoriaus reikšmės apskaičiuojamos gana paprastai, atliekant eksperimentą, keičiant P (proporcinio stiprinimo) reikšmę. Atliekant šį derinimo metodą

akivaizdžiai galima matyti kaip sistema elgiasi keičiant proporcinį stiprinimą. Kaip vienas iš šio metodo trūkumų yra laikas reikalingas tinkamai suderinti reguliatorių. Taip pat yra rizika jog keičiant P reikšmes sistema gali atsidurti nestabiliuose ribose ir taip sistema gali tapti nevaldoma.

Ziegler - Nichols metodai kai kuriais atvejais neužtikrina tinkamos reguliavimo kokybės. Priežastis yra ta, kad šiais metodais suderintose sistemose pereinamieji procesai slopsta palyginti lėtai, nes autorių naudotas derinimo kriterijus „0.25 amplitudės slopinimo santykis“ daugeliu atveju yra per didelis [2].

2012 metais atliktu tyrimu [7] norėta gauti geresnius Ziegler - Nichols šuolinės reakcijos derinimo metodo rezultatus ir pasiekti stabilesni (angl. *non - fragility*) derinimą panaudojant du parametrus. Gauti rezultatai (6) yra labai panašūs į Z - N šuolinės reakcijos metodu gaunamus (7).

Modifikuoto Z - N derinimo metodo rezultatai gauti 2012 metais:

$$(K_p^{cm}, K_i^{cm}, K_d^{cm}) \cong \left(\frac{1.06}{KL}, \frac{0.65}{KL^2}, \frac{0.59}{K} \right) \quad (6)$$

Z-N derinimo metodo rezultatai:

$$(K_p^{ZN}, K_i^{ZN}, K_d^{ZN}) \cong \left(\frac{1.2}{KL}, \frac{0.6}{KL^2}, \frac{0.6}{K} \right) \quad (7)$$

Šie rezultatai reiškia, jog teigiamas stabilus masės centras yra labai arti Z - N šuolinės reakcijos metodo derinimo metodo parametrų [7]. Tai gi šio tyrimo gauti rezultatai yra labai arti jau prieš 6 dešimtmečius pasiūlyto Ziegler - Nichols šuolinės reakcijos metodu gautų rezultatų.

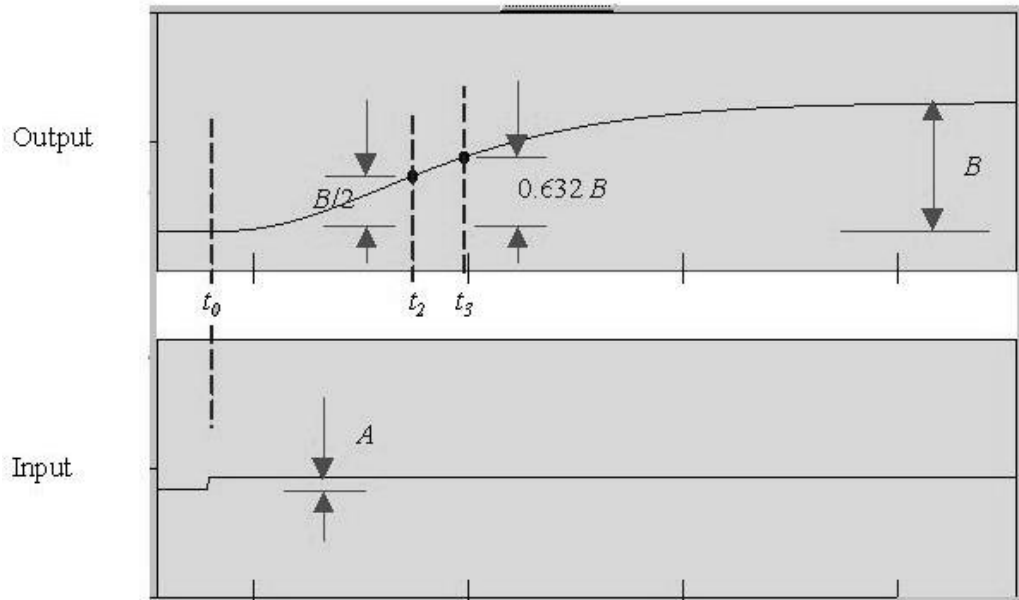
1.3.4 Cohen - Coon metodas

Cohen ir Coon sudarė tikslesnes 0.25 slopinimo laipsnio kriterijams derinimo formules. Didelis proceso vėlinimas yra reikalingas padaryti šį metodą praktiniu, nes kitaip gali būti pasiektas nepagrįstai didelis regulatoriaus stiprinimas. Šis metodas taikomas tik su pirmos eilės su vėlavimo modeliu, atsižvelgiant į tai jog reguliatorius negali iškart sureaguoti į trikdį [2] [11].

Metodas pasižymi nesudėtinga veiksmy seka:

- 1) palaukiama kada procesas nusistovės (angl. *steady - state*);
- 2) pakeičiama nuostatos reikšmė (angl. *step*);

- 3) remiantis išėjimu (angl. *output*) gaunamas apytikslis pirmos eilės procesas su pastoviu vėlinimu τ atidėtu per ribinį vėlinimą τ_{pr} . Vėlinimo τ ir ribinio vėlinimo τ_{pr} reikšmės apskaičiuojamos naudojantis t_0 , t_2 , t_3 reikšmėmis. (t_0 - laikas kuomet į įėjimą įvedamas žingsnis, t_2 - laikas kuomet pasiekama $0.5 t_3$, t_3 - laikas kuomet pasiekama 63.2% B reikšmės.



1.5 pav. Cohen – Coon derinimo išėjimo ir įėjimo signalai [2]

- 4) rasti regulatoriaus parametrus remiantis τ , τ_{pr} , K_{pr} .

1.3 lentelė. Reguliatorių derinimo parametrai [8]

Regulatorius	Derinimo taisyklės
P	$K_r = \frac{T_{pr}}{K_{pr} \tau_{pr}} \left(1 + \frac{\tau_{pr}}{3T_{pr}} \right)$
PI	$K_r = \frac{T_{pr}}{K_{pr} \tau_{pr}} \left(0,91 + \frac{\tau_{pr}}{12T_{pr}} \right)$
	$T_i = \frac{30 + 3 \tau_{pr} / T_{pr}}{9 + 20 \tau_{pr} / T_{pr}} \tau_{pr}$
PD	$K_r = \frac{T_{pr}}{K_{pr} \tau_{pr}} \left(1,25 + \frac{\tau_{pr}}{6T_{pr}} \right)$
	$T_d = \frac{6 - 2 \tau_{pr} / T_{pr}}{22 + 3 \tau_{pr} / T_{pr}} \tau_{pr}$
PID	$K_r = \frac{T_{pr}}{K_{pr} \tau_{pr}} \left(1,33 + \frac{\tau_{pr}}{4T_{pr}} \right)$
	$T_i = \frac{32 + 6 \tau_{pr} / T_{pr}}{13 + 8 \tau_{pr} / T_{pr}} \tau_{pr}$
	$T_d = \frac{4}{11 + 2 \tau_{pr} / T_{pr}} \tau_{pr}$

Šis metodas pasižymi tuo jog yra naudojamas sistemoms su vėlinimu ir uždaro kontūro reakcijos trumpu laiku. Tačiau yra naudojamas tik su pirmos eilės modeliais turinčiais ilga proceso vėlinimą.

1.3.5 Kappa - Tau metodas

Dar vienas plačiai naudojamas derinimo būdas yra Kappa - Tau ($k - \tau$) metodas. Sistemos dinamika gali būti apibūdinama dar tiksliau jeigu yra naudojami trys parametrai reguliatoriui derinti vietoje dviejų. Šio derinimo kriterijus yra automatinės valdymo sistemos (ARS) nejautrumas proceso neapibrėžtumui. Remiantis šiuo kriterijumi reguliatoriaus parametrai parenkami taip, kad uždarojo kontūro sistema nebūtų jautri proceso dinaminėms savybių pokyčiams, todėl šią sistemą galima naudoti pramoninių objektų valdymui, kurių dinaminės charakteristikos kinta dėl nekontroliuojamų veiksnių poveikio.

Kaip ir Z - N metodas šis turi du tipus: pirmas paremtas šuoline reakcija, kuomet procesas charakterizuojamas statiniu stiprinimu (angl. *static gain*) K_P , stiprinimu α ir atstojamuoju vėlavimu L . Reguliatoriaus parametrai pateikiami kaip normuotos vėlavimo trukmės funkcijos [2] [9]. Normuotas vėlavimas :

$$\tau = \frac{L}{L + T} \quad (8)$$

T - atstojamoji laiko pastovioji

Antrasis metodas paremtas dažnių sritimi, procesas apibūdinamas statiniu stiprinimu K_P , ribiniu periodu T_u . Regulatoriaus parametrai yra stiprinimo santykio k funkcija [2] [9], kur

$$k = \frac{1}{K_P K_u} \quad (9)$$

Abiem atvejais maksimalus jautrumas naudojamas kaip derinimo kriterijus.

Naudojant Kappa - Tau derinimo metodą yra užtikrinama geresnė reguliavimo kokybė nei Z - N metodu, dėl sistemos nejautrumo proceso dinaminių savybių pokyčiams.

1.4 Analiziniai metodai

Šie metodai dažniausia taikomi nesudėtingiems modeliams. Regulatoriaus parametrai gali būti gaunami apskaičiuojant. Sistema turi būti lengvai atvaizduojama paprastu modeliu.

1.4.1 Polių išdėstymo (angl. *pole placement*) metodas

Analitinis polių išdėstymo metodas yra daugiausia naudojamas kuomet sistema aprašoma žemos eilės perdavimo funkcijomis. Polių išdėstymo metodas naudojant antrosios eilės perdavimo funkcija aprašant proceso modeliu [2] [9]:

$$W_{pr}(s) = \frac{K_{pr}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad (10)$$

Šis modelis turi tris identifikuojamus parametrus. Naudojant valdymo sistemoje PID reguliatorių, kurio perdavimo funkcija turi tris derinimo parametrus [2]:

$$W_{PID}(s) = K_r \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (11)$$

Galima pageidaujama būdu išdėstyti tris uždarojo kontūro sistemos polius.

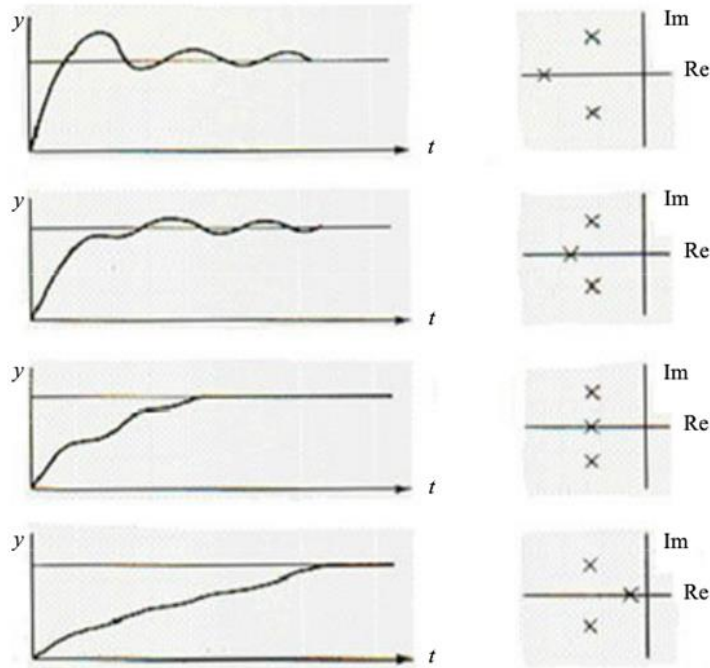
Uždaros sistemos, aprašomos perdavimo funkcija [8]:

$$W_{užd}(s) = \frac{W_{PID}(s)W_{pr}(s)}{1 + W_{PID}(s)W_{pr}(s)} \quad (12)$$

Charakteristinė lygtis:

$$1 + W_{PID}(s)W_{pr}(s) = s^3 + \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \frac{K_{pr}K_rT_d}{T_1T_2}\right)s^2 + \left(\frac{1}{T_1T_2} + \frac{K_{pr}K_r}{T_1T_2}\right)s + \frac{K_{pr}K_r}{T_1T_2} = 0 \quad (13)$$

Charakteristinės lygties šaknų (polių) išsidėstymas kompleksinėje plokštumoje atspindi dinamines uždarnosios sistemos savybes (1.6 pav.). Keičiant regulatoriaus parametrus, keičiasi ir charakteristinės lygties parametrai ir taip pat polių išsidėstymas kompleksinėje plokštumoje [2].



1.6 pav. Ryšio tarp charakteristinės lygties polių išdėstymo ir uždarnosios sistemos pereinamųjų procesų pavyzdys [2]

Šis metodas pasižymi daugiau laiko trunkančiu eksperimentu už kitus įprastinius metodus.

2 METODINĖ DALIS

2.1 Regulatoriaus parametrų analizė

2.1.1 PI regulatoriaus parametrų parinkimas pirmos eilės objektui be vėlinimo valdyti

Pirmos eilės objekto perdavimo funkcija:

$$G(s) = \frac{K_{ob}}{T_{ob}s + 1} \quad (14)$$

K_{ob} – objekto stiprinimas;

T_{ob} – objekto laiko pastovioji;

s – Laplaso operatorius.

PI regulatoriaus parametrų derinimas vyksta su Matlab SISO Tool programiniu paketu, taikant klasikinį Ziegler - Nichols šuolinės reakcijos metodą.

Reikalavimai valdymo sistemos dinaminėms charakteristikoms pateikiami lentelėje:

2.1 lentelė. Reikalavimai valdymo sistemos dinaminėms charakteristikoms

Parametrai	Apribojimai (vienetai)
Įsibėgėjimo trukmė (angl. <i>Rise time</i>)	5 (s)
Nusistovėjimo trukmė (angl. <i>Settling time</i>)	10 (s)
Perreguliavimas (angl. <i>Overshoot</i>)	≤ 5 (%)
Pakilimas (angl. <i>Rise</i>)	90 (%)
Objekto išėjimo nuokrypis žemiau užduotos reikšmės (angl. <i>Undershoot</i>)	≤ 1 (%)
Valdantysis signalas (regulatoriaus išėjimas)	< 25

Keičiant perdavimo funkcijos (14) parametrus K_{ob} ir T_{ob} gaunami regulatoriaus parametrai, kurie tenkina 2.1 lentelėje pateiktus reikalavimus. Pasirinktos K_{ob} ir T_{ob} parametrų kitimo ribos:

2.2 lentelė. Perdavimo funkcijos parametrų kitimo ribos.

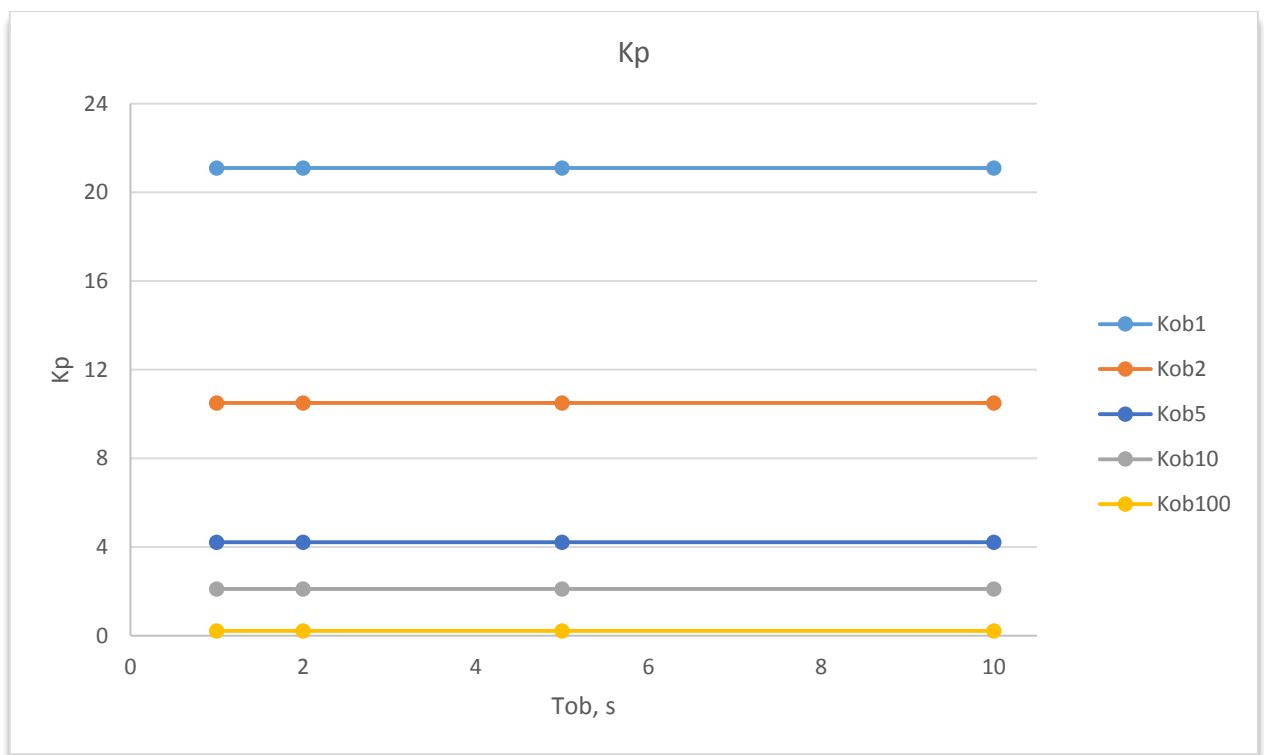
K_{ob}	1,...,100
T_{ob}	1,...,100 (s)

Naudojama PI reguliatoriaus p. f. struktūra:

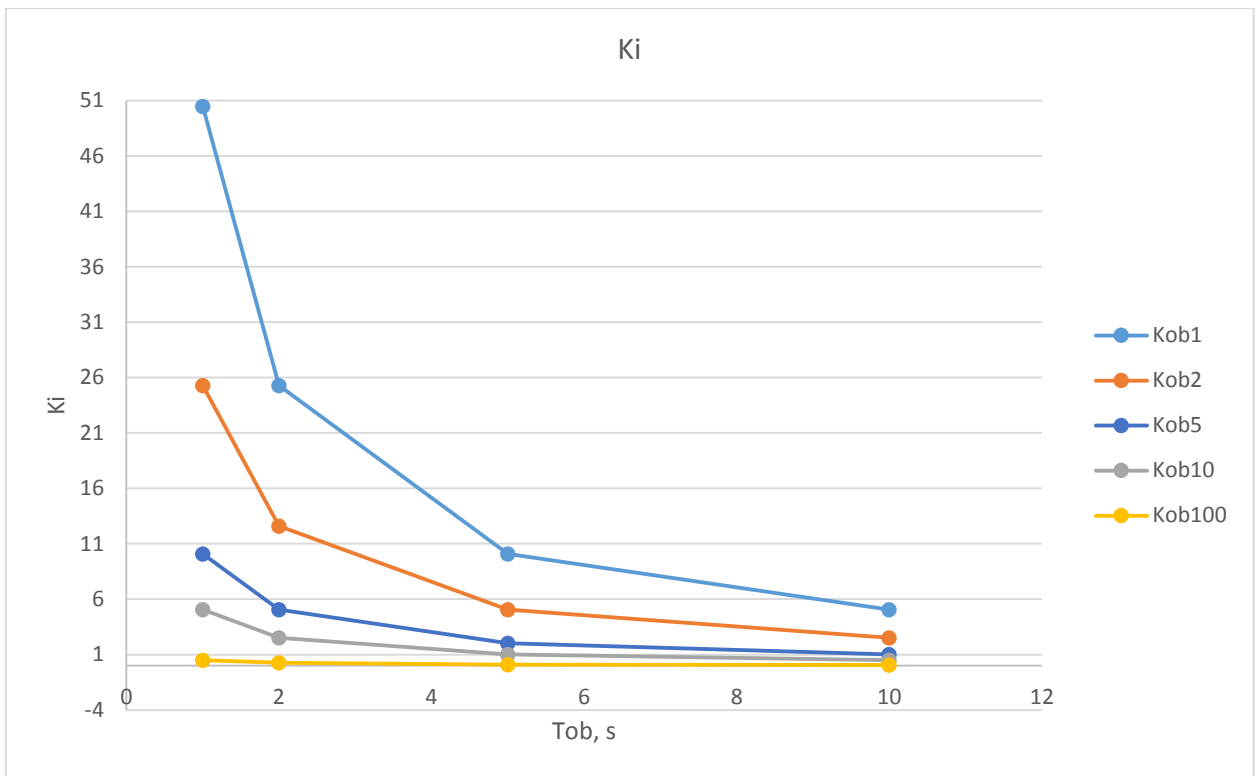
$$K_P + K_I * \frac{1}{s} \quad (15)$$

Reguliatoriaus koeficientų reikšmės, gautos keičiant objekto perdavimo funkcijos parametrus K_{ob} ir T_{ob} pateiktos priede.

Reguliatoriaus koeficientų reikšmių priklausomybės nuo objekto parametrų atvaizduojamos grafiškai 2.1 - 2.2 paveiksluose:



2.1 pav. Reguliatoriaus stiprinimo koeficiento K_p priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios prie skirtingų objekto stiprinimo K_{ob} reikšmių



2.2 pav. Regulatoriaus koeficiento K_i priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios prie skirtingų objekto stiprinimo K_{ob} reikšmių

2.1.2 PI regulatoriaus parametrų parinkimas pirmos eilės objektui su vėlinimu valdyti

Pirmos eilės objekto su vėlinimu perdavimo funkcijos struktūra:

$$G(s) = K_{ob} * \frac{e^{-\alpha s}}{T_{ob}s + 1} \quad (16)$$

Derinimas su Matlab SISO Tool programiniu paketu, taikant klasikinį Ziegler - Nichols šuolinės reakcijos metodą. Pirmos eilės objekto su vėlinimu valdymui taikomi „švelnesni“ reikalavimai (2.3 lentelė), dėl vėlinimo grandies keičiančios derinimo dinamiką.

