

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

A. Vilkājs

**Pozicionēšanas sistēmu dinamikas analīze,
vadības optimizācija un konstrukciju sintēze**

PROMOCIJAS DARBS

2013

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Transporta un mašīnzinību fakultāte
Mehānikas institūts

Atis VILKĀJS

Doktora studiju programmas „Inženiertehnika, mehānika un mašīnbūve” doktorants

**POZICIONĒŠANAS SISTĒMU
DINAMIKAS ANALĪZE,
VADĪBAS OPTIMIZĀCIJA UN
KONSTRUKCIJU SINTĒZE**

Promocijas darbs

Zinātniskais vadītājs
Dr. habil. sc. ing., profesors
J. VĪBA

Rīga 2013



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

ANOTĀCIJA

Dotais darbs ir saistīts ar robotizētu pozicionēšanas sistēmu izpildmehānismu optimālo vadību, optimizējot esošās vadības sistēmas un izstrādājot jaunu sistēmu vadīšanas metodiku. Ir aprakstīta pozicionēšanas sistēmu optimizācija un optimālās sintēzes teorija. Analizētas problēmas vadības sintēzei laika ierosmes sistēmās un jauktu vadību sistēmu optimizācijā. Darbā ietverta modelēšana ar vadības sintēzi adaptīvās sistēmās un analizēta pozicionēšana pa fāzu trajektorijām: lineāru, kvadrātisku un kubisku. Apskatīta arī vadības sintēze jauktās (adaptīvās un laika ierosmju) sistēmās pie gadījuma parametriem, izveidoti sistēmas modeļi.

Uz sintezēto pozicionēšanas sistēmu bāzes ir veikta reālu pozicionēšanas sistēmu (iekārtu) radīšana ar Solid Works programmatūras palīdzību, kā arī veiktā šo sistēmu (iekārtu) reāla izmēģināšana.

Darbs sastāv no ievada, 6 nodaļām, secinājumiem, izmantotās literatūras (24 nosaukumu informācijas avoti), 2 pielikumiem, 119 attēliem, 1 tabulas, kopā 107 lpp.

ANNOTATION

The given work is about optimal control of robotic positioning system, optimizing the existing control systems and developing new methodology of optimal systems control. It also describes positioning system optimization and optimal synthesis theory. It analyzes the problems in synthesis time motion control systems and hybrid control system optimization. The paper contains the modeling of adaptive control systems synthesis and analysis positioning of a phase trajectories: linear, quadratic and cubic. Also described the synthesis of mixed control (adaptive and time initiatives) systems with random parameters, made system models.

The synthesized based positioning system has been made a real positioning system (equipment), in the Solid Works software, as well as carried out by the system (equipment) real testing.

The given work consists of introduction, 6 chapters, conclusion, bibliography (24 sources of information sorted by name), 2 additions, 119 images, 1 table, 107 pages in total.

SATURS

Tēmas aktualitāte.....	8
Darba mērķis un galvenie uzdevumi.....	8
Pētījuma objekts.....	8
Pētījuma hipotēzes.....	9
Zinātniskā novitāte.....	9
Darba praktiskais pielietojums.....	9
Publikācijas.....	9
Darba struktūra un galvenie rezultāti.....	9
Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes.....	10
IEVADS.....	11
1. OPTIMĀLĀS VADĪBAS SINTĒZE.....	12
1.1. Optimālās vadības apskats.....	12
1.1.1. Vadības optimizācijas problēmas.....	12
1.1.2. Optimālās vadības uzdevums.....	13
1.1.3. Variāciju aprēķina klasiskā metode. Kvalitātes kritērijs. Funkcionāls.....	13
1.2. Optimālās sintēzes teorijas apskats.....	15
1.2.1. Uzdevuma iepriekšējā analīze.....	16
1.2.2. Pamata apakšsistēmu optimizācija.....	16
1.2.3. Ideālā likuma analīze.....	19
1.2.4. Sistēmas struktūras sintēze.....	20
1.2.5. Optimālo parametru noteikšana.....	20
1.3. Nodaļas secinājumi.....	21
2. POZICIONĒŠANAS SISTĒMU OPTIMIZĀCIJA.....	23
2.1. Ierobežota spēka necikliskas vadības sistēmas optimizācija.....	23
2.2. Ierobežota spēka cikliskas vadības sistēmas optimizācija.....	26
2.3. Ierobežota spēka divu brīvības pakāpju sistēmas vadības optimizācija.....	29
2.4. Ierobežota spēka un ierobežotas fāzu koordinātes (ātruma) vadības sistēmas optimizācija.....	34
2.5. Ierobežota spēka un ierobežotu fāzu koordinātu cikliskas vadības sistēmas optimizācija.....	34