2.3 lentelė. Reikalavimai valdymo sistemos dinaminėms charakteristikoms

Parametrai	Apribojimai (vienetai)
Įsibėgėjimo trukmė	10 (s)
Nusistovėjimo trukmė	20 (s)
Perreguliavimas	≤ 5 (%)
Pakilimas	80 (%)
Objekto išėjimo nuokypis žemiau užduotos reikšmės	≤ 1 (%)
Valdantysis signalas	< 65

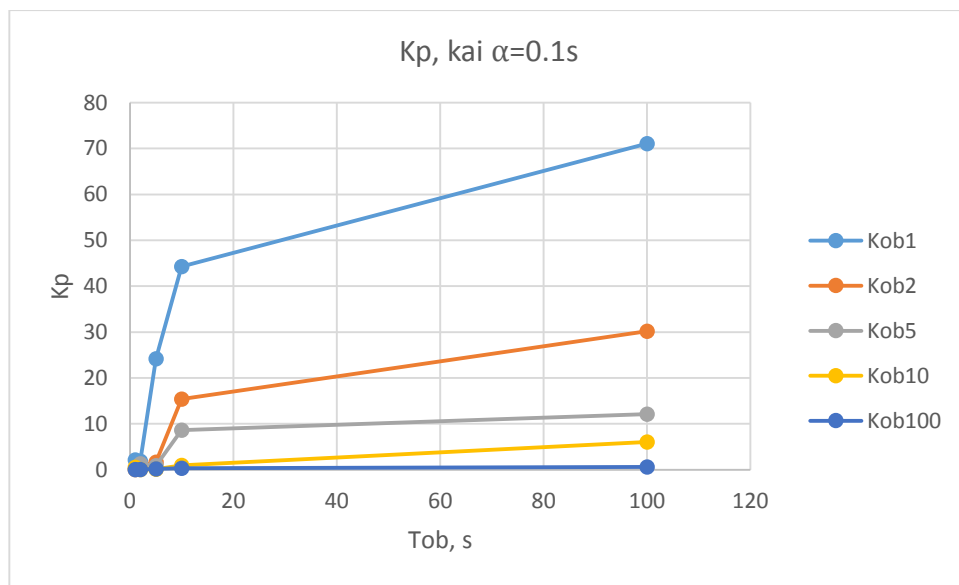
Keičiant perdavimo funkcijos (16) parametrus K_{ob} , T_{ob} ir α gaunami regulatoriaus parametrai, kurie tenkina 2.3 lentelės reikalavimus. Pasirinktos K_{ob} , T_{ob} ir α parametų kitimo ribos:

2.4 lentelė. Perdavimo funkcijos parametų kitimo ribos.

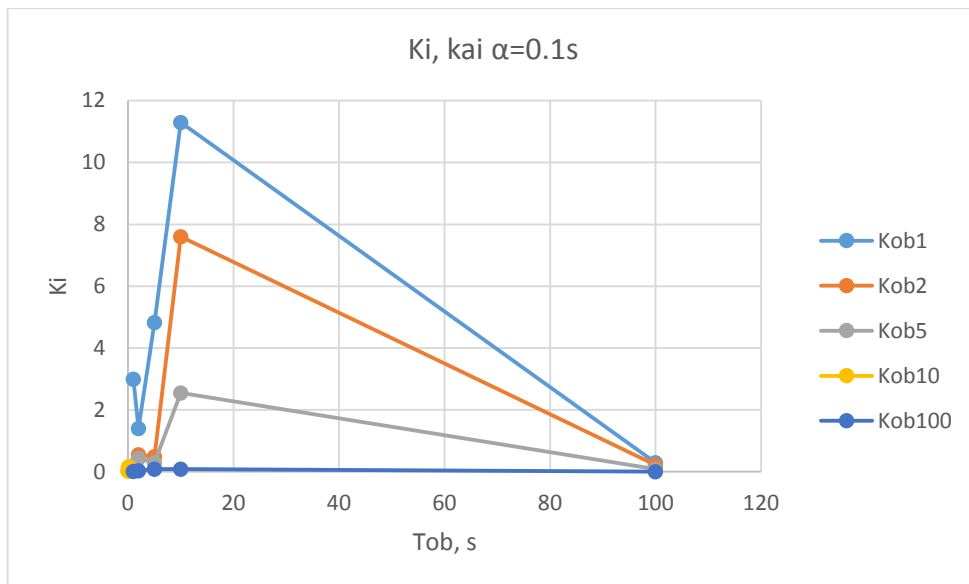
K_{ob}	1,...,100
T_{ob}	1,...,100 (s)
α	0.1,...,2 (s)

PI regulatorius aprašomas (15) lygybe. Regulatoriaus koeficientų reikšmės, gautos keičiant perdavimo funkcijos parametrus K_{ob} , T_{ob} ir α pateiktos priede.

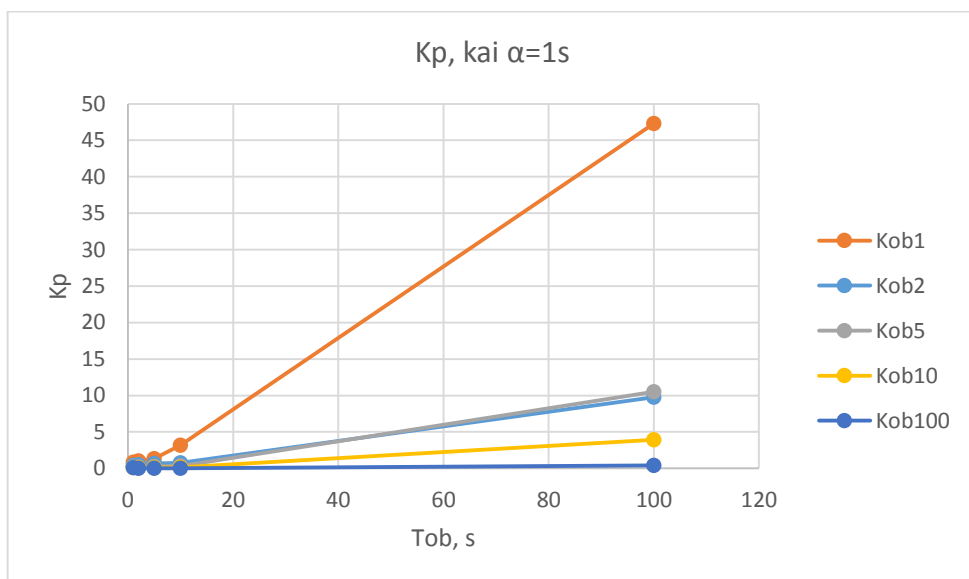
Regulatoriaus koeficientų reikšmių priklausomybės nuo objekto parametų atvaizduojamos grafiškai 2.3 - 2.8 paveiksluose:



2.3 pav. Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_p priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios prie skirtingų objekto stiprinimo K_{ob} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 0.1 sekundės



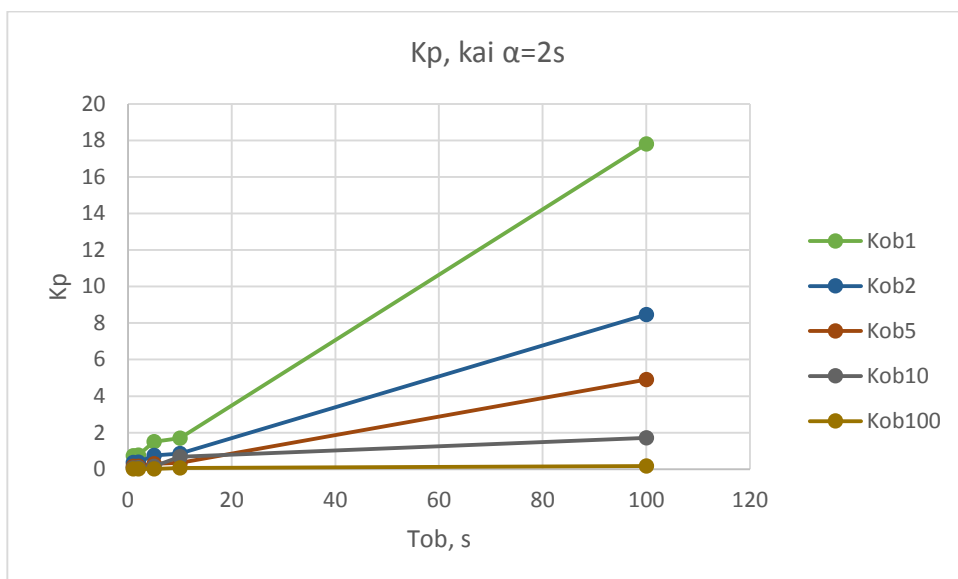
2.4 pav. Regulatoriaus koeficiento K_i priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios prie skirtingų objekto stiprinimo K_{ob} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas 0.1 sekundės



2.5 pav. Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_p priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios prie skirtingų objekto stiprinimo K_{ob} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 1 sekundė



2.6 pav. Regulatoriaus koeficiento K_i priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios prie skirtingų objekto stiprinimo K_{ob} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas 1 sekundė



2.7 pav. Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_p priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios prie skirtingų objekto stiprinimo K_{ob} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 2 sekundės



2.8 pav. Regulatoriaus koeficiento K_i priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios prie skirtingų objekto stiprinimo K_{ob} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas 2 sekundės

2.1.3 PID regulatoriaus parametrų parinkimas antros eilės objektui be vėlinimo valdyti

Tiriamas antros eilės objekto perdavimo funkcijos struktūra:

$$G(s) = \frac{K_{ob}}{(1 + T_{ob1}s)(1 + T_{ob2}s)} \quad (17)$$

Regulatoriaus parametrų derinimas atliekamas su Matlab SISO Tool programiniu paketu, taikant klasikinį Ziegler - Nichols šuolinės reakcijos kreivės metodą. Reikalavimai valdymo sistemos dinaminėms charakteristikoms pateikiami 2.1 lentelėje.

Keičiant perdavimo funkcijos (17) parametrus T_{ob1} ir T_{ob2} gaunami regulatoriaus parametrai, kurie tenkina 2.1 lentelėje pateiktus reikalavimus. Pasirinktos T_{ob1} ir T_{ob2} parametrų kitimo ribos:

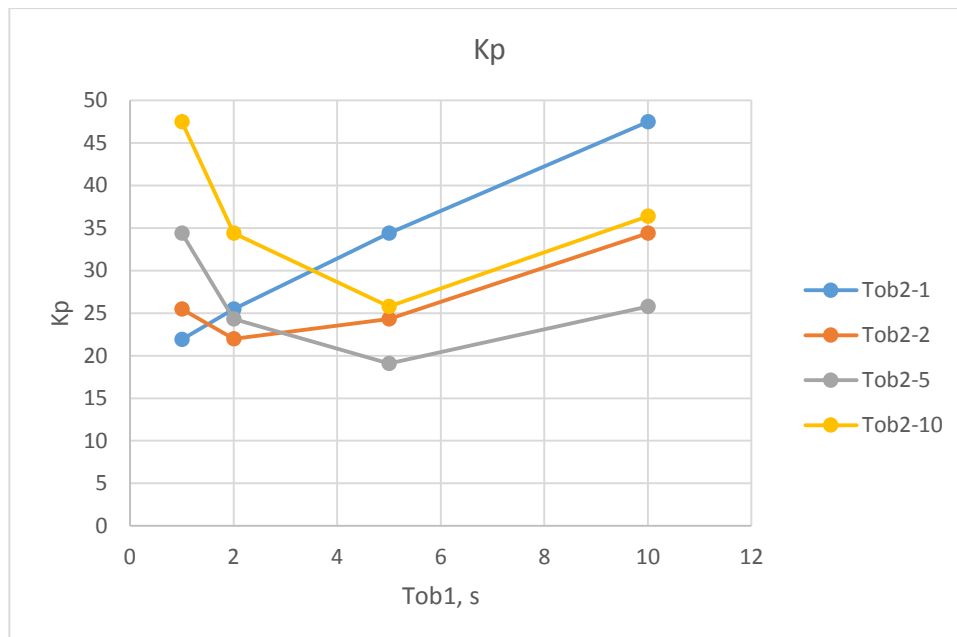
2.5 lentelė. Perdavimo funkcijos parametrų kitimo ribos.

T_{ob1}	1,...,10 (s)
T_{ob2}	1,...,10 (s)

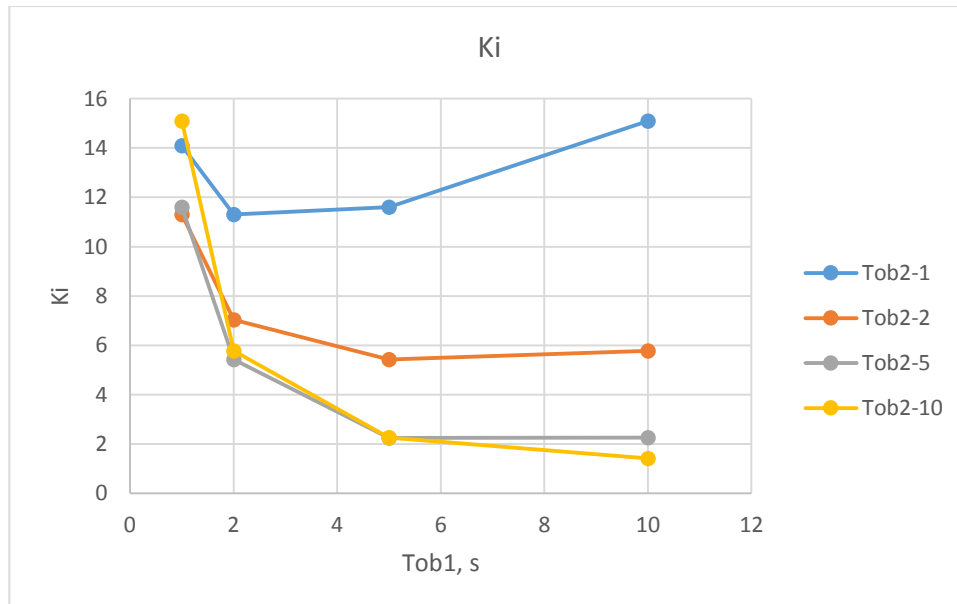
Naudojama PID regulatoriaus p. f. struktūra:

$$K_P + K_I * \frac{1}{s} + K_D * s \quad (18)$$

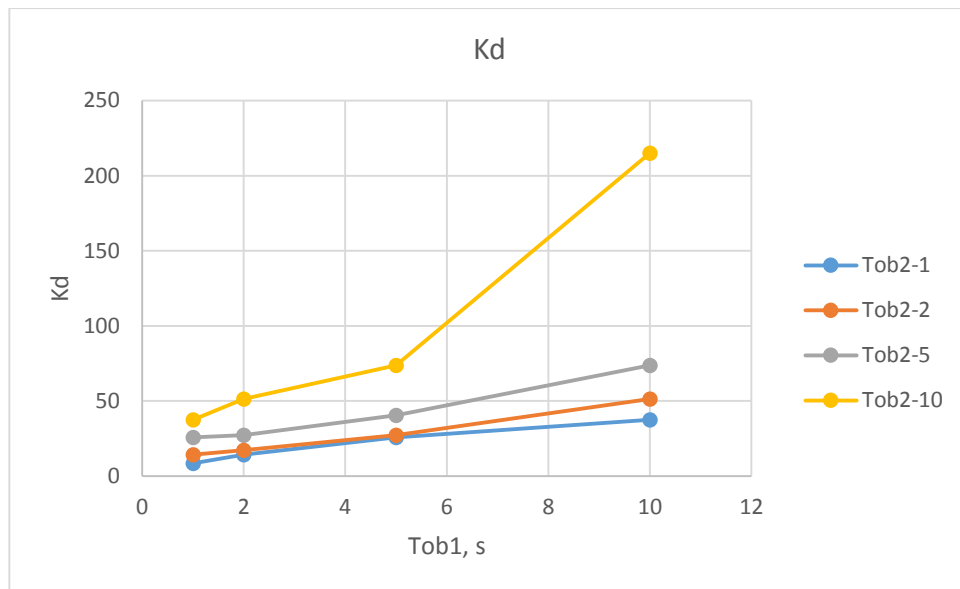
Regulatoriaus koeficientų reikšmės, gautos keičiant objekto perdavimo funkcijos parametrus T_{ob1} ir T_{ob2} pateiktos priede.



2.9 pav. Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_p priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių



2.10 pav. Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_i priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių



2.11 pav. Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_d priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių

2.1.4 PID regulatoriaus parametrų parinkimas antros eilės objektui su vėlinimu valdyti

Tiriama antros eilės su vėlinimu perdavimo funkcija:

$$G(s) = \frac{K_{ob}}{(1 + T_{ob1} * s)(1 + T_{ob2} * s)} e^{-\alpha s} \quad (19)$$

Derinimas vyksta su Matlab SISO Tool programiniu paketu, taikant klasikinį Ziegler - Nichols šuolinės reakcijos metodą.

Reikalavimai valdymo sistemos dinaminėms charakteristikoms pateikiami lentelėje:

2.6 lentelė. Reikalavimai valdymo sistemos dinaminėms charakteristikoms.

Parametrai	Apribojimai (vienetai)
Įsibėgėjimo trukmė	10 (s)
Nusistovėjimo trukmė	20 (s)
Perreguliavimas	≤ 5 (%)
Pakilimas	80 (%)
Objekto išėjimo nuokrypis žemiau užduotos reikšmės	≤ 1 (%)
Valdantysis signalas	≤ 15

Keičiant perdavimo funkcijos (19) parametrus T_{ob1} , T_{ob2} ir α gaunami reguliatoriaus parametrai, kurie tenkina reguliatoriaus derinimo reikalavimus. Pasirinktos T_{ob1} , T_{ob2} ir α parametų kitimo ribos:

2.7 lentelė. Perdavimo funkcijos parametų kitimo ribos.

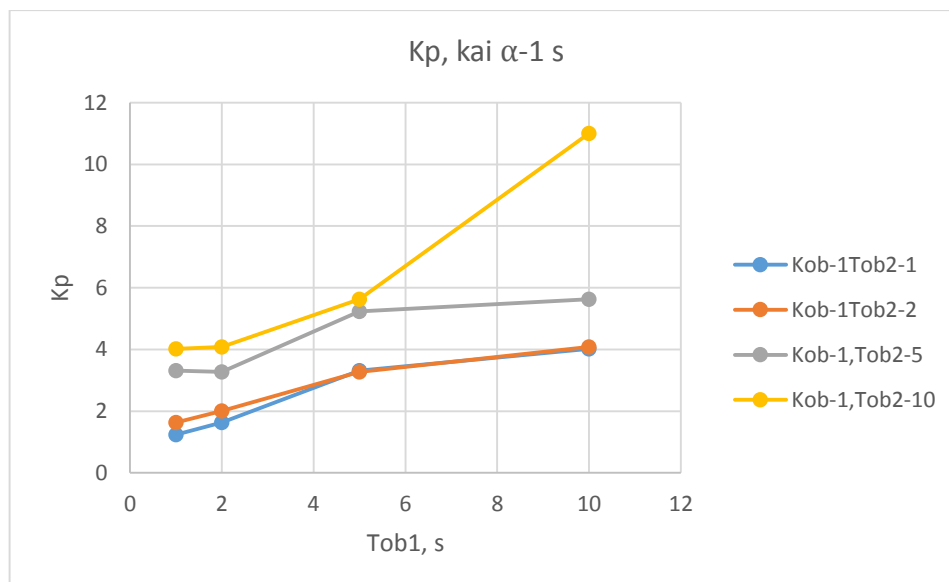
T_{ob1}	1,...,10 (s)
T_{ob2}	1,...,10 (s)
α	1,...,10 (s)

Naudojama PID reguliatoriaus p. f. struktūra:

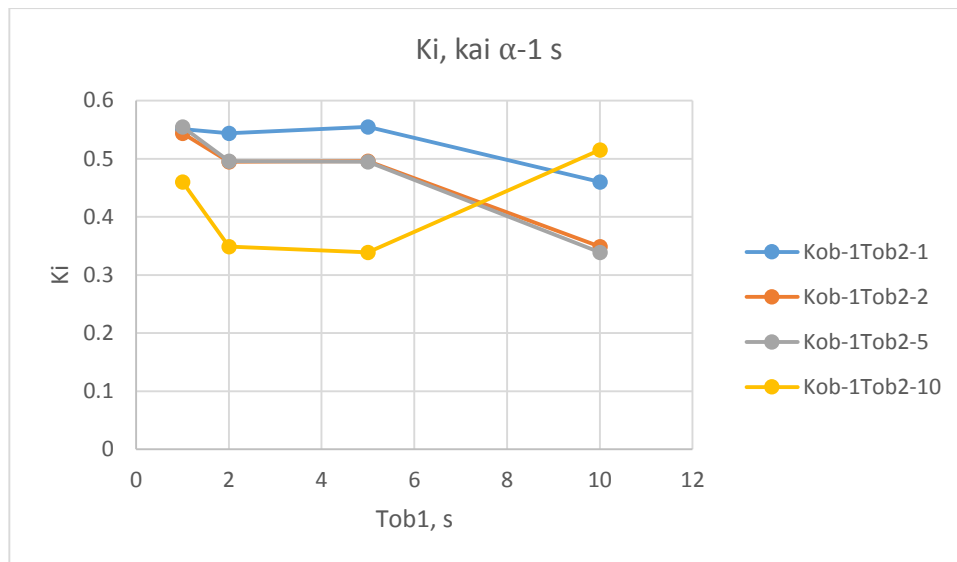
$$K_P + K_I * \frac{1}{s} + K_D * s \quad (20)$$

Regulatoriaus koeficientų reikšmės, gautos keičiant perdavimo funkcijos parametrus T_{ob1} , T_{ob2} ir α pateiktos priede.

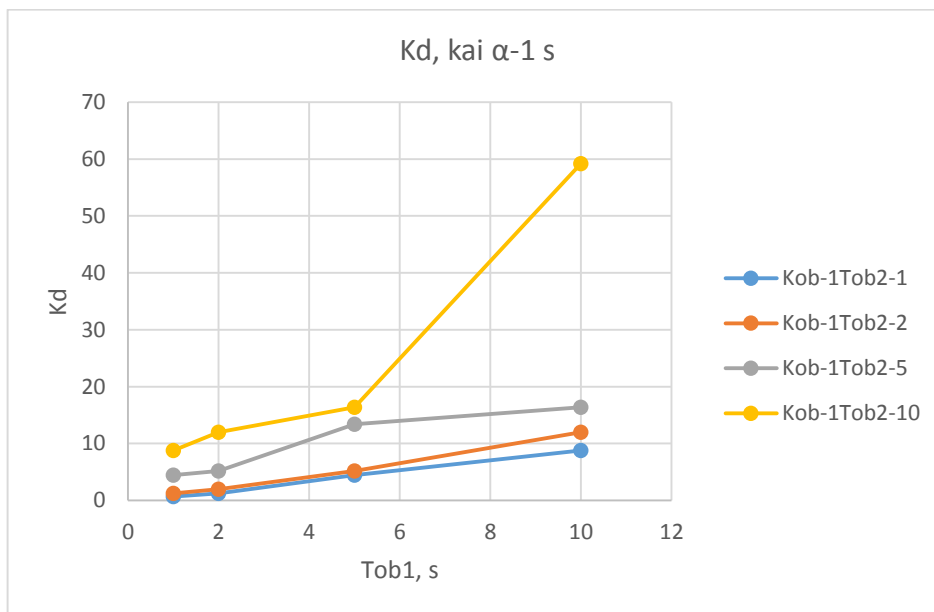
Regulatoriaus koeficientų reikšmių priklausomybės nuo objekto parametų atvaizduojamos grafiškai 2.12 - 2.20 paveiksluose:



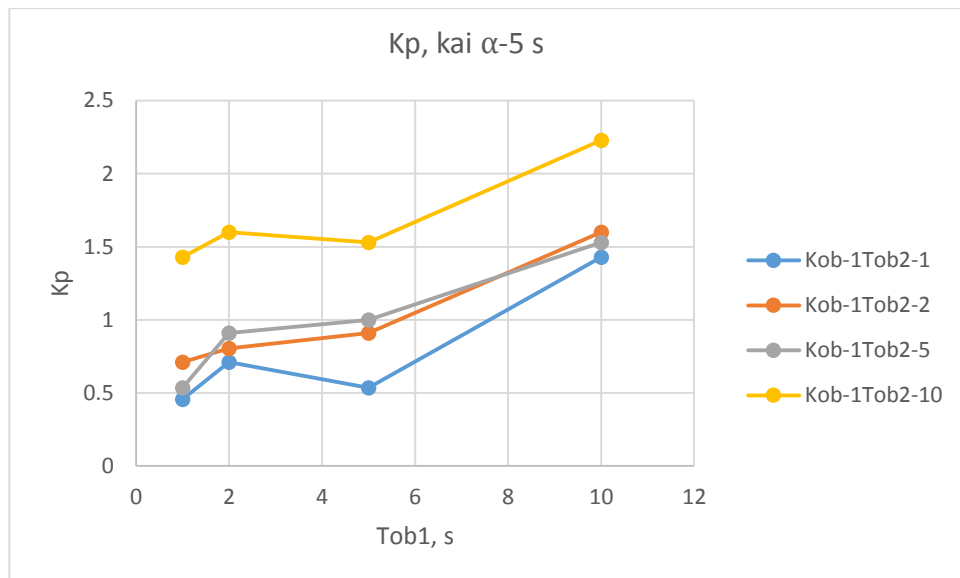
2.12 pav. Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_p priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 1 sekundė



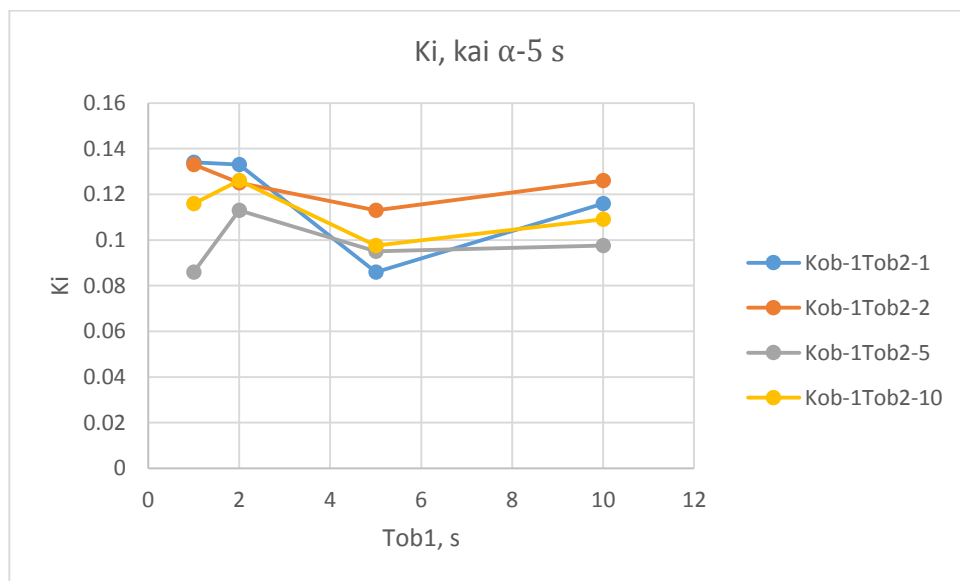
2.13 pav. Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_i priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 1 sekundė



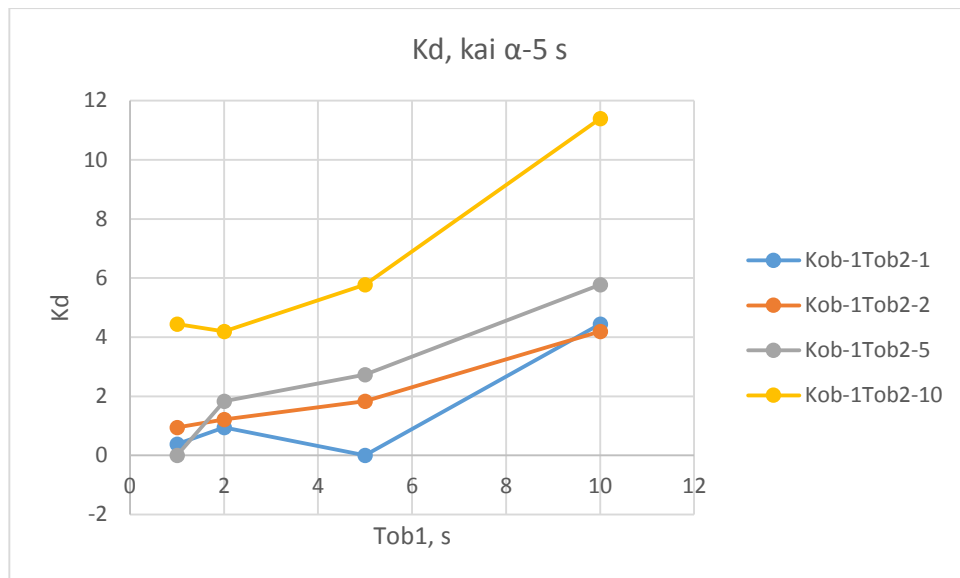
2.14 Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_d priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 1 sekundė



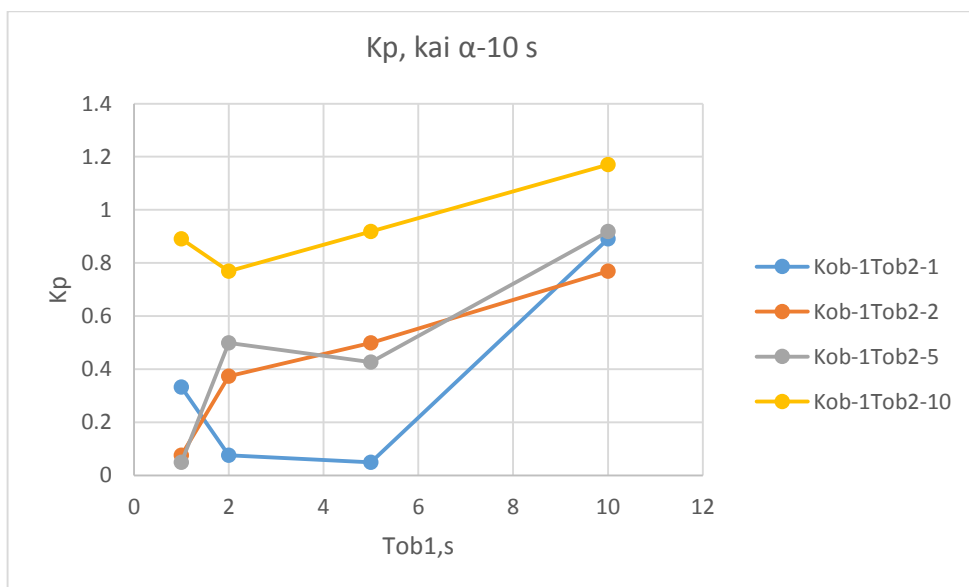
2.15 pav. Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_p priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 5 sekundės



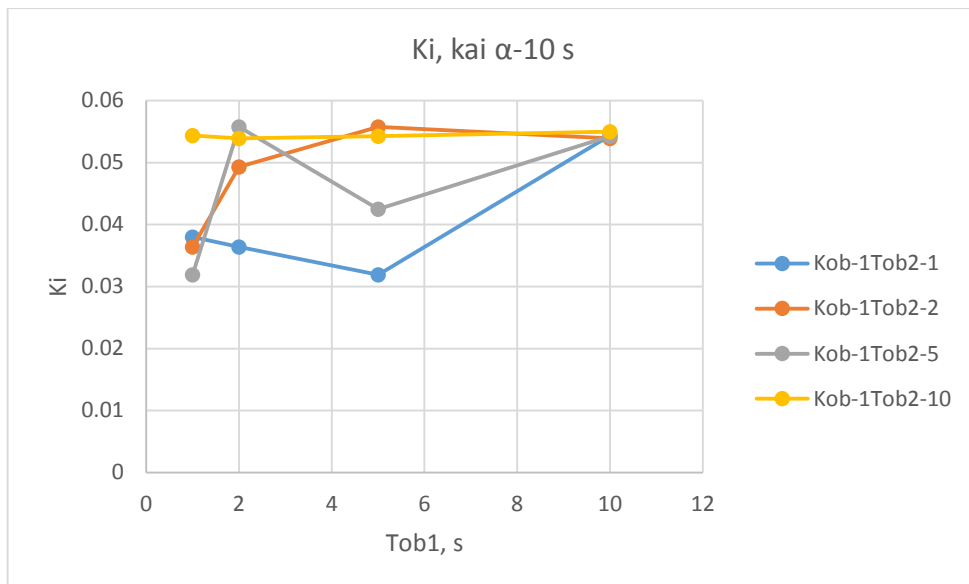
2.16 pav. Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_i priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 5 sekundės



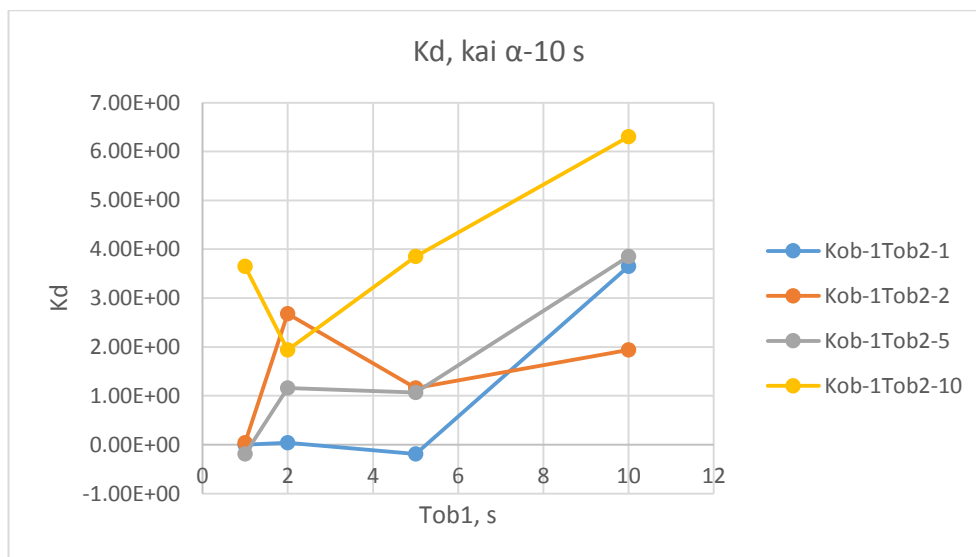
2.17 pav. Reguliatoriaus stiprinimo koeficiento K_d priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 5 sekundės



2.18 pav. Reguliatoriaus stiprinimo koeficiento K_p priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 10 sekundžių



2.19 pav. Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_p priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 10 sekundžių



2.20 Regulatoriaus stiprinimo koeficiento K_p priklausomybė nuo objekto laiko pastoviosios T_{ob1} prie skirtingų objekto laiko pastoviosios T_{ob2} reikšmių ir kuomet objekto vėlinimas yra 10 sekundžių

3 TYRIMO REZULTATŲ DALIS

3.1 Antros eilės objekto be vėlinimo valdymas

3.1.1 PID regulatoriaus parametrų parinkimas pagal antros eilės objekto modelį

Antros eilės objektui be vėlinimo, regulatoriaus parametrai apskaičiuojami pagal 2 skyriuje gautus regulatoriaus parametrus antros eilės objektui be vėlinimo valdyti.

Nagrinėti pasirinkta perdavimo funkcija aprašyta [12]:

$$G(s) = \frac{K}{(1 + T_1s)(1 + T_2s)} \quad (21)$$

Duoti funkcijos parametrai: $K = 1; T_1 = 7.5 (s); T_2 = 5 (s)$

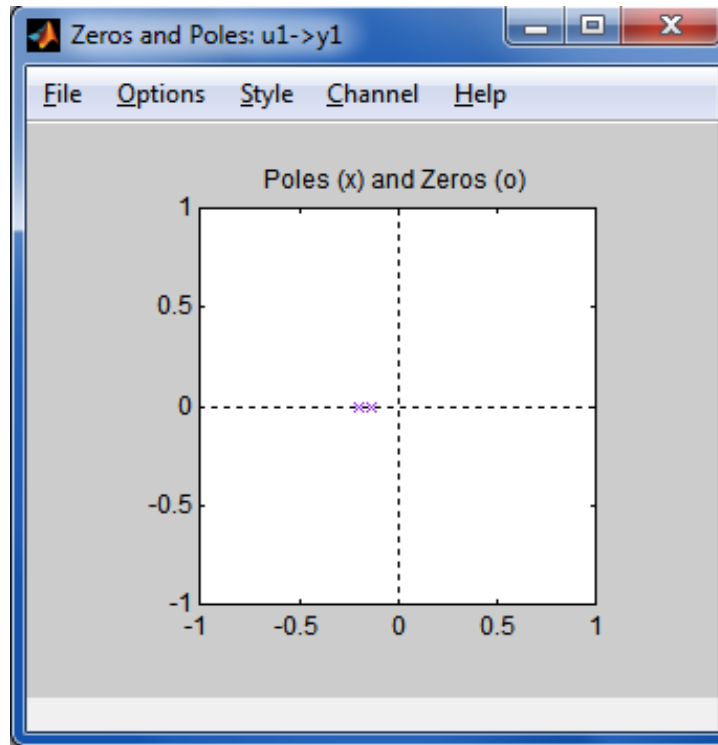
Antros eilės p. f. su duotais parametrais:

$$G(s) = \frac{1}{(1 + 7.5s)(1 + 5s)} \quad (22)$$

Tolimesnis p. f. pertvarkymas

$$G(s) = \frac{1}{37.5s^2 + 12.5s + 1} \quad (23)$$

Naudojantis „System identification tool“ randamas p. f. nulių - polių (angl. Zeros - Poles) grafikas (3.1 pav.). Iš grafiko matyti, jog charakteristinės lygties šaknys realios – objektas stabilus.

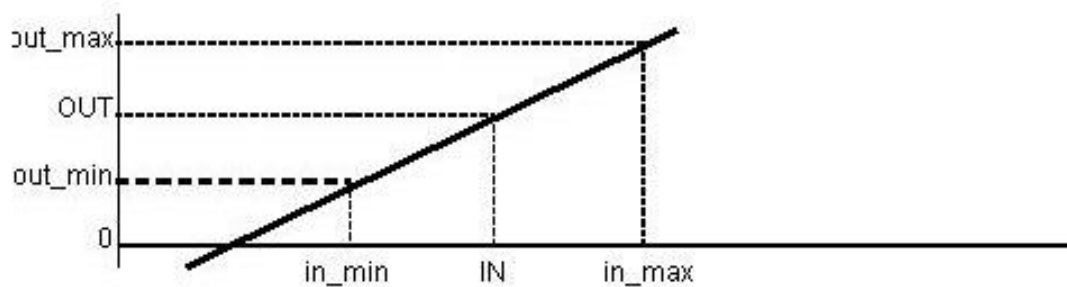


3.1 pav. Nulių - polių grafikas

Naudojantis atliktos analizės duomenimis randami reguliatoriaus parametrai.

Norint apskaičiuoti reguliatoriaus parametrus : K_p , K_i , K_D taikoma „Scale function“ formulė [13]:

$$OUT = (IN - in_min)(out_max - out_min)/(in_max - in_min) + out_min \quad (24)$$



3.2 pav. Ieškomos reikšmės radimas (OUT) naudojantis „Scale function“ formule [13]

Funkcija pertvarkoma ir pritaikoma skaičiuoti reikiamus parametrus:

$$y = (x - x_{min})(y_{max} - y_{min})/(x_{max} - x_{min}) + y_{min} \quad (25)$$

Apskaičiuojamas K_p parametras (toliau darbe atliekami skaičiavimai vykdomi naudojantis priede esančiais duomenimis):

$$K_P = (7.5 - 5)(25.8 - 19.1)/(10 - 5) + 19.1 = 22.45 \quad (26)$$

Apskaičiuojamas K_I parametras:

$$K_I = (7.5 - 5)(2.26 - 2.25)/(10 - 5) + 2.25 = 2.255 \quad (27)$$

Apskaičiuojamas K_D parametras:

$$K_D = (7.5 - 5)(73.8 - 40.4)/(10 - 5) + 40.4 = 57.1 \quad (28)$$

Analogiškai randami ir tolimesniuose skyriuose pateikiami reguliatorių parametrai.

Gaunami PID reguliatoriaus parametrai:

$$K_P=22.45;$$

$$K_I=2.255;$$

$$K_D=57.1;$$

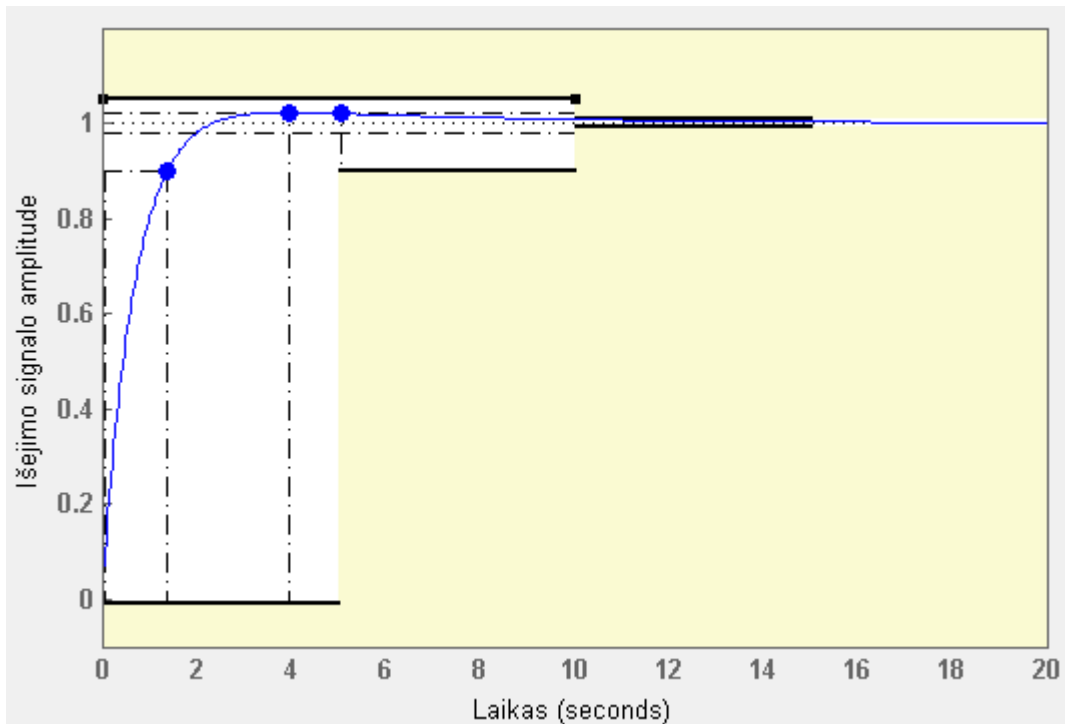
Reguliatoriaus p. f. struktūra:

$$K_P + K_I * \frac{1}{s} + K_D * s \quad (29)$$

Gaunama reguliatoriaus perdavimo funkcija:

$$G_C(s) = 22.45 + 2.255 * \frac{1}{s} + 57.1 \quad (30)$$

Sumodeliavus valdymo sistemą su apskaičiuotais reguliatoriaus parametrais (30) gaunami derinimo rezultatai:



3.3 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą

Gaunami valdymo sistemos reakcijos dinaminiai parametrai:

Įsibėgėjimo trukmė: 1.31 s

Perreguliavimas: 2.22 % (ties 3.96 s)

Nusistovėjimo laikas: 5.07 s

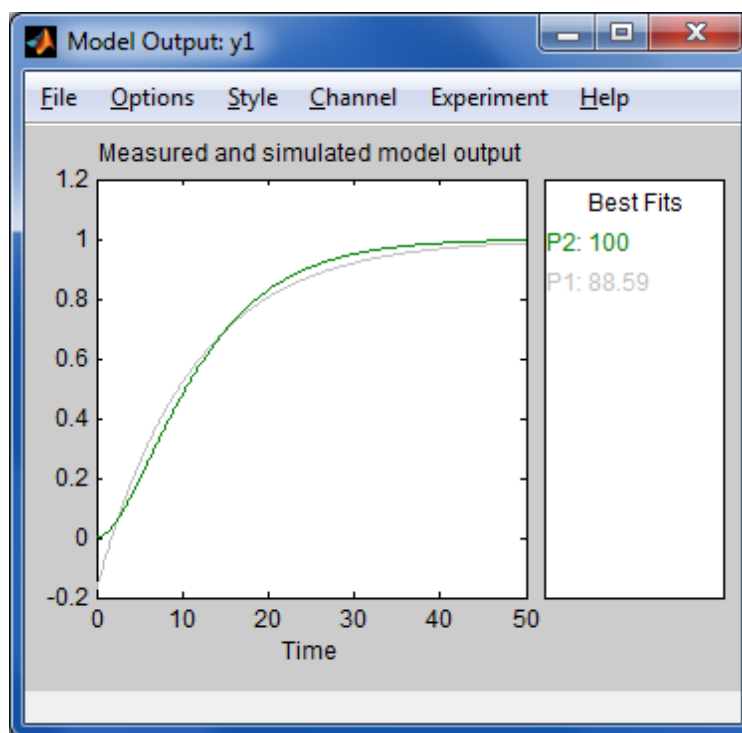
Valdymo sistema atitinka antros eilės valdymo sistemai išsikeltus derinimo reikalavimus (2.1 lentelė).