2.6.	Jauktas vadības (spēka un impulsu) sistēmu optimizācija pie ierobežotām fāzu koordinātēm.....	35
2.7.	Nodaļas secinājumi.....	37
3.	VADĪBAS SINTĒZE ADAPTĪVĀS IEROSMES SISTĒMĀS.....	38
3.1.	Pozicionēšanas vadība pa lineāru fāzu trajektoriju.....	38
3.2.	Pozicionēšanas vadība pa kvadrātisku fāzu trajektoriju.....	42
3.3.	Pozicionēšanas vadība pa kubisku fāzu trajektoriju.....	47
3.4.	Nodaļas secinājumi.....	49
4.	VADĪBAS SINTĒZE JAUKTĀS (ADAPTĪVĀS UN LAIKA IEROSMJU) SISTĒMĀS PIE GADĪJUMA PARAMETRIEM.....	50
4.1.	Vadības sintēze pa lineāru fāzu trajektoriju pie sausās berzes mijiedarbības neholonomā sistēmā.....	50
4.2.	Vadības sintēze pa bilineāru fāzu trajektoriju pie viskozās berzes pretestības spēka gadījuma parametriem.....	53
4.3.	Vadības sintēze pie polinomiālas pretestības spēka un nestacionāras saites reakcijas mijiedarbības.....	55
4.4.	Nodaļas secinājumi.....	58
5.	REĀLU POZICIONĒŠANAS SISTĒMU RADĪŠANA.....	59
5.1.	Planšetes fluorimetr.....	59
5.1.1.	Ierīces pielietojums un darbības princips.....	59
5.1.2.	Ierīces projektēšana Solid Works vidē.....	62
5.1.3.	Fluorimetra vadības mehāniskā shēma.....	65
5.2.	Biočipu robots.....	66
5.2.1.	Robota vispārīgs apraksts.....	66
5.2.2.	Ierīces projektēšana Solid Works vidē.....	68
5.3.	ALA-1/4 daudzkanālu fluorimetr.....	70
5.3.1.	Fluorimetra vispārīgs apraksts.....	70
5.3.2.	Fluorimetra darbība, projektēšana un pozicionēšana.....	71
5.4.	Mikroplašu mazgātājs 3D-IW8.....	75
5.4.1.	3D-IW8 vispārīgs apraksts.....	75
5.4.2.	Mikroplašu mazgātāja darbība shēma, projektēšana un pozicionēšana.....	77
5.5.	Nodaļas secinājumi.....	83

6.	POZICIONĒŠANAS SISTĒMU IZMĒĢINĀŠANA SIA „BIOSAN”	85
6.1.	Planšetes fluorimetra prototips.....	85
6.2.	Robota ierīce.....	86
6.3.	Fluorimetrs ALA-1/4.....	90
6.4.	Inteliwasher 3D-IW8.....	93
6.5.	Nodaļas secinājumi.....	97
7.	KOPĒJIE SECINĀJUMI.....	98
8.	PIELIKUMI.....	100
	LITERATŪRAS SARAKSTS.....	106

Tēmas aktualitāte

Tēmas aktualitāte ir saistīta ar ātras darbības mehatronisku pozicionēšanas sistēmu teorijas un konstrukciju izstrādāšanu, kuras atļauj automatizēt bioloģiskos testu un analīžu veikšanu, kas vairāk kārt (ap 10 reižu) palielina tehnoloģiskā procesa produktivitāti, un aizstāj nogurdinošu cilvēka roku darbu 3-D kustībā (apsekojot ap 100 līdz 200 pozīciju vienā testā).