3.1.2 PI regulatoriaus parametrų parinkimas pagal pirmos eilės objekto modelį

Antros eilės perdavimo funkcija (23) yra aproksimuojama pirmos eilės perdavimo funkcija. Visame darbe aproksimavimas vykdomas naudojant „Matlab“ programinės įrangos įrankį - „System identification tool“. Gaunama pirmos eilės perdavimo funkcija:

$$G(s) = \frac{1}{(11.183s + 1)} \quad (31)$$

Sumodeliuotas antros eilės p. f ir gautosios (aproksimacijos būdu) pirmos eilės p. f. modelis (objektų išėjimai):



3.4 pav. Antros eilės ir aproksimacijos būdu gautos p. f. modeliai

Aproksimacijos būdu gauta p. f atitinka originaliąją funkciją 88.59 %.

Proporcingai apskaičiuojami reguliatoriaus parametrai.

Apskaičiuojamas K_p parametras:

$$K_p = (11.183 - 10)(68.5 - 21.1)/(100 - 10) + 21.1 = 21.72 \quad (32)$$

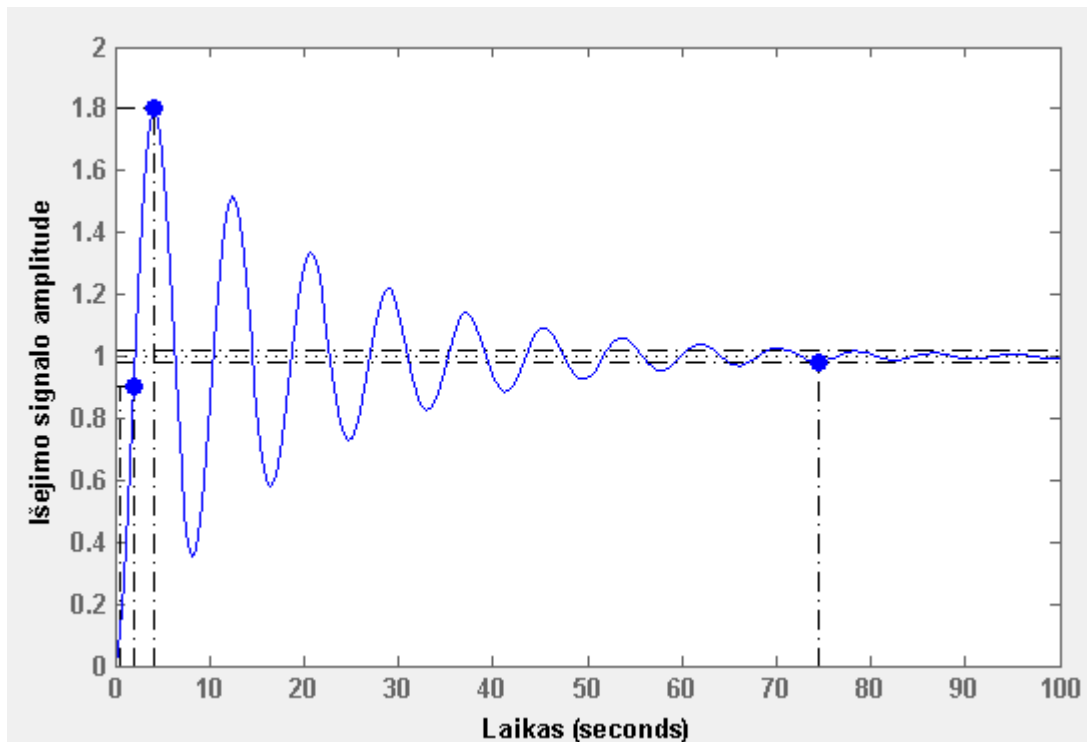
Apskaičiuojamas K_I parametras:

$$K_I = (11.183 - 10)(0.3 - 5.05)/(100 - 10) + 5.05 = 4.99 \quad (33)$$

Apskaičiavus P ir I dedamąsias gaunamas reguliatoriaus išraiška:

$$G_C(s) = 21.72 + 4.99 * \frac{1}{s} \quad (34)$$

Antros eilės objekto reguliatoriui pritaikyti surasti pirmos eilės aproksimuotos perdavimo funkcijos reguliatoriaus koeficientai ir gauti derinimo rezultatai:



3.5 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą

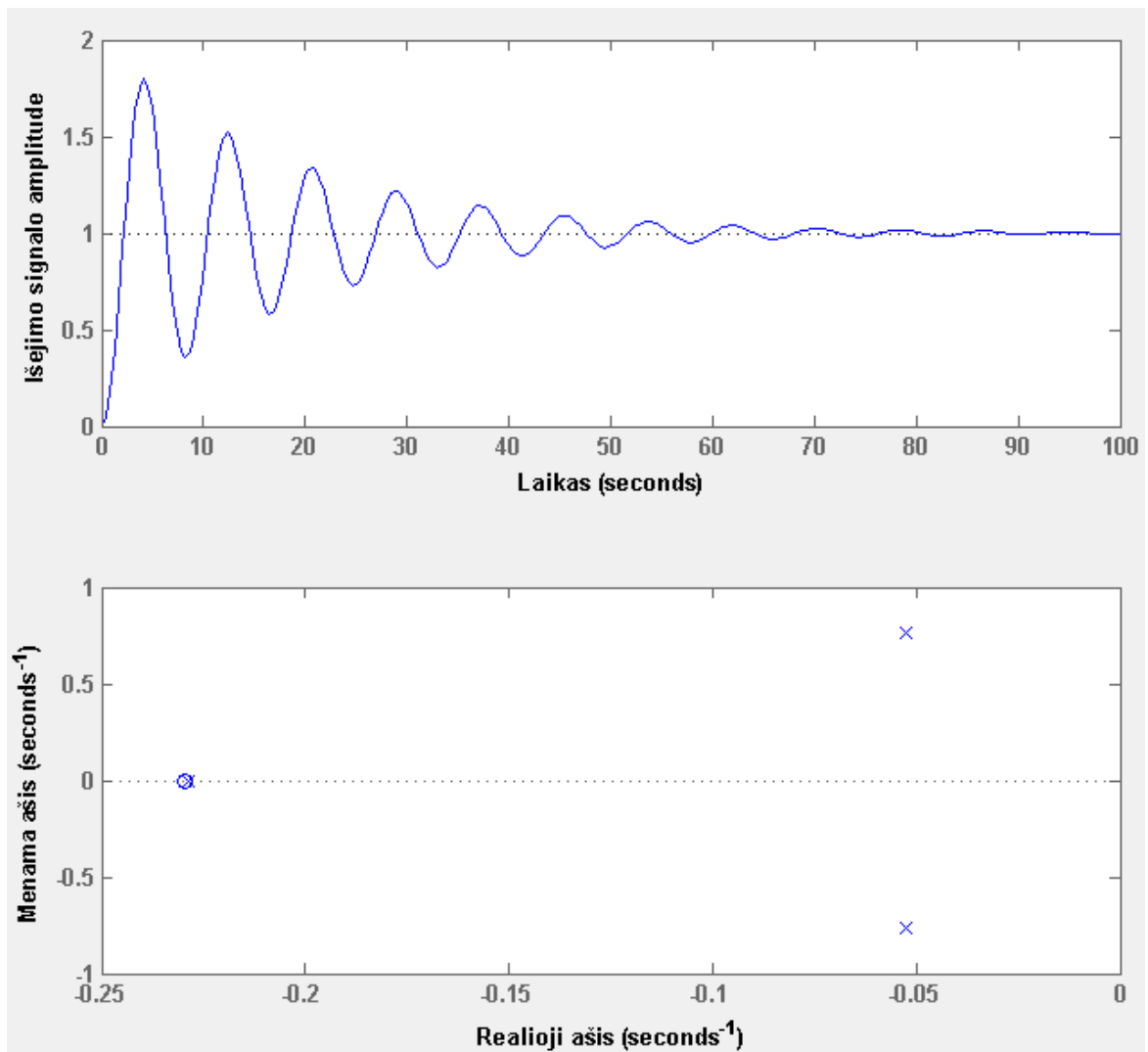
Gaunami tokie valdymo sistemos dinamikos parametrai:

Įsibėgėjimo trukmė: 1.44 s

Perreguliavimas: 80 % (ties 4.12 s)

Nusistovėjimo laikas: 74.6 s

Valdymo sistema neatitinka išsikeltų derinimo reikalavimų. Reakcija į vienetinį šuolinį signalą gaunama slopstančiai svyruojanti ir su dideliu perreguliavimu.



3.6 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą ir polių - nulių žemėlapis

3.2 Antros eilės objekto su vėlinimu valdymas

3.2.1 PID reguliatoriaus parametrai parinkimas pagal antros eilės su vėlinimu objekto modelį

Pasirinkto nagrinėti antros eilės su vėlinimu objekto perdavimo funkcija:

$$G(s) = \frac{K}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)} e^{-T_3 s} \quad (35)$$

Duoti funkcijos parametrai: $K = 1$; $T_1 = 4$ (s); $T_2 = 2$ (s); $T_3 = 1$ (s);

Antros eilės p. f. su duotais parametrais:

$$G(s) = \frac{1}{(1 + 4s)(1 + 2s)} e^{-1s} \quad (36)$$

Tolimesnis p. f. pertvarkymas

$$G(s) = \frac{1}{8s^2 + 6s + 1} e^{-1s} \quad (37)$$

Naudojantis priede pateiktais rezultatais yra apskaičiuojami reguliatoriaus parametrai.

Apskaičiuojamas K_p parametras:

$$K_p = (4 - 2)(3.27 - 2.01)/(5 - 2) + 2.01 = 2.85 \quad (38)$$

Apskaičiuojamas K_I parametras:

$$K_I = (4 - 2)(0.496 - 0.495)/(5 - 2) + 0.495 = 0.496 \quad (39)$$

Apskaičiuojamas K_D parametras:

$$K_D = (4 - 2)(5.2 - 1.95)/(5 - 2) + 1.95 = 4.12 \quad (40)$$

Gaunami PID reguliatoriaus parametrai:

$$K_p = 2.85;$$

$$K_I = 0.496;$$

$$K_D = 4.12;$$

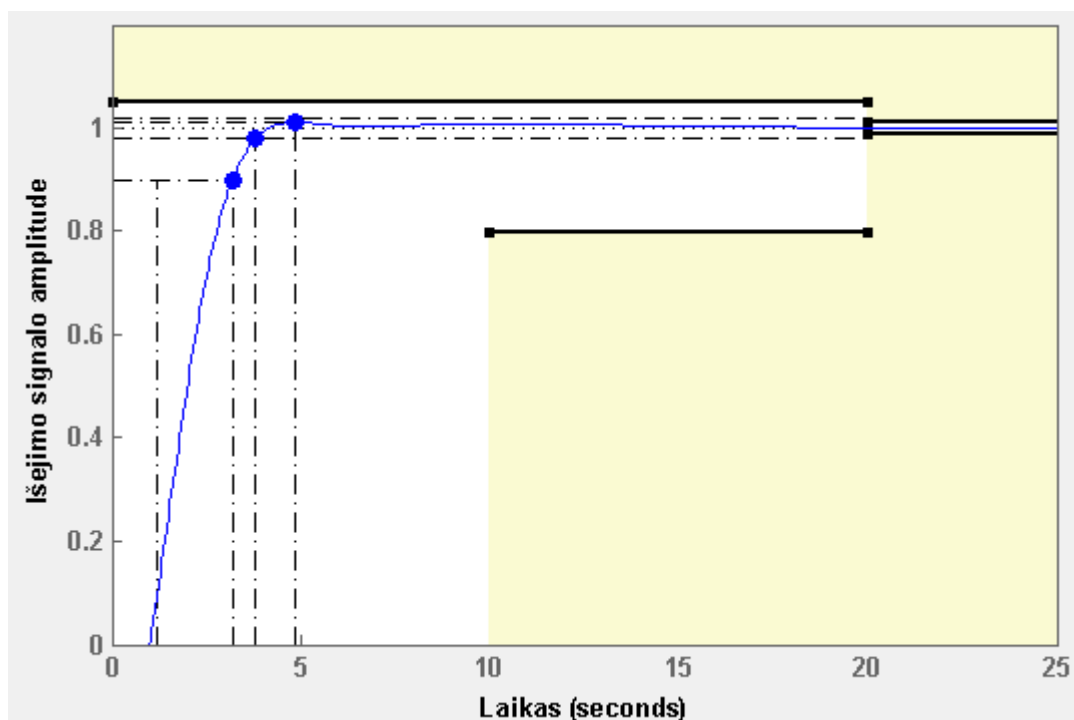
Reguliatoriaus p. f. struktūra:

$$K_p + K_I * \frac{1}{s} + K_D * s \quad (41)$$

Gaunama reguliatoriaus perdavimo funkcija:

$$G_C(s) = 2.85 + 0.496 * \frac{1}{s} + 4.12 \quad (42)$$

Žemiau pateikiami valdymo sistemos su apskaičiuotais regulatoriaus parametrais modeliavimo rezultatai:



3.7 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą

Gaunami valdymo sistemos reakcijos dinamikos parametrai:

Įsibėgėjimo trukmė: 1.98 s

Nusistovėjimo laikas: 3.8 s

Perreguliavimas: 1.15 % (ties 4.87 s)

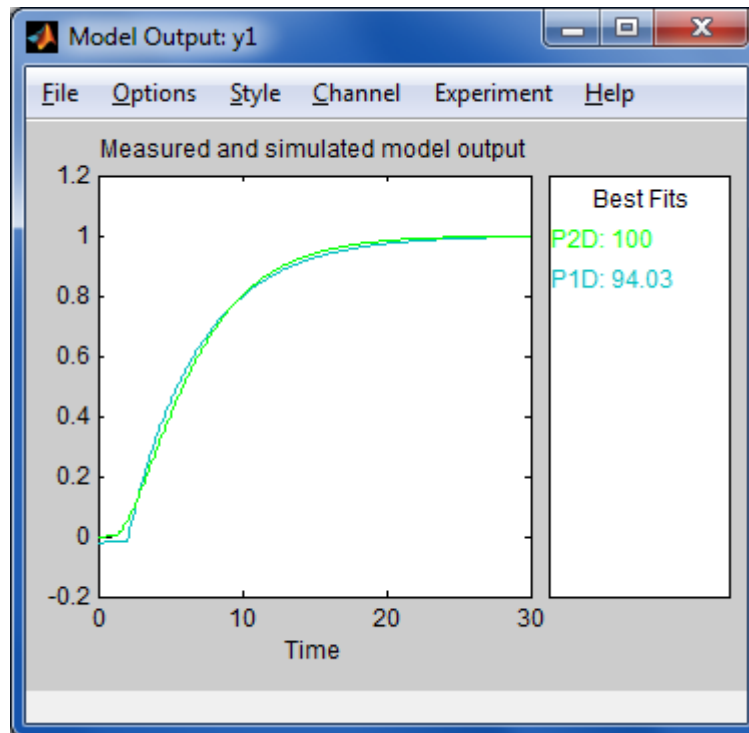
Valdymo sistema atitinka išsikeltus derinimo reikalavimus.

3.2.2 PI regulatoriaus parametrų parinkimas pagal pirmos eilės su vėlinimu objekto modelį

Antros eilės su vėlinimu perdavimo funkcija (37) yra aproksimuojama pirmos eilės perdavimo funkcija su vėlinimu:

$$G_{(s)} = \frac{1}{4.97s + 1} e^{-2s} \quad (43)$$

Sumodeliuotas antros eilės p. f su vėlinimu ir gautosios (aproksimacijos būdu) pirmos eilės p. f. su vėlinimu modelis (objektų išėjimai):



3.8 pav. Antros eilės ir aproksimacijos būdu gautos p. f. modelių išėjimo signalas

Aproksimacijos būdu gauta p. f atitinka originaliąją funkciją 94.03 %.

Naudojantis derinimo rezultatais pateiktais priede yra proporcingai apskaičiuojami reguliatoriaus parametrai.

Apskaičiuojamas K_p parametras:

$$K_p = (4.97 - 2)(1.5 - 0.765)/(5 - 2) + 0.765 = 1.49 \quad (44)$$

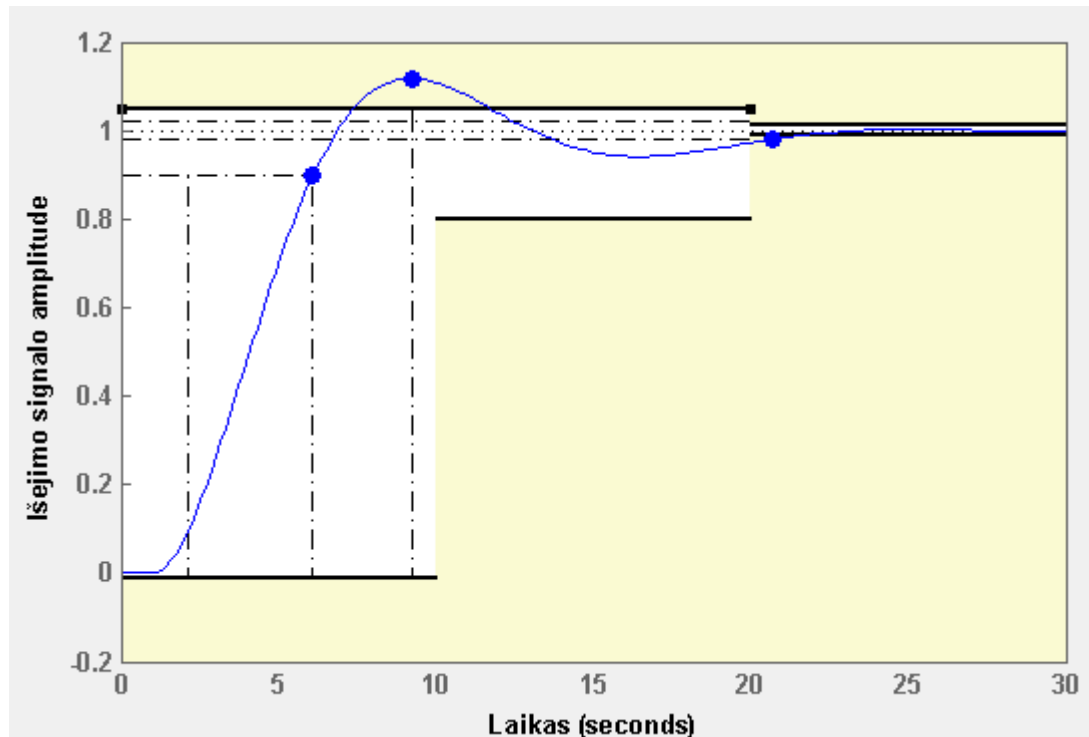
Apskaičiuojamas K_I parametras:

$$K_I = (4.97 - 2)(0.249 - 0.236)/(5 - 2) + 0.236 = 0.2489 \quad (45)$$

Apskaičiavus P ir I dedamąsias gaunamas reguliatoriaus išraiška:

$$G_C(s) = 1.49 + 0.2489 * \frac{1}{s} \quad (46)$$

Antros eilės objekto su vėlinimo grandimi objekto valdymui surasti reguliatoriaus parametrai pagal pirmos eilės su vėlinimu aproksimuotą perdavimo funkciją. Sistemos modeliavimo rezultatai pateikiami žemiau:



3.9 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį žuolinį signalą

Gaunami valdymo sistemos reakcijos dinaminiai parametrai:

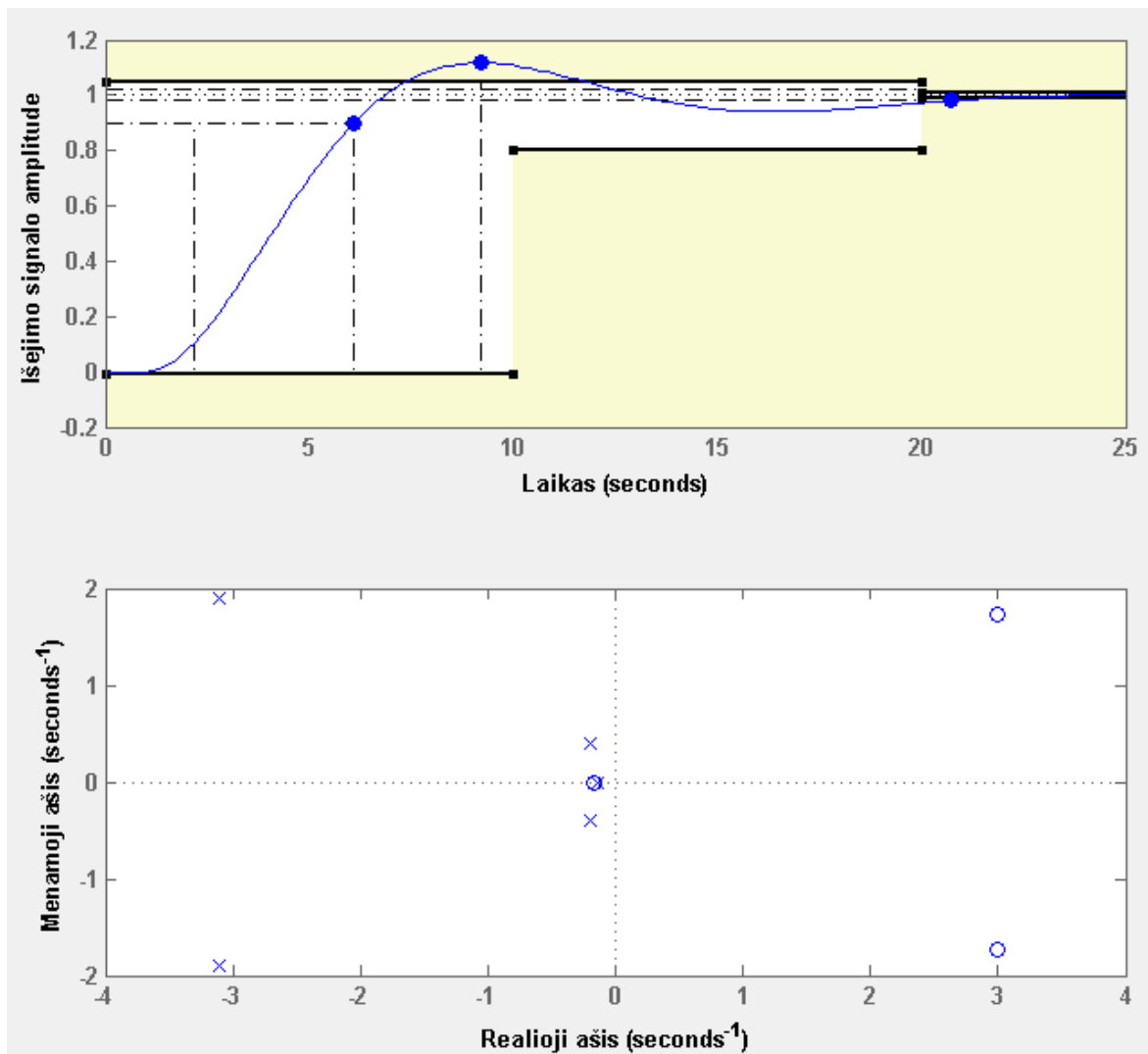
Įsibėgėjimo trukmė: 3.95 s

Perreguliavimas: 11.8 % (ties 9.22 s)

Nusistovėjimo laikas: 20.7 s

Valdymo sistema neatitinka antros eilės objekto nustatytų derinimo reikalavimų (2.1 lentelė).

Perreguliavimas didesnis nei 5% ir nusistovėjimo laikas viršija 20 sekundžių.



3.10 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą ir polių - nulių žemėlapis

3.3 Trečios eilės objekto be vėlinimo valdymas

3.3.1 PID reguliatoriaus parametru parinkimas pagal antros eilės objekto modelį

Trečios eilės objektui be vėlinimo, reguliatoriaus parametrai apskaičiuojami pagal reguliatoriaus parametrus gautus antros eilės objektui. Atliekamas reguliatoriaus parametru parinkimo tyrimas pagal sumažintą proceso modelį.

Nagrinėti pasirinkta perdavimo funkcija (47 formulė), kuri yra aprašyta Rolf Isermann knygoje [12].

$$G_{p2(s)} = \frac{K}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)(1 + T_3 s)} \quad (47)$$

Perdavimo funkcijos parametrai: $K = 1$; $T_1 = 8.5$ (s); $T_2 = 6$ (s); $T_3 = 3.5$ (s);

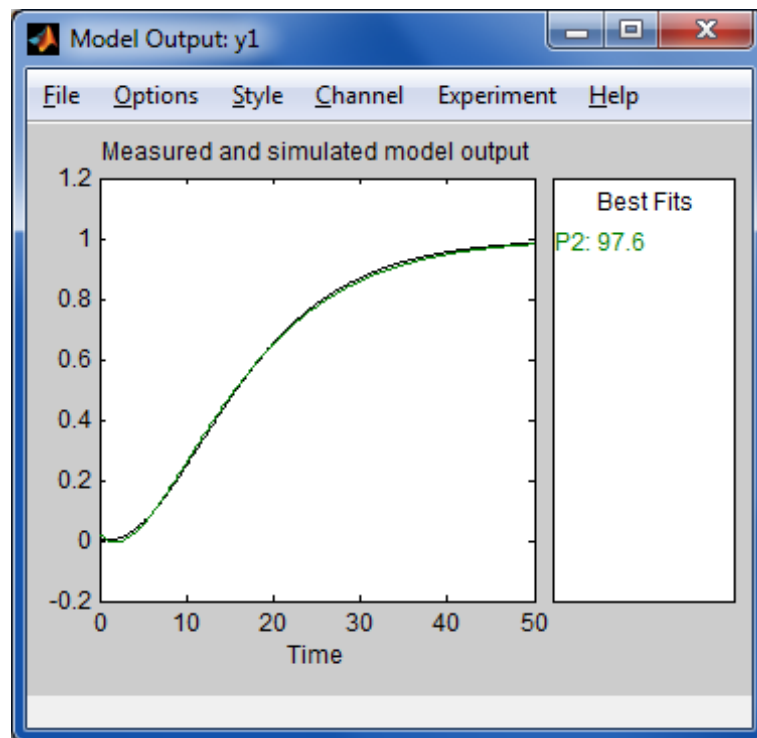
Trečios eilės p. f. su duotais parametrais:

$$G_{p2(s)} = \frac{1}{(1 + 8.5s)(1 + 6s)(1 + 3.5s)} \quad (48)$$

Tolimesnis p. f. pertvarkymas:

$$G_{p2(s)} = \frac{1}{178.5s^3 + 101.75s^2 + 18s + 1} \quad (49)$$

3.11 pav. pateikiami aproksimavimo rezultatai. Aproksimuota antros eilės perdavimo funkcija 97.6 % atitinka trečios eilės p. f.



3.11 pav. Trečios eilės ir aproksimacijos būdu gautos p. f. modeliai

Trečios eilės p. f. be vėlinimo grandies aproksimuota antros eilės p. f. :

$$G_p(s) = \frac{K}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)} \quad (50)$$

Kur $K = 1$; $T_1 = 8.298$ (s); $T_2 = 8.249$ (s);

Pertvarkius p. f. gaunama išraiška:

$$G_{p(s)} = \frac{1}{68.5s^2 + 16.5s + 1} \quad (51)$$

Apskaičiuojamas K_P parametras.

Ieškoma K_P reikšmė esant $T_{ob2}=5$ (s):

$$y = (x - x_{\min})(y_{\max} - y_{\min})/(x_{\max} - x_{\min}) + y_{\min} \quad (52)$$

$$K_{P(tob2_5)} = (8.3 - 5)(25.8 - 19.1)/(10 - 5) + 19.1 = 23.5; \quad (53)$$

Ieškoma K_P reikšmė esant $T_{ob2}=10$ (s)

$$K_{P(tob2_{10})} = (8.3 - 5)(36.4 - 25.8)/(10 - 5) + 25.8 = 32.8 \quad (54)$$

Skaičiuojama K_P reikšmė kuomet $T_{ob1}=8.298$ (s), $T_{ob2}=8.249$ (s):

$$\left(\frac{K_{P(tob2_{10})} - K_{P(tob2_5)}}{5}\right) * (K_{P(tob2_{10})} - K_{P(tob2_5)}) + K_{P(tob2_5)} \quad (55)$$

$$\left(\frac{32.8 - 23.5}{5}\right) * (8.249 - 5) + 23.5 = 29.54 \quad (56)$$

Apskaičiuojamas K_I parametras.

Ieškoma K_I reikšmė esant $T_{ob2}=5$ (s):

$$K_{I(tob2_5)} = (8.3 - 5)(2.26 - 2.25)/(10 - 5) + 2.25 = 2.256 \quad (57)$$

Ieškoma K_I reikšmė esant $T_{ob2}=10$ (s):

$$K_{I(tob2_{10})} = (8.3 - 5)(2.26 - 1.41)/(10 - 5) + 1.41 = 1.971 \quad (58)$$

Skaičiuojama K_I reikšmė kuomet $T_{ob2}=8.298$ (s), $T_{ob2}=8.249$ (s):

$$\left| \left(\frac{K_I(tob2_{10}) - K_I(tob2_5)}{5} \right) \right| * (K_I(tob2_{10}) - K_I(tob2_5)) + K_I(tob2_5) \quad (59)$$

$$\left| \left(\frac{1.971 - 2.2566}{5} \right) \right| * (8.249 - 5) + 2.2566 = 2.44 \quad (60)$$

Ieškomas K_D parametas

Ieškoma K_D reikšmė esant $T_{ob2}=5$ (s):

$$K_{D(tob2_5)} = (8.3 - 5)(73.8 - 40.4)/(10 - 5) + 40.4 = 62.44 \quad (61)$$

Ieškoma K_D reikšmė esant $T_{ob2}=10$ (s):

$$K_{D(tob2_{10})} = (8.3 - 5)(91.4 - 73.8)/(10 - 5) + 73.8 = 85.4 \quad (62)$$

Skaičiuojama K_D reikšmė kuomet $T_{ob2}=8.298$ (s), $T_{ob2}=8.249$ (s):

$$\left| \left(\frac{K_{D(tob2_{10})} - K_{D(tob2_5)}}{5} \right) \right| * (K_{D(tob2_{10})} - K_{D(tob2_5)}) + K_{D(tob2_5)} \quad (63)$$

$$\left| \left(\frac{85.4 - 62.44}{5} \right) \right| * (8.249 - 5) + 62.44 = 77.36 \quad (64)$$

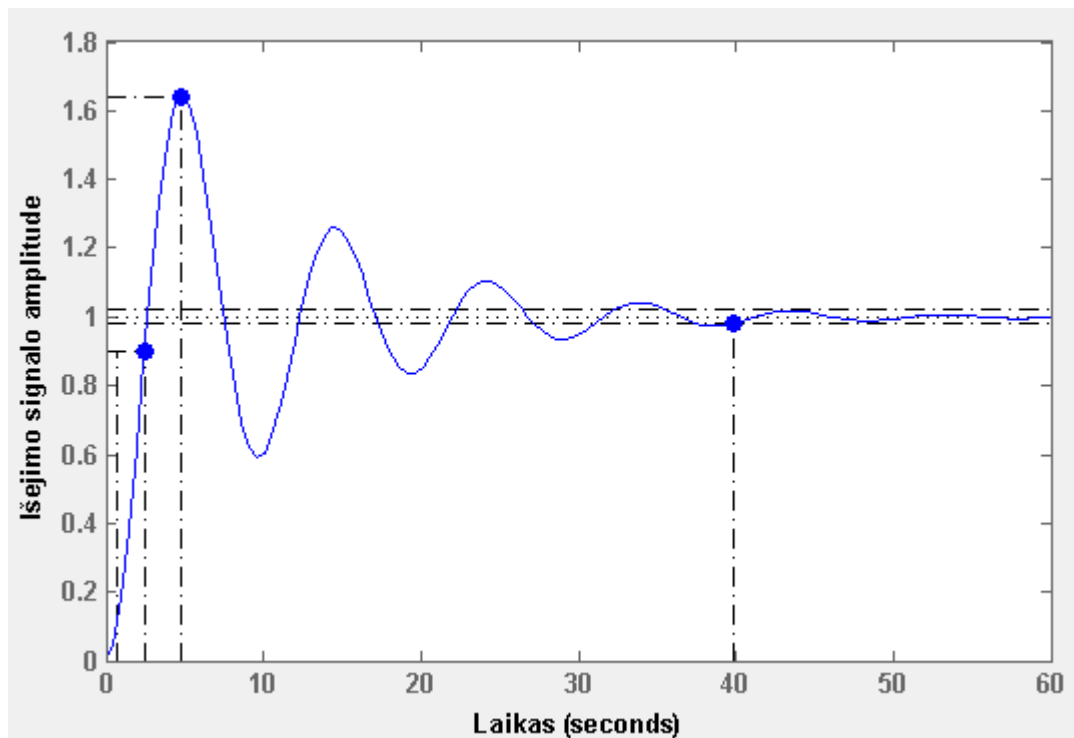
Gaunami PID reguliatoriaus parametrai:

$K_P=29.54$;

$K_I=2.44$;

$K_D=77.36$;

Sumodeliavus sistemą Sisotool įrankiu su apskaičiuotais parametrais, gaunami modeliavimo rezultatai:



3.12 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą

Gaunami valdymo sistemos reakcijos dinaminiai parametrai:

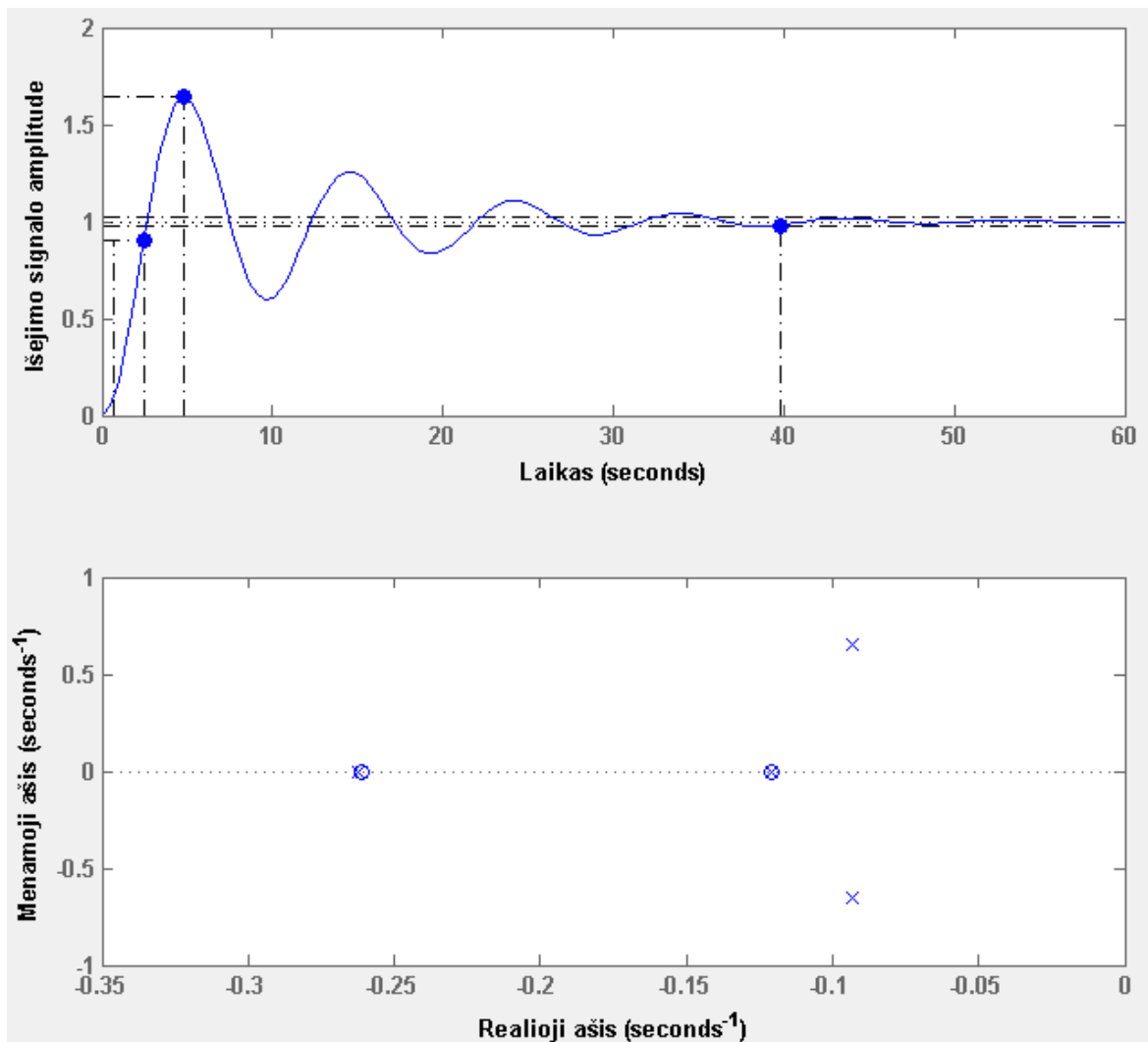
Įsibėgėjimo trukmė: 1.77 s

Perreguliavimas: 64.2 % (ties 4.79 s)

Nusistovėjimo laikas: 39.8 s

Valdymo sistema neatitinka antros eilės objekto nustatytų derinimo reikalavimų (2.1 lentelė).

Perreguliavimas didesnis nei 5 % ir nusistovėjimo laikas viršija 20 sekundžių.



3.13 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą ir polių - nulių žemėlapis

3.4 Trečios eilės objekto su vėlinimo grandimi valdymas

3.4.1 PID reguliatoriaus parametrų parinkimas pagal antros eilės su vėlinimo grandimi objekto modelį

Trečios eilės objektui su vėlinimo grandimi, reguliatoriaus parametrai apskaičiuojami pagal antros eilės objektui paskaičiuotus reguliatoriaus parametrus gautus analizės metu. Atliekamas reguliatoriaus parametrų parinkimo tyrimas pagal sumažintą proceso modelį.

Nagrinėti pasirinkta perdavimo funkcija (65), kuri yra aprašyta Rolf Isermann knygoje [12].

$$W_{p2(s)} = \frac{K}{(1 + T_1s)(1 + T_2s)(1 + T_3s)} e^{-T_4s} \quad (65)$$

Duoti p. f. parametrai:

$K = 1; T_1 = 10 (s); T_2 = 7 (s); T_3 = 3 (s); T_4 = 3 (s)$

P. f. su duotaisiais parametrais:

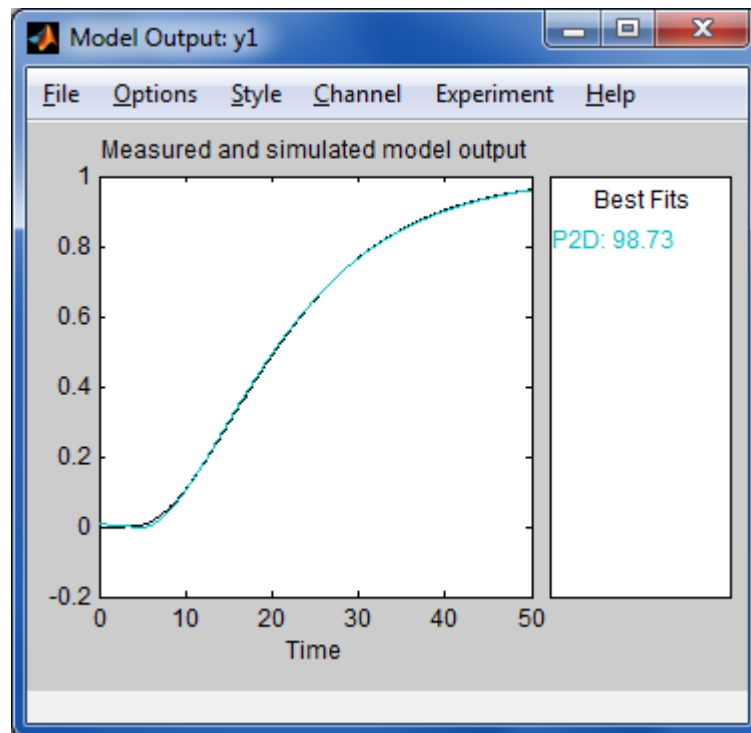
$$W_{p2(s)} = \frac{1}{(1 + 10s)(1 + 7s)(1 + 3s)} e^{-3*s} \quad (66)$$

Pertvarkyta p. f.:

$$W_{p2(s)} = \frac{1}{210s^3 + 121s^2 + 20s + 1} e^{-3s} \quad (67)$$

Trečios eilės perdavimo funkcija aproksimuojama antros eilės perdavimo funkcija su vėlinimo parametru $\alpha = 5 (s)$.

3.14 paveiksle pateikiami aproksimavimo rezultatai. Aproksimuota antros eilės perdavimo funkcija su vėlinimo grandimi 98.73 % atitinka trečios eilės p. f.