Darba mērķis un galvenie uzdevumi

Darba mērķis ir radīt principiāli jaunus, ātras darbības 2-D (divu dimensiju) un 3-D (trīs dimensiju) biočipu sistēmu robotizētus izpildmehānismus (aktuatorus), pilnveidojot mašīnu un mehānismu optimālās sintēzes teoriju pozicionēšanas jomā.

Galvenie uzdevumi ir:

1. Veikt esošo pētījumu analīzi par optimālo vadības sintēzi;
2. Pilnveidot esošo metodi un izstrādāt jaunu metodiku pozicionēšanas sistēmu optimizācijai ar impulsu un jauktu ierosmi pie vadības fāzu koordinātu ierobežojumiem;
3. Izstrādāt metodiku vadības sintēzei adaptīvās ierosmes sistēmās, pielietojot atgriezeniskās saites kā fāzu koordinātu funkcijas;
4. Papildināt adaptīvās vadības teoriju ar vadības sintēzi jauktās (adaptīvās un laika ierosmju) sistēmās pie gadījuma parametriem;
5. Uz sintezēto pozicionēšanas sistēmu bāzes veikt reālu pozicionēšanas sistēmu (iekārtu) radīšanu ar Solid Works programmatūras palīdzību SIA „Biosan”;
6. Veikt pozicionēšanas sistēmu (iekārtu) izmēģināšanu SIA „Biosan” un pārbaudīt teorētisko pētījumu validāciju eksperimentāli.

Pētījuma objekts

Pētījuma objekts ir robotizētu pozicionēšanas sistēmu izpildmehānismu optimālā vadība, optimizējot esošās vadības sistēmas, kā arī izstrādājot jaunu sistēmu vadīšanu metodiku.

Pētījuma hipotēzes

Galvenās pētījumu hipotēzes ir šādas:

1. Robotu dinamikas analīzes uzdevumos pielietojama klasiskās mehānikas (Ņūtona) teorija, ietverot arī objektu sadursmes (triecienus);
2. Robotizētos izpildmehānismos kā aktuātoru vadības iedarbības iespējams izmantot trīs veida mijiedarbības: spēka ierosmes; impulsu ierosmes; jauktas ierosmes (kopā spēka un impulsu ierosmes).
3. Sintezējot robotizēto mehānismu kustības (ģenerēšanā un bremsēšanā) pielietojamas sausās berzes, viskozās pretestības un nelineārās pretestības mijiedarbības;
4. Objektu trieciena mijiedarbību modelēšanā pielietojami stereomehānikas modeļi.

Zinātniskā novitāte

Darba novitāte ietver pētījumus robotizēto izpildmehānismu sintēzes jomā (pozicionēšanā). Kā parāda autora ziņojumi starptautiskās konferencēs, optimālās sintēzes teorija robotizēto mehānismu optimizācijā un reālu objektu sintēzē, pasaules praksē tiek pielietota pirmo reizi.

Darba praktiskais pielietojums

Darba praktiskais pielietojums ietver reālu robotizēto izpildmehānismu izgatavošanu un eksperimentālo pārbaudi. Daļa no pozicionēšanas robotiem pārdoti ASV, kā arī citās valstīs.

Publikācijas

Par darba tematiku ir sagatavotas 10 publikācijas, no tām 5 ir citējamās izdevumos. Darbs ziņots 12 starptautiskās konferencēs Latvijā, Lietuvā, Polijā, Čehijā, Krievijā.

Darba struktūra un galvenie rezultāti

Darbs sastāv no literatūras apskata, 6 nodaļām un secinājumiem, kopā 107. lpp.

Darba galvenie rezultāti ir šādi:

1. **Pilnveidota metode** pozicionēšanas sistēmu optimizācijā ar spēka ierosmi;
2. Izstrādāta **jauna metode** pozicionēšanas sistēmu optimizācijā **ar impulsa ierosmi**;
3. Izstrādāta **jauna metode** pozicionēšanas sistēmu optimizācijā **ar jauktu** (spēka un impulsa) **ierosmi**;

4. Uz programmas MathCad bāzes **izstrādātas 6** vadības uzdevumu sintēzes **programmas**, kuras pielietojamas inženieru sintēzes uzdevumu aprēķinos;
5. Teorētiski **sintezētas** jaunu robotizētu izpildmehānismu (aktuātoru) vadības iekārtas, uz kuru bāzes iespējams radīt jaunas ātrdarbīgas pozicionēšanas iekārtas;
6. Ar Solid Works programmatūru **izprojektēti un nodoti ražošanā reāli vadības mehānismi** un robotizētas iekārtas, kas pārbaudīti eksperimentāli, un, kuri darbojas ASV un citās valstīs.

Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes

1. Robotu dinamikas sintēzes uzdevumos pielietojama klasiskās mehānikas teorija.
2. Pozicionēšanas aktuātoru vadības ģenerēšanai iespējams izmantot trīs veida mijiedarbības (spēka, impulsa un jauktas darbības).
3. Objektu trieciena mijiedarbību modelēšanā pielietojami stereomehānikas modeļi.

IEVADS

Rīgas Tehniskajā universitātē, Mehānikas institūtā, prof. Egona Lavendēļa vadībā 1965. gadā aizsākās jaunas Mašīnu un mehānismu dināriskās sintēzes teorijas radīšana. Šajā darbā plaši iesaistījās arī prof. Jānis Vība, kas šo teoriju paplašināja uz vibrotreciena sistēmu sintēzi. Pēdējo trīs gadu laikā šī teorija veiksmīgi tika pielietota starptautiskā 7. ietvara projekta „FILODSE” – zemūdens robota izstrādē. Daļa no šīm izstrādēm tieši saistīta ar robotizēto izpildmehānismu vadības sintēzi šajā darbā.

Tāpat kā ar „FILODSE” projektu, arī šis darbs ir balstīts uz reālu robotizēto izpildmehānismu izgatavošanu un eksperimentālo pārbaudi, kas balstās uz mehānismu optimālās sintēzes teoriju pozicionēšanas jomā. Tie ir ātras darbības 2-D (divu dimensiju) un 3-D (trīs dimensiju) robotizēti izpildmehānismi, ar dažādām vadības sarežģītības pakāpēm. Aplūkojamās ierīces ir:

- vienkānāla planšetes fluorimetrs (divu dimensiju sistēma);
- biočipu robots (ļoti augstas precizitātes trīs dimensiju sistēma);
- daudzkanālu fluorimetrs ALA-1/4 (inovatīva iekārta, kas balstās uz rotējošu punktu pozicionēšanu);
- mikroplašu mazgātājs 3D-IW8 (atsevišķu mezglu darbība veidojot trīs dimensiju sistēmas tipa ierīci).

Šīs ierīces tika projektētas (Solid Works programmatūrā), izgatavotas un izmēģinātas uzņēmumā „Biosan”.

Optimizējot esošās vadības sistēmas, tika pētīta robotizētu pozicionēšanas sistēmu izpildmehānismu optimālā vadība un izstrādātas jaunas sistēmu vadīšanas metodikas, kā arī papildināta adaptīvās vadības teorija ar vadības sintēzi jauktās (adaptīvās un laika ierosmju) sistēmās pie gadījuma parametriem. Sistēmas ir modelētas datorprogrammā MathCad.

Šis darbs saistīts ar ļoti lielu praktisko nozīmi. Vadības metodikas balstās uz reālām pozicionēšanas iekārtām, apvienojot teorētisko un praktisko kopā. Rezultātā ir veiksmīgi radītas robotizētas ierīces, kas ir kā neatņemama sastāvdaļa palīgā cilvēkam darbā biomedicīnas laboratorijās.

Tāpat arī ir liels apjoms dažādu darbu par robotizētu iekārtu vadību, kas izklāstīti dažādās konferencēs un publicēti dažādos žurnālos. Daži to piemēri minēti 1 pielikumā[24].

1. OPTIMĀLĀS VADĪBAS SINTĒZE

1.1. Optimālās vadības apskats

1.1.1. Vadības optimizācijas problēmas

Elektrisko piedziņu optimālās vadības uzdevumiem ir divas nozīmīgi atšķirīgas nostādnes. Pirmā no tām attiecas uz tā saucamo stabilizācijas uzdevumu, kurā tiek apskatīts vadāmo mehānismu uzvedība nostabilizējošā režīmā vai novērošanas režīmā. Otra attiecas uz vadības procesiem, kuros darbojošais mehānisms pāriet no viena stāvokļa otrā, pie nosacījuma, sasniedzot maksimumu (minimumu) kaut kādam, iepriekš uzdotam kvalitātes kritērijam. Šo otro pieņemts saukt par optimālās vadības uzdevumu.