3.14 pav. Trečios eilės ir aproksimacijos būdu gautos p. f. modeliai

Gaunami antros eilės p. f. :

$$W_p(s) = \frac{K}{(1 + T_1s)(1 + T_2s)} e^{-\alpha s} \quad (68)$$

$$K = 1; T_1 = 8.87 \text{ (s)}; T_2 = 9.05 \text{ (s)}; \alpha = 5 \text{ (s)}$$

$$W_p(s) = \frac{1}{(1 + 8.87s)(1 + 9.05s)} e^{-5s} \quad (69)$$

$$W_{p2}(s) = \frac{1}{80.27s^2 + 17.92s + 1} e^{-5s} \quad (70)$$

Apskaičiuojamas K_p parametras:

$$T_1 = 8.97 \approx 10 \text{ s}; T_2 = 8.8 \approx 10 \text{ s};$$

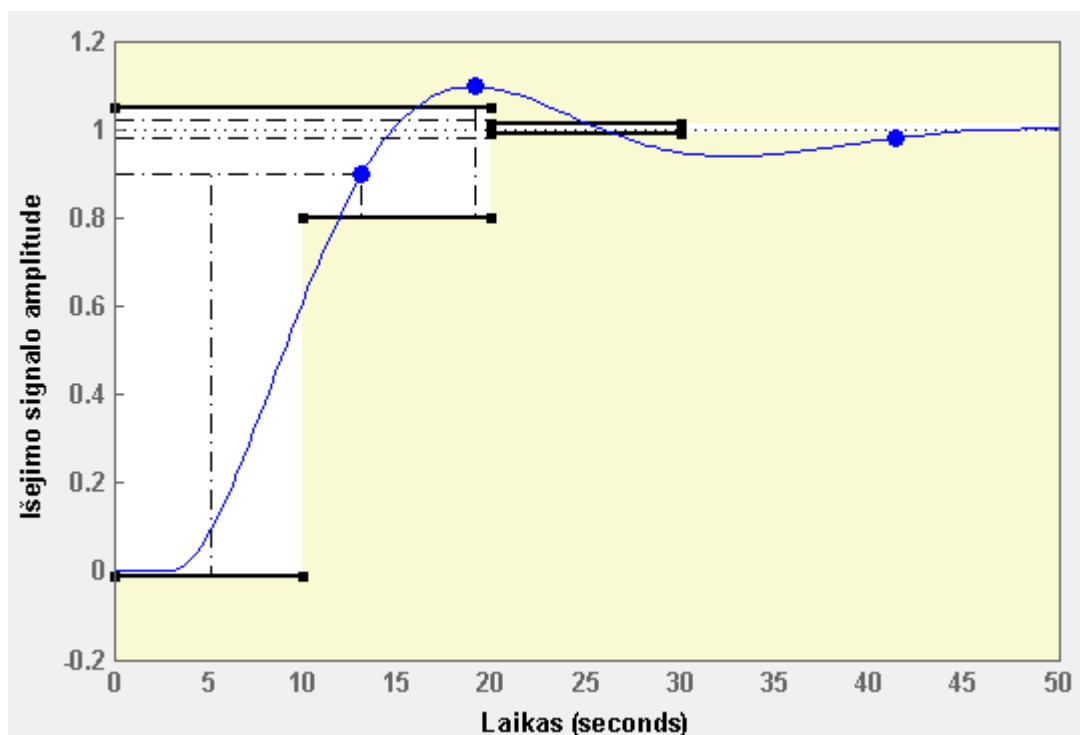
Pasirenkami duomenys kai $T_{ob1}=10 \text{ s}$, $T_{ob2}=10 \text{ s}$, $K=1$, $\alpha=5 \text{ s}$

$$K_p=2.23;$$

$$K_i=0.109;$$

$$K_d=11.4$$

Sumodeliavus sistemą Sisotool įrankiu su apskaičiuotais parametrais, gaunami modeliavimo rezultatai:



3.15 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą

Gaunami valdymo sistemos reakcijos dinaminiai parametrai:

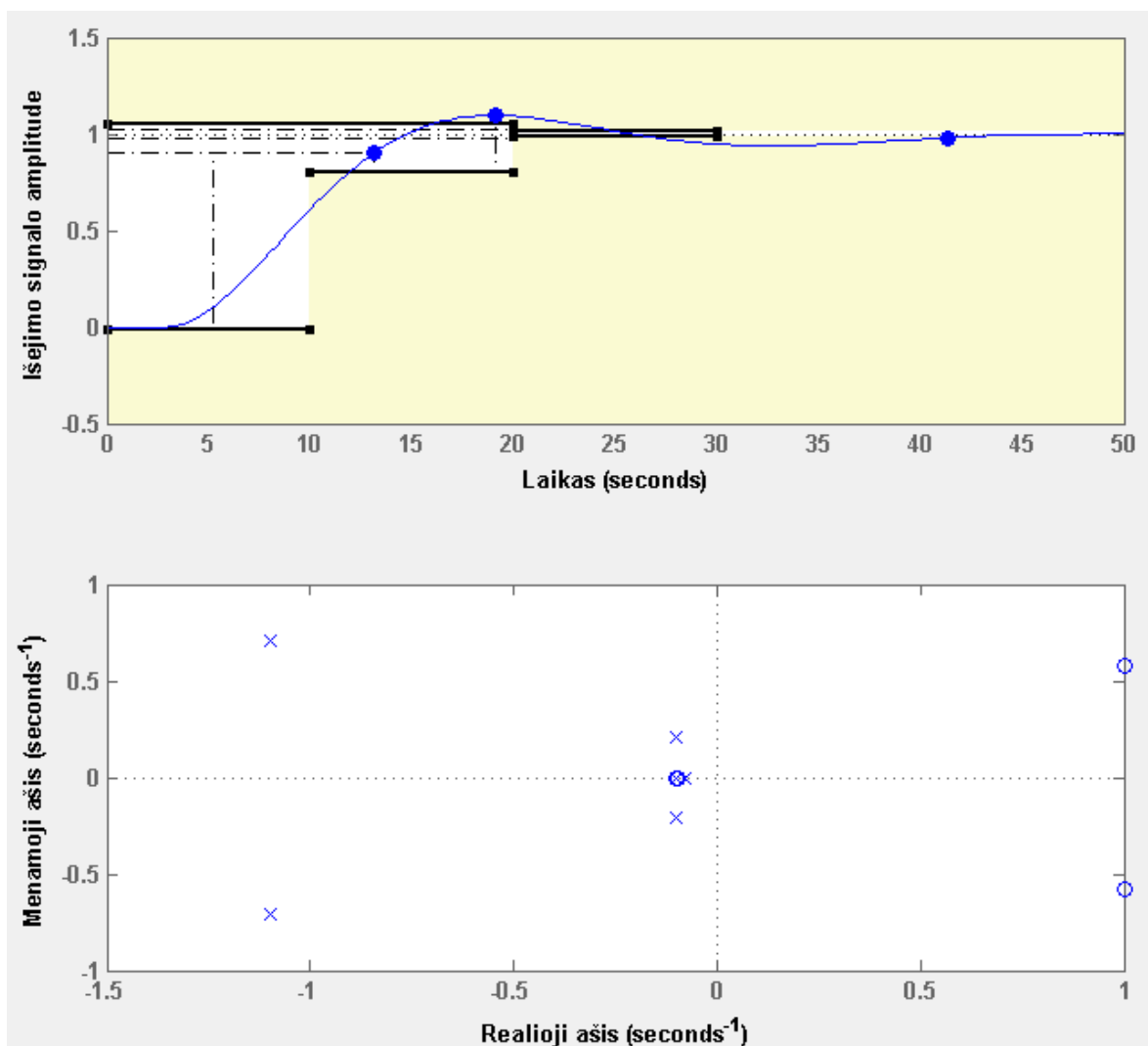
Įsibėgėjimo trukmė: 7.93 s

Perreguliavimas: 9.68 % (ties 19.1 s)

Nusistovėjimo laikas: 41.4 s

Valdymo sistema neatitinka antros eilės objekto nustatytų derinimo reikalavimų (2.1 lentelė).

Perreguliavimas didesnis nei 5% ir nusistovėjimo laikas viršija 20 sekundžių.



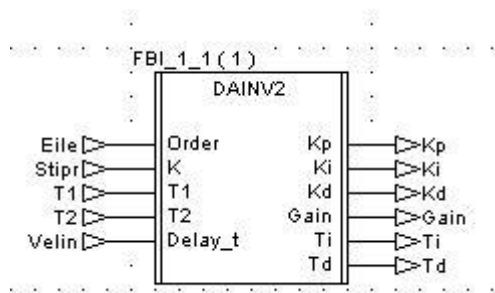
3.16 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą ir polių - nulių žemėlapis

4 PID reguliatoriaus parametrų parinkimo funkcinis blokas

Po atliktos PID reguliatoriaus analizės ir jos patikros sukuriamas vartotojo funkcinis blokas (4.1 pav.) Concept pakete. Bloko paskirtis apskaičiuoti PID reguliatoriaus parametrus pagal pirmos ir antros eilės objektų su/be vėlinimo perdavimo funkcijas, taip, kad būtų tenkinami išsikelti proceso

dinamikos reikalavimai. Funkcinio bloko panaudojimui reikia (PID reguliatoriaus parametru apskaičiavimas):

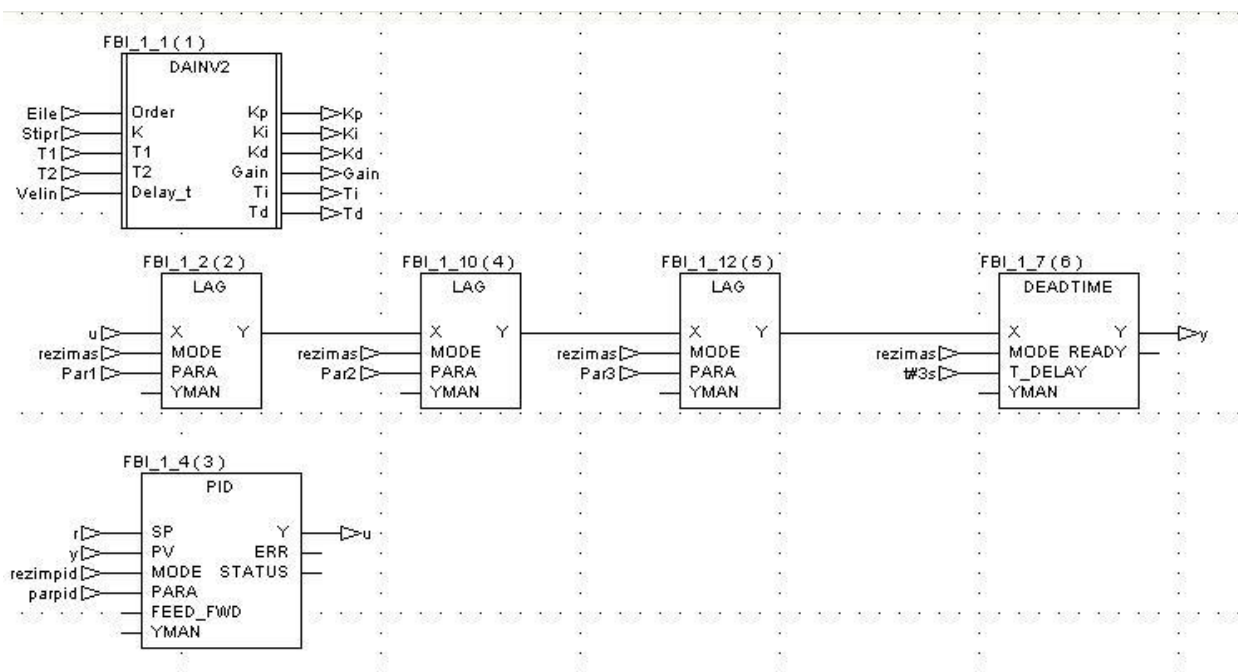
- 1) įvesti objekto perdavimo funkcijos eilę (1 arba 2) (įėjimas - *Order*);
- 2) įvesti objekto stiprinimą – (įėjimas – *K*) (ribos 1 eil. p. f. [1-100], 2 eil. p. f. [1-10]) ;
- 3) įvesti objekto laiko pastoviasias T_1 , T_2 (1 eil. p. f. [1-100 (s)], 2 eil. p. f. [1-10 (s)]);
- 4) įvesti vėlinimą – (įėjimas – *Delay_t*) [1 eil. p. f. [0.1-2 (s)], 2 eil. p.f. [1-10 (s)]];
- 5) funkcinis blokas pateikia reguliatoriaus parametru P (K_p) , I (K_i), D (K_d) vertes ir Gain, T_i ir T_d vertes.



4.1 pav. automatinių pid reguliatoriaus parametru skaičiavimo funkcinis blokas

Principinė valdymo sistemos schema pateikiama 1.3 pav.

Valdymo sistemos realizavimas Concept programinėje įrangoje susideda iš 6 funkcinų bloku:



4.2 Valdymo sistemos modelis Concept modeliavimo lange

Sekančiuose 4.3 - 4.8 paveiksluose pateiktų modeliavimo rezultatų parametru reikšmės:

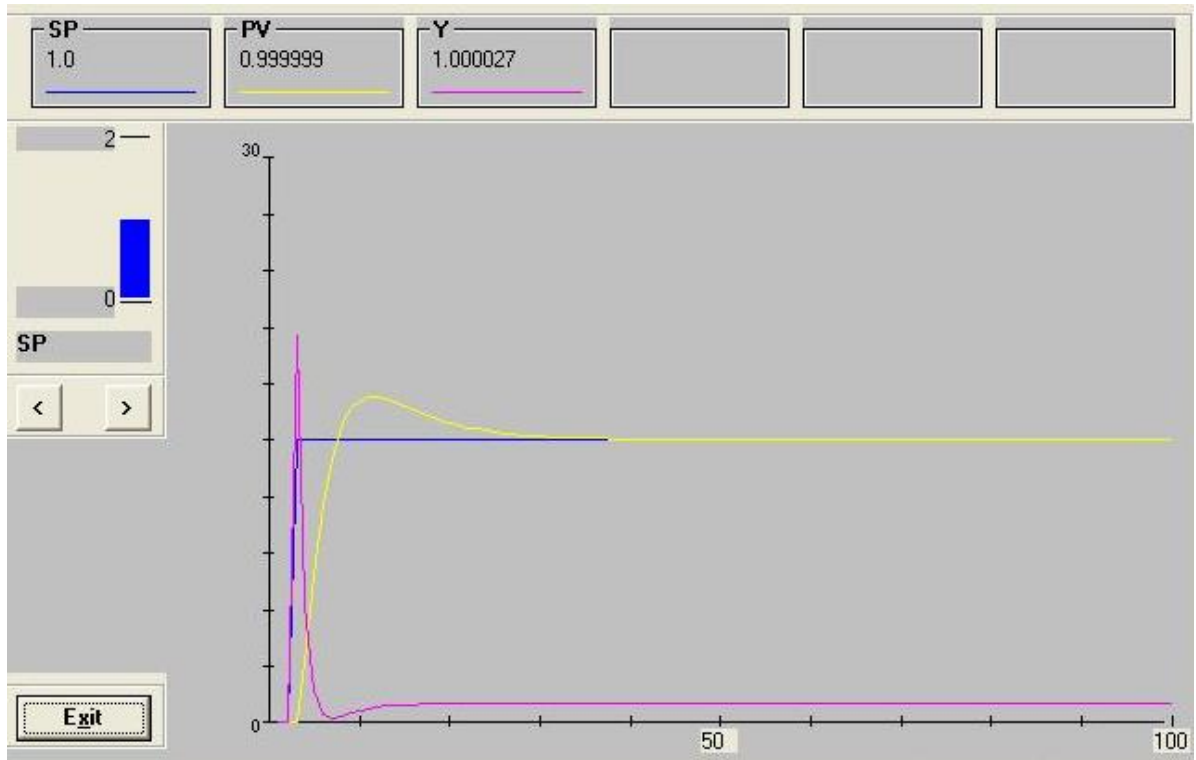
Mėlyna - nuostato reikšmė;

Geltona - proceso vertė;

Violetinė - valdymo signalas.

X ašyje pateikta laiko skalė sekundėmis – 100 (s).

- *Antros eilės valdymo sistema su PID reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal antros eilės objekto modelį*



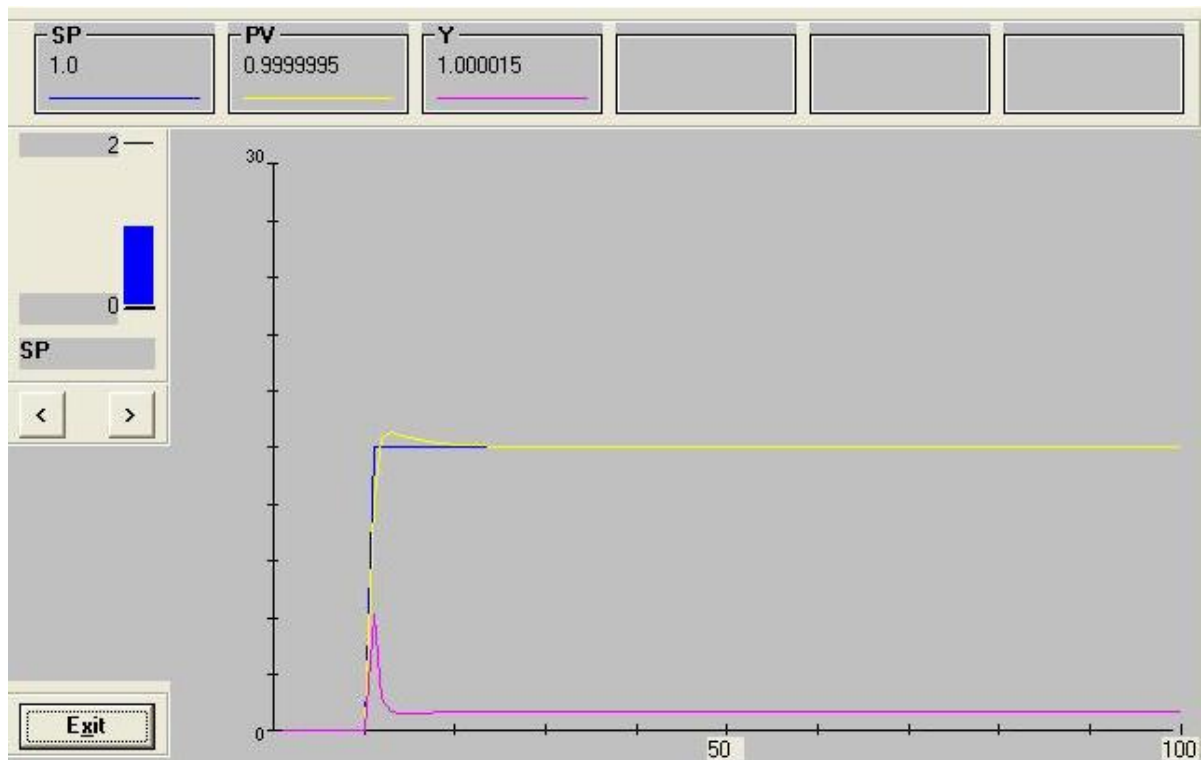
4.3 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą

Y ašyje pateiktos signalų amplitudės. Nuostato signalo 0 - 2, proceso signalo 0 - 2, reguliatoriaus išėjimo signalo 0 - 30.

4.1 lentelė. Valdymo sistemos parametrai.

SP užduoties signalas	y valdymo signalas	Perreguliavimas, %	Nusistovėjimo laikas, s
1	≤ 20.92	15	26.5

- *Antros eilės valdymo sistema su PI reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal pirmos eilės objekto modelį*



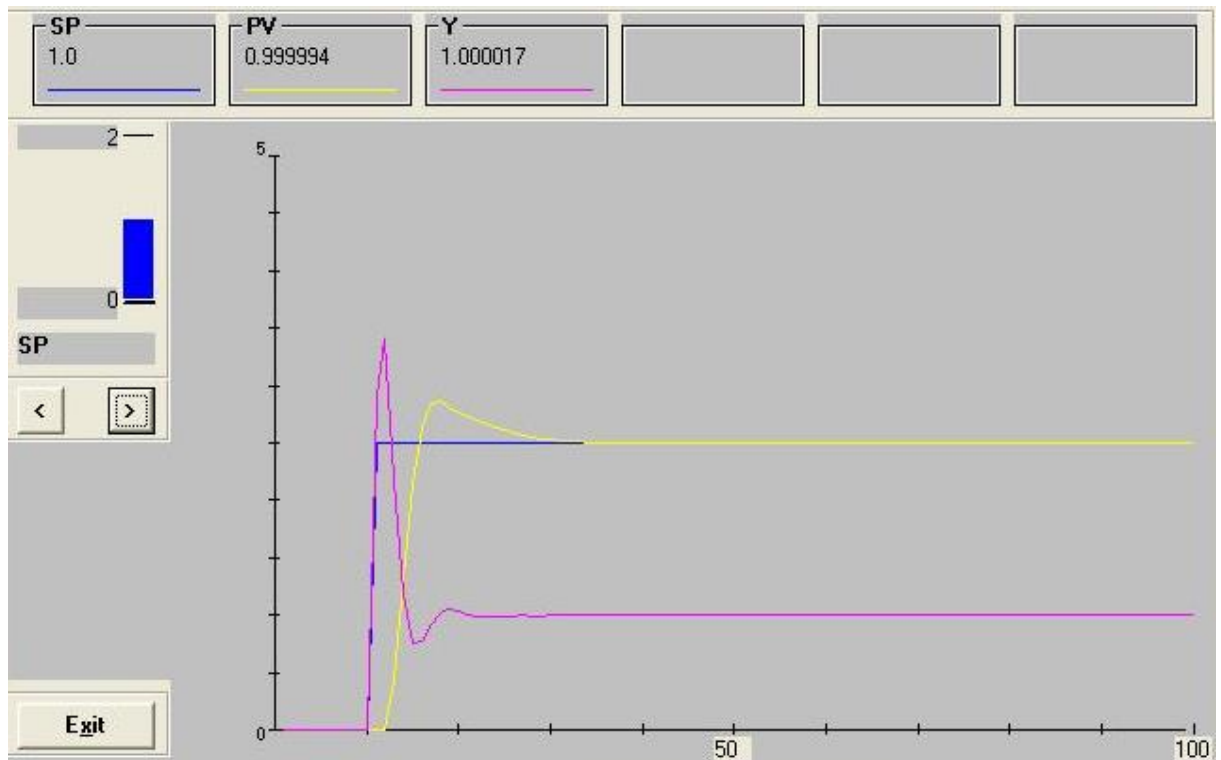
4.4 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą

Y ašyje pateiktos signalų amplitudės. Valdymo signalo maksimali 0 - 30, užduoties signalo 0 - 2, proceso signalo 0 - 2.