Ja pirmais uzdevums noved pie regulatora sintēzes un tā optimālo parametru izvēles, tad otrs liek sev mērķi vadības likuma meklēšanu funkcijas laikā (programmējamā vadība) vai fāzu koordinātu funkcijas vadītajai sistēmai. Tajos gadījumos, kad kustības nosacījumi prasa optimālo vadību, ievēdot sistēmu stabilizācijas apgabalā, uzdevumu var sadalīt divās daļās un risināt tās atsevišķi.

Izcelsim pamata uzdevumus elektrisko piedziņu optimālajai vadībai: optimālais ātrdarbības uzdevums pie neierobežotiem zudumiem piedziņas sistēmā un optimālo ātrdarbības uzdevumu pie nosacījuma, ka piedziņas sistēmas zudumi iepriekš reglamentējas. Abos gadījumos papildus var tikt uzlikti ierobežojumi kā uz vadošo iedarbību, tā arī uz fāzu koordinātu sistēmu (ātrums, enkura ķēdes strāva, ierosmes u.c.). Īpaši izdalīta ir sistēmas parametru optimizācija: motors – reduktors – mehānisms, kas pie vienlaicīgas optimālo vadības parametru realizācijas ļauj īstenot darbojošā mehānisma maksimālo ātrdarbību.

Ierobežojumi, pielietojami elektromotoru darba režīmā.

Vispirms elektriskie dzinēji, skatoties uz tiem no ekspluatācijas puses un režīmu vadības puses, ir jāsadala divās kategorijās:

1. Elektriskie dzinēji, kuros nerodas pārkaršana elektrisko zudumu dēļ (zudumus uz berzi var neievērot) un darba režīmi nereglamentējas ar uzkaršanu.
2. Elektriskie dzinēji, kuros elektriskie zudumi var būt tik lieli, ka tos vajadzētu ierobežot ar atbilstošu vadības režīmu.

Abos gadījumos elektriskie zudumi tiks noteikti ar strāvas enkura ķēdes kvadrātu, kura maksimālās vērtības noteiktas komutācijas sākuma nosacījumos.

Otrs elektriskais lielums, kurš ierobežo motora un ģeneratora darbību ir spriegums EDS enkura ķēdē.

Skatoties uz motora mehāniskās noturības nodrošinājumu var tikt ierobežots griezes moments uz motora ass un maksimāli pieļaujamie apgriezieni.

Momenta, ātruma un paātrinājuma ierobežojumi var tikt pielikti gan no piedziņas mehānisma puses, kā no viņa mehāniskās noturības, tā arī no nepieciešamo darba režīmu nodrošinājuma puses. [18]

1.1.2. Optimālās vadības uzdevums

Atkarībā no mehāniskās ierīces pielietojuma var tikt sastādīti visdažādākie vadības uzdevumi. Tomēr vispopulārākie mehānismu vadības režīmi ir:

1. Darbojošajam mehānismam ir jāpārvietojas no viena stāvokļa otrā (pozicionējošais pārvietojums).

2. Darbojošajam mehānismam ir minimālajā laikā jāieskrienas līdz uzdotajam ātrumam vai pēc iespējas ātrāk jānobremzē (dotajā gadījumā mainīt ātrumu).

3. Izpildīt doto uzdevumu pēc iespējas īsākā laika periodā.

Tajā gadījumā kad var ignorēt ierobežojumu uz uzsilšanu, optimālo vadības uzdevumu var formulēt sekojošā veidā: nepieciešams izstrādāt doto vadības uzdevumu pārvietojumam (pāriet no viena ātruma citā vai izpildīt uzdoto uzdevumu) pēc iespējas īsākā laikā ar ierobežojumiem, kas attiecas uz spriegumu enkura ķēdē, ātruma un vadības ierosmi uz ģeneratora, un motora ierosmes ķēdi. [18]