4.2 lentelė. Valdymo sistemos parametrai.

SP užduoties signalas	y valdymo signalas	Perreguliavimas %	Nusistovėjimo laikas, s
1	≤ 21.75	5	10.7

- *Antros eilės valdymo sistema su PID reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal antros eilės su vėlinimu objekto modelį*



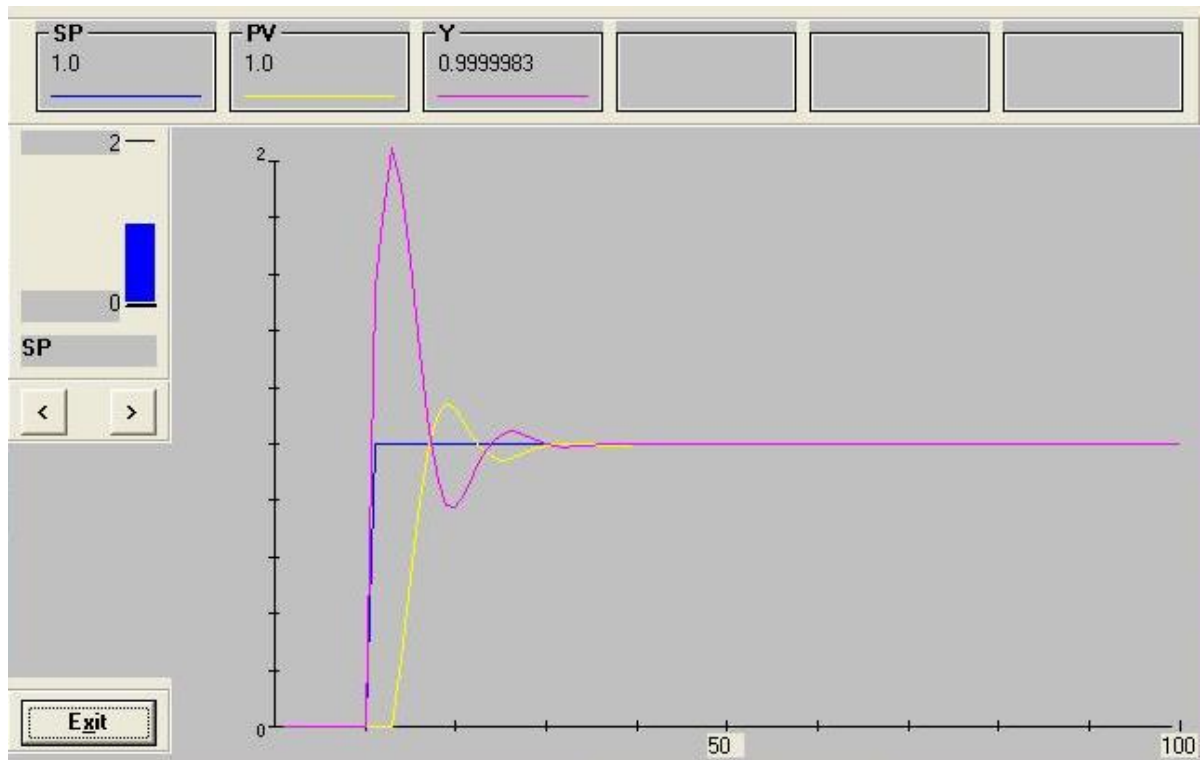
4.5 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą

Y ašyje pateiktos signalų amplitudės. Valdymo signalo vertė 0 - 5, užduoties signalo 0 - 2, proceso signalo 0 - 2.

4.3 lentelė. Valdymo sistemos parametrai.

SP užduoties signalas	y valdymo signalas	Perreguliavimas, %	Nusistovėjimo laikas, s
1	≤ 3.487	14.8	19.7

- *Antros eilės valdymo sistema su PI reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal pirmos eilės su vėlinimu objekto modelį*



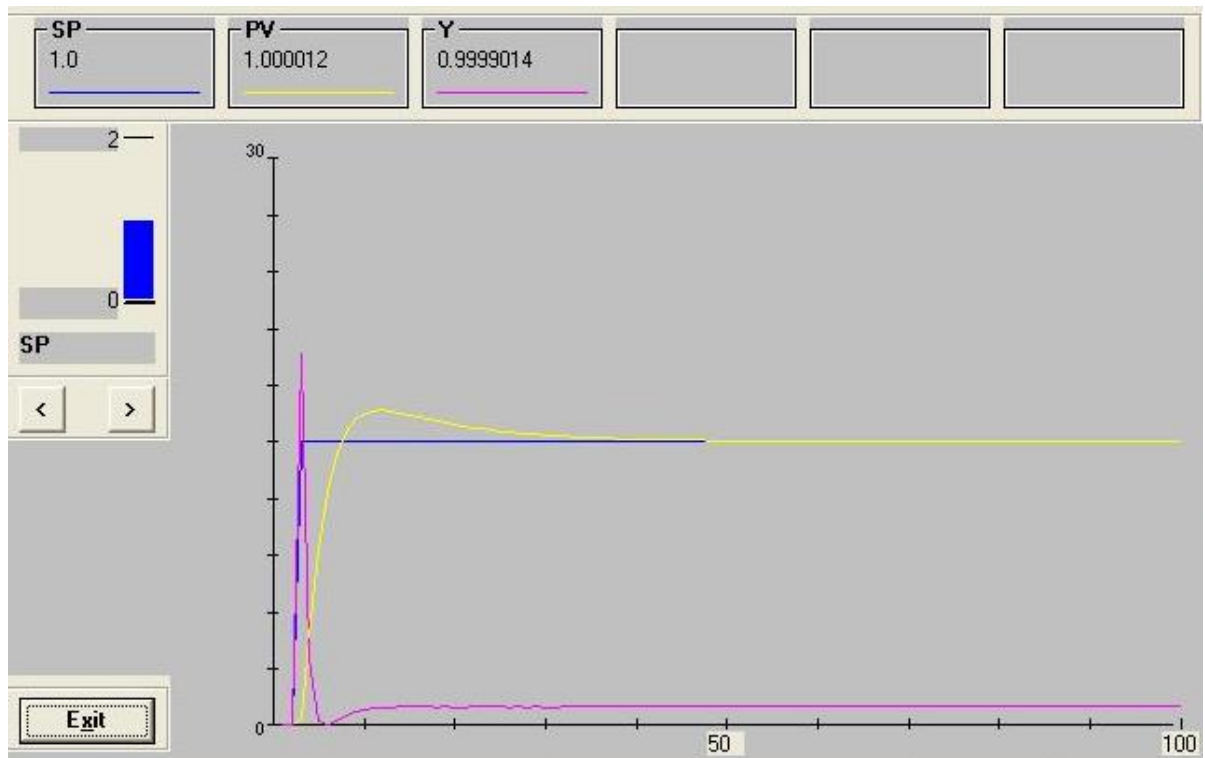
4.6 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą

Y ašyje pateiktos signalų amplitudės. Valdymo signalo vertė 0 - 2, užduoties signalo 0 - 2, proceso signalo 0 - 2.

4.4 lentelė. *Valdymo sistemos parametrai.*

SP užduoties signalas	y valdymo signalas	Perreguliavimas, %	Nusistovėjimo laikas, s
1	≤ 2.09	14.3	19.8

- *Trečios eilės valdymo sistema su PID reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal antros eilės objekto modelį*



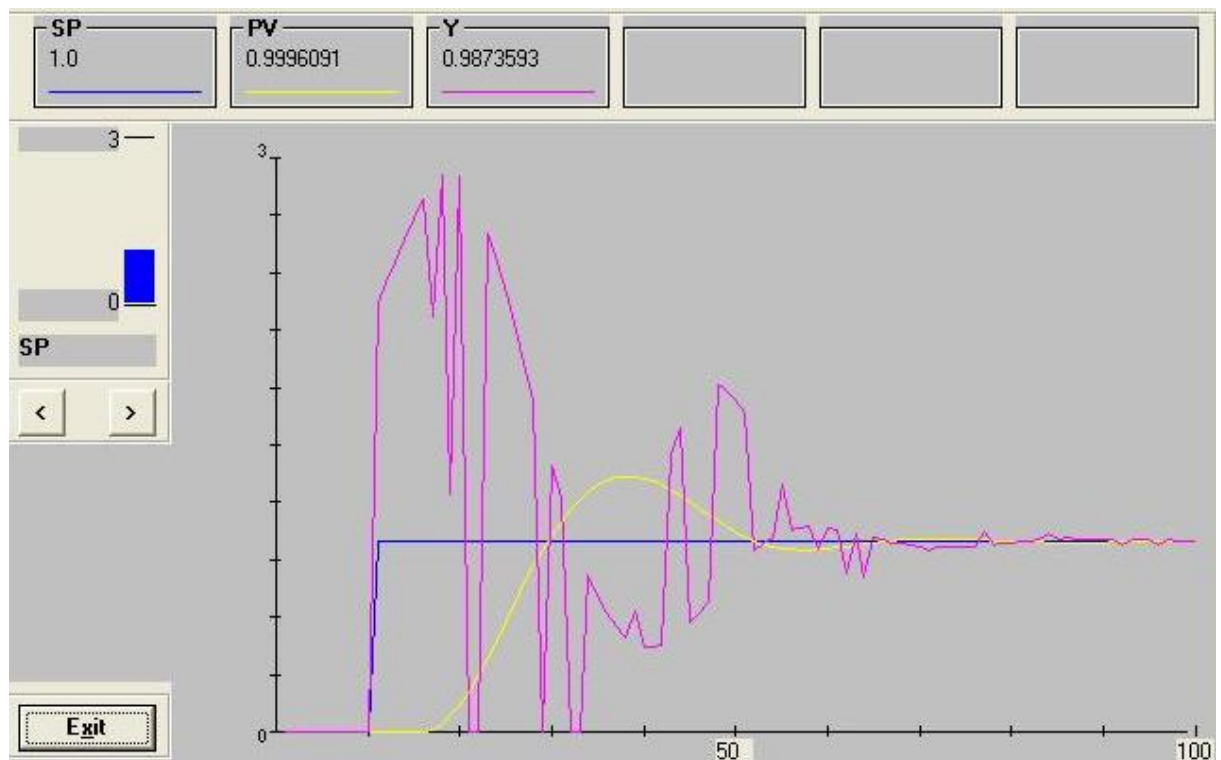
4.7 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą

Y ašyje pateiktos signalo amplitudės. Valdymo signalo vertė 0 - 30, užduoties signalo 0 - 2, proceso signalo 0 - 2.

4.5 lentelė. Valdymo sistemos parametrai.

SP užduoties signalas	y valdymo signalas	Perreguliavimas %	Nusistovėjimo laikas, s
1	≤ 28.75	10.8	29.1

- *Trečios eilės valdymo sistema su PID reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal antros eilės su vėlinimu objekto modelį*



4.8 pav. Valdymo sistemos reakcija į vienetinį šuolinį signalą

Y ašyje pateiktos signalo amplitudės. Valdymo signalo vertė 0 - 3, užduoties signalo 0 - 3, proceso signalo 0 - 3.

4.6 lentelė. Valdymo sistemos parametrai.

SP užduoties signalas	y valdymo signalas	Perreguliavimas, %	Nusistovėjimo laikas, s
1	≤ 2.92	33.5	55.55

4.7 lentelė. Valdymo sistemų dinaminių charakteristikų, gautų Matlab ir Concept aplinkose, palyginimas

	Matlab aplinkoje		Concept aplinkoje	
	Perregu- liavimas, %	Nusistovė- jimo laikas, s	Perregu- liavimas, %	Nusistove- jimo laikas, s
II eilės valdymo sistema su PID reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal II eilės objekto modelį	2.22	5.07	15	26.5
II eilės valdymo sistema su PI reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal I eilės objekto modelį	80	74.6	5	10.7
II eilės valdymo sistema su PID reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal II eilės su vėlinimu objekto modelį	1.5	3.8	14.8	19.7

II eilės valdymo sistema su PI reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal I eilės su vėlinimu objekto modelį	11.8	20.7	14.3	19.8
III eilės valdymo sistema su PID reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal II eilės objekto modelį	64.2	39.8	10.8	29.1
III eilės valdymo sistema su PID reguliatoriumi, kurio parametrai parinkti pagal II eilės su vėlinimu objekto modelį	9.68	41.4	33.5	55.55

Valdiklių programinėje įrangoje realizavus ir išbandžius PID reguliatoriaus parametų apskaičiavimo pagal sumažintos eilės objekto modelį algoritmą, galima teigti jog sistemų, kurių dinaminiai rodikliai Matlab aplinkoje buvo nutolę nuo projektinių, dinaminiai rodikliai Concept aplinkoje yra artimi projektiniams. Ir atvirkščiai.

Tokį reiškinį galima paaiškinti tuo, kad Concept aplinkoje PID reguliatoriaus funkcinis blokas I ir D dedamųjų vertinimui naudoja parametrus T_i ir T_d laiko srityje, o Matlab aplinkoje šie parametrai yra vertinami stiprinimo koeficientu.

5 IŠVADOS

Atlikus PID reguliatoriaus parametrų parinkimo pagal sumažintą modelį analizę galima teigti, kad:

1. Matlab aplinkoje pritaikant tos pačios eilės objekto parametrus, netaikant sumažintos eilės objekto parametrų, valdymo sistema atitinka keliamus reikalavimus. Taikant, sumažintos eilės modelio parametrus valdymo sistemos dinaminės charakteristikos blogėja. Išauga perreguliavimas ir nusistovėjimo trukmė. Antros eilės valdymo sistemos charakteristikų pablogėjimą galima paaiškinti tuo, jog sistemos valdymui naudojamas PI tipo reguliatorius.
2. Valdiklių programinėje įrangoje realizavus ir išbandžius PID reguliatoriaus parametrų apskaičiavimo pagal sumažintos eilės objekto modelį algoritmą, galima teigti jog sistemų, kurių dinaminiai rodikliai Matlab aplinkoje buvo nutolę nuo projektinių, dinaminiai rodikliai Concept aplinkoje yra artimi projektiniams. Ir atvirkščiai. Tokį reiškinį galima paaiškinti tuo, kad Concept aplinkoje PID reguliatoriaus funkcinis blokas I ir D dedamųjų vertinimui naudoja parametrus T_i ir T_d laiko srityje, o Matlab aplinkoje šie parametrai yra vertinami stiprinimo koeficientu.
3. Sukurtas vartotojo funkcinis blokas valdiklių programavimo programinėje įrangoje leidžia PID reguliatoriaus parametrų parinkimą pagal sumažintą objekto modelį realizuoti komercinėje programinėje įrangoje, kuri neturi/nesiūlo automatinio PID reguliatoriaus parametrų nustatymo algoritmo.

6 LITERATŪRA

- [1] Mohammad Shahrokhi ir Alireza Zomorodi. Comparison of PID Controller Tuning Methods. [žiūrėta 2015 m. gegužės 12 d.]. Prieiga per internetą: http://yunus.hacettepe.edu.tr/~ounver/documents/OMU412/Classes/w3/Zomorodi_Shahrokhi_PID_Tunning_Comparison.pdf
- [2] Donatas Levišauskas. Automatinio reguliavimo sistemų derinimas, 2008, Vilnius.
- [3] Algirdas Večkys. PID reguliatoriai programuojamuosiuose loginiuose valdikliuose SIMATIC C5. 1996, Kaunas.
- [4] William L. Luyben ir Michael L. Luyben. Essentials of process control. 1997, International Editions.
- [5] Vytis Svajūnas Januševičius. Automatinis valdymas: Teorija, uždaviniai, sprendimai. Tiesinės tolydžiosios sistemos. 2003 Technologija, Kaunas.
- [6] K.Astrom, T. Hagglund. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. 1994, United States of America.
- [7] MirSaleh Bahavarnia, Mohammad Saleh Tavazoei. A new view to Ziegler–Nichols step response tuning method: Analytic non-fragility justification. Journal of Process Control 23 (2013) 23–33.
- [8] Astrom, Karl J., Hagglund, Tore. PID controllers: theory, design, and tuning. 2nd edition. 1995, Instrument society of America.
- [9] PID controllers: recent tuning methods and design to specification. P. Cominos and N. Munro. Control Theory and Applications, IEE Proceedings. 2002.
- [10] Dr William Y. Svrcek, Donald P. Mahoney, Brent R. Young. A Real-Time Approach to Process Control, Second Edition. 2007.
- [11] Astrom, Karl J., Hagglund, Tore. Advanced PID Control. 2005 ISA, The Instrumentation, Systems and Automation Society.
- [12] Rolf Isermann. Digitale Regelsysteme: Band1. 1998, p. 304-307
- [13] Concept Programming Unit, Version 2.2 XL SR2, Copyright 1995-2000, Schneider Automation GmbH, Function block description, Scaling: scaling.

7 PRIEDAI

7.1 lentelė. Derinimo rezultatai keičiant objekto stiprinimą kai $T_{ob} = 1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{s+1}$	1	1	21.1	50.5	-
$\frac{2}{s+1}$	2	1	10.5	25.3	-
$\frac{5}{s+1}$	5	1	4.21	10.1	-
$\frac{10}{s+1}$	10	1	2.11	5.05	-
$\frac{100}{s+1}$	100	1	0.211	0.505	-

7.2 lentelė. Derinimo rezultatai keičiant objekto stiprinimą kai $T_{ob} = 2$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{2s+1}$	1	2	21.1	25.3	-
$\frac{2}{2s+1}$	2	2	10.5	12.6	-
$\frac{5}{2s+1}$	5	2	4.21	5.05	-
$\frac{10}{2s+1}$	10	2	2.11	2.53	-
$\frac{100}{2s+1}$	100	2	0.211	0.253	-

7.3 lentelė. Derinimo rezultatai keičiant objekto stiprinimą prie $T_{ob} = 5$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{5s+1}$	1	5	21.1	10.1	-
$\frac{2}{5s+1}$	2	5	10.5	5.05	-
$\frac{5}{5s+1}$	5	5	4.21	2.02	-
$\frac{10}{5s+1}$	10	5	2.11	1.01	-
$\frac{100}{5s+1}$	100	5	0.211	0.101	-

7.4 lentelė. Derinimo rezultatai keičiant objekto stiprinimą prie $T_{ob} = 10$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{10s+1}$	1	10	21.1	5.05	-
$\frac{2}{10s+1}$	2	10	10.5	2.53	-
$\frac{5}{10s+1}$	5	10	4.21	1.01	-
$\frac{10}{10s+1}$	10	10	2.11	0.505	-
$\frac{100}{10s+1}$	100	10	0.211	0.0505	-

7.5 lentelė. Derinimo rezultatai keičiant objekto stiprinimą prie $T_{ob} = 100$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{100s+1}$	1	100	68.5	0.3	-
$\frac{2}{100s+1}$	2	100	34.3	0.15	-
$\frac{5}{100s+1}$	5	100	13.7	0.06	-
$\frac{10}{100s+1}$	10	100	6.85	0.03	-
$\frac{100}{100s+1}$	100	100	0.685	0.003	-

7.6 lentelė. Reguliatoriaus parametų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} = 1$ (s), $\alpha = 0.1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_i	K_D
$1 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	1	1	0.1	2.11	3	-
$2 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	2	1	0.1	-0.0208	0.917	-
$5 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	5	1	0.1	0.068	0.159	-
$10 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	10	1	0.1	0.54	0.139	-
$100 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	100	1	0.1	0.0203	0.0106	-

7.7 lentelė. Reguliatoriaus parametų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} = 2$ (s), $\alpha = 0.1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_i	K_D
$1 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	1	2	0.1	1.65	0.741	-
$2 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	2	2	0.1	0.728	0.555	-
$5 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	5	2	0.1	1.29	0.436	-
$10 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	10	2	0.1	0.0185	0.0239	-
$100 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	100	2	0.1	0.0712	0.0337	-

7.8 lentelė. Reguliatoriaus parametų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} = 5$ (s), $\alpha = 0.1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_i	K_D
$1 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	1	5	0.1	20	8.57	-
$2 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	2	5	0.1	1.66	0.489	-
$5 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	5	5	0.1	4.44	1.74	-
$10 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s+1}$	10	5	0.1	0.123	0.0399	-

$100 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s + 1}$	100	5	0.1	0.201	0.0859	-
---------------------------------------	-----	---	-----	-------	--------	---

7.9 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} - 10$ (s), $\alpha - 0.1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_I	K_D
$1 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s + 1}$	1	10	0.1	-	-	-
$2 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s + 1}$	2	10	0.1	-	-	-
$5 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s + 1}$	5	10	0.1	8.66	2.55	-
$10 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s + 1}$	10	10	0.1	0.923	0.172	-
$100 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s + 1}$	100	10	0.1	0.31	0.0919	-

7.10 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} - 100$ (s), $\alpha - 0.1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_I	K_D
$1 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s + 1}$	1	100	0.1	60.5	0.439	-
$2 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s + 1}$	2	100	0.1	30.2	0.22	-
$5 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s + 1}$	5	100	0.1	12.1	0.0878	-
$10 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s + 1}$	10	100	0.1	6.05	0.0439	-
$100 * \frac{e^{-0.1s}}{T_{ob}s + 1}$	100	100	0.1	0.605	0.00439	-

7.11 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} - 1$ (s), $\alpha - 1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_I	K_D
$1 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	1	1	1	0.855	0.301	-
$2 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	2	1	1	0.427	0.151	-
$5 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	5	1	1	0.171	0.0603	-
$10 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	10	1	1	0.0855	0.0301	-
$100 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	100	1	1	0.0855	0.0301	-

7.12 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} - 2$ (s), $\alpha - 1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_I	K_D
$1 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	1	2	1	1.03	0.514	-
$2 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	2	2	1	0.514	0.257	-

$5 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	5	2	1	0.205	0.103	-
$10 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	10	2	1	0.103	0.0514	-
$100 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	100	2	1	0.0103	0.00514	-

7.13 lentelė. Reguliatoriaus parametų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} = 5$ (s), $\alpha = 1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_i	K_D
$1 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	1	5	1	1.34	0.237	-
$2 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	2	5	1	0.665	0.118	-
$5 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	5	5	1	0.267	0.0474	-
$10 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	10	5	1	0.111	0.0264	-
$100 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	100	5	1	0.0111	0.00264	-

7.14 lentelė. Reguliatoriaus parametų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} = 10$ (s), $\alpha = 1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_i	K_D
$1 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	1	10	1	3.16	0.371	-
$2 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	2	10	1	0.739	0.085	-
$5 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	5	10	1	0.303	0.0347	-
$10 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	10	10	1	0.151	0.0173	-
$100 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	100	10	1	0.0147	0.00165	-

7.15 lentelė. Reguliatoriaus parametų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} = 100$ (s), $\alpha = 1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_i	K_D
$1 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	1	100	1	47.3	0.745	-
$2 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	2	100	1	9.76	0.0949	-
$5 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	5	100	1	10.5	0.0624	-
$10 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	10	100	1	3.93	0.58	-
$100 * \frac{e^{-1s}}{T_{ob}s + 1}$	100	100	1	0.393	0.058	-

7.16 lentelė. Reguliatoriaus parametų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} = 1$ (s), $\alpha = 2$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_i	K_D
--------------------	----------	-------------	-------------	-------	-------	-------

$1 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	1	1	2	0.732	0.262	-
$2 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	2	1	2	0.366	0.131	-
$5 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	5	1	2	0.146	0.0524	-
$10 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	10	1	2	0.0732	0.0262	-
$100 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	100	1	2	0.00732	0.00262	-

7.17 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} - 2$ (s), $\alpha - 2$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_i	K_D
$1 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	1	2	2	0.765	0.236	-
$2 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	2	2	2	0.382	0.118	-
$5 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	5	2	2	0.153	0.0472	-
$10 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	10	2	2	0.0765	0.0236	-
$100 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	100	2	2	0.00765	0.00236	-

7.18 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} - 5$ (s), $\alpha - 2$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_i	K_D
$1 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	1	5	2	1.5	0.249	-
$2 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	2	5	2	0.75	0.124	-
$5 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	5	5	2	0.3	0.0498	-
$10 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	10	5	2	0.15	0.0249	-
$100 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	100	5	2	0.015	0.00249	-

7.19 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} - 10$ (s), $\alpha - 2$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_i	K_D
$1 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	1	10	2	1.7	0.166	-
$2 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	2	10	2	0.852	0.083	-
$5 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	5	10	2	0.341	0.0332	-
$10 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	10	10	2	0.682	0.0664	-
$100 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	100	10	2	0.0682	0.00664	-

7.20 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant K_{ob} ir prie $T_{ob} = 100$ (s), $\alpha = 2$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob}, s	α, s	K_P	K_i	K_D
$1 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	1	100	2	17.8	0.159	-
$2 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	2	100	2	8.46	0.0745	-
$5 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	5	100	2	4.91	0.0642	-
$10 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	10	100	2	1.71	0.0151	-
$100 * \frac{e^{-2s}}{T_{ob}s + 1}$	100	100	2	0.169	0.0015	-

7.21 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant T_{ob1} ir kai $T_{ob2} = 1$ (s), $\alpha = 0$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob1}, s	T_{ob2}, s	$T_{ob1} * T_{ob2}, s$	α, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{s^2 + 2s + 1}$	1	1	1	1	-	21.9	14.1	8.5
$\frac{1}{2s^2 + 3s + 1}$	1	2	1	2	-	25.5	11.3	14.3
$\frac{1}{5s^2 + 6s + 1}$	1	5	1	5	-	34.4	11.6	25.7
$\frac{1}{10s^2 + 11s + 1}$	1	10	1	10	-	47.5	15.1	37.4

7.22 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant T_{ob1} ir kai $T_{ob2} = 2$ (s), $\alpha = 0$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob1}, s	T_{ob2}, s	$T_{ob1} * T_{ob2}, s$	α, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{2s^2 + 3s + 1}$	1	1	2	2	-	25.5	11.3	14.3
$\frac{1}{4s^2 + 4s + 1}$	1	2	2	4	-	22	7.04	17.2
$\frac{1}{10s^2 + 7s + 1}$	1	5	2	10	-	24.3	5.43	27.2
$\frac{1}{20s^2 + 12s + 1}$	1	10	2	20	-	34.4	5.78	51.3

7.23 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant T_{ob1} ir kai $T_{ob2} = 5$ (s), $\alpha = 0$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob1}, s	T_{ob2}, s	$T_{ob1} * T_{ob2}, s$	α, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{5s^2 + 6s + 1}$	1	1	5	5	-	34.4	11.6	25.7
$\frac{1}{10s^2 + 7s + 1}$	1	2	5	10	-	24.3	5.43	27.2
$\frac{1}{25s^2 + 10s + 1}$	1	5	5	25	-	19.1	2.25	40.4
$\frac{1}{50s^2 + 15s + 1}$	1	10	5	50	-	25.8	2.26	73.8

7.24 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant T_{ob1} ir kai $T_{ob2} = 10$ (s), $\alpha = 0$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob1}, s	T_{ob2}, s	$T_{ob1} * T_{ob2}, s$	α, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{10s^2 + 11s + 1}$	1	1	10	10	-	47.5	15.1	37.4
$\frac{1}{20s^2 + 12s + 1}$	1	2	10	20	-	34.4	5.78	51.3
$\frac{1}{50s^2 + 15s + 1}$	1	5	10	50	-	25.8	2.26	73.8
$\frac{1}{100s^2 + 20s + 1}$	1	10	10	100	-	22.7	1.41	91.4

7.25 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant T_{ob1} ir T_{ob2} , kai $\alpha = 1$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob1}, s	T_{ob2}, s	$T_{ob1} * T_{ob2}, s$	α, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{s^2 + 2s + 1} e^{-1s}$	1	1	1	1	1	1.24	0.551	0.698
$\frac{1}{2s^2 + 3s + 1} e^{-1s}$	1	2	1	2	1	1.63	0.544	1.23
$\frac{1}{5s^2 + 6s + 1} e^{-1s}$	1	5	1	5	1	3.31	0.555	4.42
$\frac{1}{10s^2 + 11s + 1} e^{-1s}$	1	10	1	10	1	4.02	0.46	8.76
$\frac{1}{4s^2 + 4s + 1} e^{-1s}$	1	2	2	4	1	2.01	0.495	1.95
$\frac{1}{10s^2 + 7s + 1} e^{-1s}$	1	5	2	10	1	3.27	0.496	5.2
$\frac{1}{20s^2 + 12s + 1} e^{-1s}$	1	10	2	20	1	4.08	0.349	12
$\frac{1}{25s^2 + 10s + 1} e^{-1s}$	1	5	5	25	1	5.23	0.495	13.4
$\frac{1}{50s^2 + 15s + 1} e^{-1s}$	1	10	5	50	1	5.63	0.339	16.4
$\frac{1}{100s^2 + 10s + 1} e^{-1s}$	1	10	10	100	1	11	0.515	59.2

7.26 lentelė. Regulatoriaus parametrų vertės, keičiant T_{ob1} ir T_{ob2} , kai $\alpha = 5$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob1}, s	T_{ob2}, s	$T_{ob1} * T_{ob2}, s$	α, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{s^2 + 2s + 1} e^{-5s}$	1	1	1	1	5	0.456	0.134	0.388

$\frac{1}{2s^2 + 3s + 1} e^{-5s}$	1	2	1	2	5	0.71	0.133	0.943
$\frac{1}{5s^2 + 6s + 1} e^{-s}$	1	5	1	5	5	0.536	0.086	- 0.00002
$\frac{1}{10s^2 + 11s + 1} e^{-s}$	1	10	1	10	5	1.43	0.116	4.44
$\frac{1}{4s^2 + 4s + 1} e^{-5s}$	1	2	2	4	5	0.805	0.125	1.22
$\frac{1}{10s^2 + 7s + 1} e^{-5s}$	1	5	2	10	5	0.91	0.113	1.83
$\frac{1}{20s^2 + 12s + 1} e^{-5s}$	1	10	2	20	5	1.6	0.126	4.19
$\frac{1}{25s^2 + 10s + 1} e^{-5s}$	1	5	5	25	5	1	0.095	2.73
$\frac{1}{50s^2 + 15s + 1} e^{-5s}$	1	10	5	50	5	1.53	0.0975	5.78
$\frac{1}{100s^2 + 20s + 1} e^{-5s}$	1	10	10	100	5	2.23	0.109	11.4

7.27 lentelė. Reguliatoriaus parametrų vertės, keičiant Tob1 ir Tob2, kai $\alpha = 10$ (s)

Perdavimo funkcija	K_{ob}	T_{ob1}, s	T_{ob2}, s	$\frac{T_{ob1}}{T_{ob2}}$	α, s	K_P	K_i	K_D
$\frac{1}{s^2 + 2s + 1} e^{-10s}$	1	1	1	1	10	0.333	0.038	-5.55e- 23
$\frac{1}{2s^2 + 3s + 1} e^{-10s}$	1	2	1	2	10	0.0756	0.0364	0.0392
$\frac{1}{5s^2 + 6s + 1} e^{-10s}$	1	5	1	5	10	0.0495	0.0319	-0.191
$\frac{1}{10s^2 + 11s + 1} e^{-10s}$	1	10	1	10	10	0.891	0.0544	3.65
$\frac{1}{4s^2 + 4s + 1} e^{-10s}$	1	2	2	4	10	0.374	0.0493	2.68
$\frac{1}{10s^2 + 7s + 1} e^{-10s}$	1	5	2	10	10	0.499	0.0558	1.16
$\frac{1}{20s^2 + 12s + 1} e^{-10s}$	1	10	2	20	10	0.769	0.0539	1.94
$\frac{1}{25s^2 + 10s + 1} e^{-10s}$	1	5	5	25	10	0.427	0.0425	1.07
$\frac{1}{50s^2 + 15s + 1} e^{-10s}$	1	10	5	50	10	0.918	0.0543	3.85

$\frac{1}{100s^2 + 20s + 1} e^{-10s}$	1	10	10	100	10	1.17	0.055	6.3
---------------------------------------	---	----	----	-----	----	------	-------	-----

Concept DFB bloko programos tekstas

```

VAR
  mastelis1 : SCALING;
  mastelis2 : SCALING;
  mastelis3 : SCALING;
END_VAR

IF Order=1 THEN

IF K = 1.0 THEN

IF T1 >= t11 AND T1 < t12 THEN
  mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
  mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

  mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
  mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

  mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj1_t11;
  mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj1_t12;

  mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj1_t11;
  mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj1_t12;

ELSIF T1 >= t12 AND T1 < t15 THEN
  mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
  mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

  mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
  mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

  mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj1_t12;
  mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj1_t15;

  mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj1_t12;
  mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj1_t15;

  ELSIF T1 >= t15 AND T1 < t110 THEN
  mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
  mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

  mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
  mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

  mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj1_t15;
  mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj1_t110;

  mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj1_t15;
  mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj1_t110;

```



```

END_IF;

mastelis1 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
           PARA := mastelis_1(* Para_SCALING *));

mastelis2 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
           PARA := mastelis_2(* Para_SCALING *));

Kp_Kobj1 := mastelis1.OUT;
Ki_Kobj1 := mastelis2.OUT;

Kp:=Kp_Kobj1;
Ki:=Ki_Kobj1;
END_IF;

IF K = 2.0 THEN

IF T1 >= t11 AND T1 < t12 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj2_t11;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj2_t12;

mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj2_t11;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj2_t12;

ELSIF T1 >= t12 AND T1 < t15 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj2_t12;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj2_t15;

mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj2_t12;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj2_t15;

ELSIF T1 >= t15 AND T1 < t110 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN :=t15);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN :=t110);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj2_t15;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj2_t110;

mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj2_t15;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj2_t110;
END_IF;

```

```

mastelis1 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_1(* Para_SCALING *));

mastelis2 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_2(* Para_SCALING *));

Kp_Kobj2 := mastelis1.OUT;
Ki_Kobj2 := mastelis2.OUT;
Kp:=Kp_Kobj2;
Ki:=Ki_Kobj2;
END_IF;

IF K = 5.0 THEN

IF T1 >= t11 AND T1 < t12 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj5_t11;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj5_t12;

mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj5_t11;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj5_t12;

ELSIF T1 >= t12 AND T1 < t15 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj5_t12;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj5_t15;

mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj5_t12;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj5_t15;

ELSIF T1 >= t15 AND T1 < t110 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN :=t15);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN :=t110);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj5_t15;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj5_t110;

mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj5_t15;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj5_t110;
END_IF;

mastelis1 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_1(* Para_SCALING *));

```

```
mastelis2 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
  PARA := mastelis_2(* Para_SCALING *));
```

```
Kp_Kobj5 := mastelis1.OUT;
Ki_Kobj5 := mastelis2.OUT;
```

```
Kp:=Kp_Kobj5;
Ki:=Ki_Kobj5;
END_IF;
```

```
IF K = 10.0 THEN
```

```
IF T1>= t11 AND T1 < t12 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
```

```
mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
```

```
mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj10_t11;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj10_t12;
mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj10_t11;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj10_t12;
```

```
ELSIF T1 >= t12 AND T1 < t15 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
```

```
mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
```

```
mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj10_t12;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj10_t15;
mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj10_t12;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj10_t15;
```

```
ELSIF T1 >= t15 AND T1 < t110 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN :=t15);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN :=t110);
```

```
mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);
```

```
mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj10_t15;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj10_t110;
mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj10_t15;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj10_t110;
END_IF;
```

```
mastelis1 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
  PARA := mastelis_1(* Para_SCALING *));
```

```
mastelis2 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
  PARA := mastelis_2(* Para_SCALING *));
```

```
Kp_Kobj10 := mastelis1.OUT;
Ki_Kobj10 := mastelis2.OUT;
```

```

Kp:=Kp_Kobj10;
Ki:=Ki_Kobj10;

END_IF;

IF K = 100.0 THEN

IF T1>= t11 AND T1 < t12 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj100_t11;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj100_t12;
mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj100_t11;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj100_t12;

ELSIF T1 >= t12 AND T1 < t15 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj100_t12;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj100_t15;
mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj100_t12;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj100_t15;

ELSIF T1 >= t15 AND T1 < t110 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN :=t15);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN :=t110);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

mastelis_1.out_min:= Kp_x_Kobj100_t15;
mastelis_1.out_max:= Kp_x_Kobj100_t110;
mastelis_2.out_min:= Ki_x_Kobj100_t15;
mastelis_2.out_max:= Ki_x_Kobj100_t110;
END_IF;

mastelis1 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_1(* Para_SCALING *));

mastelis2 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_2(* Para_SCALING *));

Kp_Kobj100 := mastelis1.OUT;
Ki_Kobj100 := mastelis2.OUT;

Kp:=Kp_Kobj100;
Ki:=Ki_Kobj100;

```

```

ELSE

END_IF;

IF Tob2 = 1.0 THEN

IF T1 >= t11 AND T1 < t12 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_1_Kobj1_t11;
mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_1_Kobj1_t12;

mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_1_Kobj1_t11;
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_1_Kobj1_t12;

mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_1_Kobj1_t11;
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_1_Kobj1_t12;

ELSIF T1 >= t12 AND T1 < t15 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_1_Kobj1_t12;
mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_1_Kobj1_t15;

mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_1_Kobj1_t12;
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_1_Kobj1_t15;

mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_1_Kobj1_t12;
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_1_Kobj1_t15;

ELSIF T1 >= t15 AND T1 < t110 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_1_Kobj1_t15;
mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_1_Kobj1_t110;

```

```
mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_1_Kobj1_t15;  
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_1_Kobj1_t110;
```

```
mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_1_Kobj1_t15;  
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_1_Kobj1_t110;  
END_IF;
```

```
mastelis1 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)  
          PARA := mastelis_1(* Para_SCALING *));
```

```
mastelis2 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)  
          PARA := mastelis_2(* Para_SCALING *));
```

```
mastelis3 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)  
          PARA := mastelis_3(* Para_SCALING *));
```

```
Kp_Kobj1 := mastelis1.OUT;  
Ki_Kobj1 := mastelis2.OUT;  
Kd_Kobj1 := mastelis3.OUT;
```

```
Kp:=Kp_Kobj1;  
Ki:=Ki_Kobj1;  
Kd:=Kd_Kobj1;  
END_IF;
```

```
IF Tob2 = 2.0 THEN
```

```
IF T1 >= t11 AND T1 < t12 THEN  
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);  
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
```

```
mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);  
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
```

```
mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);  
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
```

```
mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_2_Kobj1_t11;  
mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_2_Kobj1_t12;
```

```
mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_2_Kobj1_t11;  
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_2_Kobj1_t12;
```

```
mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_2_Kobj1_t11;  
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_2_Kobj1_t12;
```

```
ELSIF T1 >= t12 AND T1 < t15 THEN  
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);  
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
```

```
mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);  
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
```

```
mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);  
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
```

```
mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_2_Kobj1_t12;
```

```

mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_2_Kobj1_t15;

mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_2_Kobj1_t12;
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_2_Kobj1_t15;

mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_2_Kobj1_t12;
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_2_Kobj1_t15;

ELSIF T1 >= t15 AND T1 < t110 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_2_Kobj1_t15;
mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_2_Kobj1_t110;

mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_2_Kobj1_t15;
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_2_Kobj1_t110;

mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_2_Kobj1_t15;
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_2_Kobj1_t110;
END_IF;

mastelis1 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_1(* Para_SCALING *));

mastelis2 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_2(* Para_SCALING *));

mastelis3 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_3(* Para_SCALING *));

Kp_Kobj1 := mastelis1.OUT;
Ki_Kobj1 := mastelis2.OUT;
Kd_Kobj1 := mastelis3.OUT;

Kp:=Kp_Kobj1;
Ki:=Ki_Kobj1;
Kd:=Kd_Kobj1;
END_IF;

IF Tob2 = 5.0 THEN

IF T1>= t11 AND T1 < t12 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);

```

```

mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_5_Kobj1_t11;
mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_5_Kobj1_t12;

mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_5_Kobj1_t11;
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_5_Kobj1_t12;

mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_5_Kobj1_t11;
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_5_Kobj1_t12;

ELSIF T1 >= t12 AND T1 < t15 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);

mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_5_Kobj1_t12;
mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_5_Kobj1_t15;

mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_5_Kobj1_t12;
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_5_Kobj1_t15;

mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_5_Kobj1_t12;
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_5_Kobj1_t15;

ELSIF T1 >= t15 AND T1 < t110 THEN
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_5_Kobj1_t15;
mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_5_Kobj1_t110;

mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_5_Kobj1_t15;
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_5_Kobj1_t110;

mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_5_Kobj1_t15;
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_5_Kobj1_t110;
END_IF;

mastelis1 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_1(* Para_SCALING *));

mastelis2 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_2(* Para_SCALING *));

mastelis3 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_3(* Para_SCALING *));

```



```
Kp_Kobj1 := mastelis1.OUT;  
Ki_Kobj1 := mastelis2.OUT;  
Kd_Kobj1 := mastelis3.OUT;
```

```
Kp:=Kp_Kobj1;  
Ki:=Ki_Kobj1;  
Kd:=Kd_Kobj1;  
END_IF;
```

```
IF Tob2 = 10.0 THEN
```

```
IF T1 >= t11 AND T1 < t12 THEN  
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);  
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
```

```
mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);  
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
```

```
mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t11);  
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t12);
```

```
mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_10_Kobj1_t11;  
mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_10_Kobj1_t12;
```

```
mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_10_Kobj1_t11;  
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_10_Kobj1_t12;
```

```
mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_10_Kobj1_t11;  
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_10_Kobj1_t12;
```

```
ELSIF T1 >= t12 AND T1 < t15 THEN  
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);  
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
```

```
mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);  
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
```

```
mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t12);  
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
```

```
mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_10_Kobj1_t12;  
mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_10_Kobj1_t15;
```

```
mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_10_Kobj1_t12;  
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_10_Kobj1_t15;
```

```
mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_10_Kobj1_t12;  
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_10_Kobj1_t15;
```

```
ELSIF T1 >= t15 AND T1 < t110 THEN  
mastelis_1.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);  
mastelis_1.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);
```

```
mastelis_2.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);  
mastelis_2.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);
```

```

mastelis_3.in_min:= TIME_TO_REAL (IN := t15);
mastelis_3.in_max:= TIME_TO_REAL (IN := t110);

mastelis_1.out_min:= Kp_Tob2_10_Kobj1_t15;
mastelis_1.out_max:= Kp_Tob2_10_Kobj1_t110;

mastelis_2.out_min:= Ki_Tob2_10_Kobj1_t15;
mastelis_2.out_max:= Ki_Tob2_10_Kobj1_t110;

mastelis_3.out_min:= Kd_Tob2_10_Kobj1_t15;
mastelis_3.out_max:= Kd_Tob2_10_Kobj1_t110;
END_IF;

mastelis1 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_1(* Para_SCALING *));

mastelis2 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_2(* Para_SCALING *));

mastelis3 (IN := TIME_TO_REAL (IN := T1), (* REAL *)
          PARA := mastelis_3(* Para_SCALING *));

Kp_Kobj1 := mastelis1.OUT;
Ki_Kobj1 := mastelis2.OUT;
Kd_Kobj1 := mastelis3.OUT;

Kp:=Kp_Kobj1;
Ki:=Ki_Kobj1;
Kd:=Kd_Kobj1;
END_IF;
END_IF;

Gain:= Kp;
Ti:= REAL_TO_TIME (IN := Kp/Ki);

Td:=REAL_TO_TIME (IN := Kd/Kp);

```