1.1.3. Variāciju aprēķina klasiskā metode. Kvalitātes kritērijs. Funkcionāls

Optimālās vadības uzdevumu var traktēt kā ekstremālā lieluma (minimuma vai maksimuma) meklēšanas uzdevumu kādos kvalitātes kritērijos, kuru mēs pieņemama kā mehāniskās sistēmas pāreju no viena stāvokļa otrā. Turpat pārejas procesa laiks var arī nebūt vadības kvalitātes kritērijs. [18] Tā, piemēram, sintezējot regulējamās sistēmas var novērtēt procesa kvalitāti regulēšanai ar viduskvadrāta novirzi regulējamam $x(t)$ no uzdotā lieluma $x_0(t)$:

$$J = \int_{t_0}^{t_1} (x(t) - x_0(t))^2 dt. \quad (1.1)$$

Šo izteiksmi varam apskatīt kā kāda mainīgā lieluma funkciju, kas pati ir laika funkcija, un tādēļ pieņemtais kvalitātes kritērijs ir funkcija no funkcijas, un to pieņemts saukt par funkcionālu J . Variāciju aprēķina uzdevums novedas pie tādas realizējamas funkcijas $x(t)$ meklēšanas, kurā funkcionāls iegūs ekstremālo vērtību. Savukārt pārejas procesa raksturs $x(t)$ pilnībā nosakās ar vadības likuma izvēli regulējamā sistēmā. Vadības likums, kur funkcionālim J tiks piemērota maksimālā vērtība, pieņemts saukt par optimālu. Optimālas vadības meklēšanas uzdevumam var būt visdažādākās nostādnes. Tā, piemēram, var meklēt vadību, kura noteiktā laikā $t_1 - t_0$ piedziņas sistēma pārved no viena stāvokļa otrā, pie tam, minimizējot elektriskos zudumus dzinēja enkura ķēdē. Tad minimizējamais funkcionāls būs:

$$J = \int_{t_0}^{t_1} i_e^2(t) r_e dt. \quad (1.2)$$

kur i_e – strāva enkura ķēdē; r_e – pretestība enkura ķēdē.

Optimālās ātrdarbības uzdevumā, kur piedziņas sistēma pāries no viena stāvokļa otrā minimālā laika periodā, minimizējamais funkcionāls būs laiks:

$$T = \int_{t_0}^{t_1} 1 dt. \quad (1.3)$$

Kvalitātes kritērija izvēle ir atkarīga no prasībām, kas ir izvirzītas piedziņas sistēmai.

Daudzos gadījumos zemintegrāļa funkcijas pieņemtais funkcionāls var ietvert gan fāzu koordinātes vadības sistēmai, gan pašas vadības. Piemēram, minimizējot visus elektriskos zudumus ģeneratora - dzinēja piedziņas tipa sistēmai minimizējošajam funkcionālim, var pieņemt:

$$J = \int_{t_0}^{t_1} (i_e^2(t) r_e + u_1^2 r_{i.g} + u_2^2 r_{i.dz}) dt, \quad (1.4)$$

kur $r_{i.g}$ – ģeneratora ierosmes ķēžu pretestība;

$r_{i.dz}$ – dzinēja ierosmes ķēžu pretestība

u_1, u_2 – ģeneratora un dzinēja ierosmes strāvas, pieņemtas par vadības ierosmēm. [18]

Šajā gadījumā funkcionāla zemintegrāļa funkcija var būt atkarīga no visas vadības sistēmas fāzu koordinātām $x_1, \dots, x_n$, visām vadības ierosmēm $u_1, \dots, u_r$ un laiku t :

$$\begin{aligned} J &= \int_{t_0}^{t_1} F(t, x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r) dt = \\ &= \int_{t_0}^{t_1} F(t, x, u) dt. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Variāciju aprēķina vienkāršākais uzdevums ir atrast funkciju $x(t)$, kas atbild par funkcionāla minimizēšanu:

$$J = \int_{t_0}^{t_1} F(t, x, \dot{x}) dt. \quad (1.6)$$

Pieņemam, ka meklējamā funkcija $x(t)$ ir nepārtraukta un tai ir nepārtraukts pirmās kārtas atvasinājums visā integrēšanas posmā ar patstāvīgajām robežām t_0 un t_k .

Šī uzdevuma risinājums noved pie Eilera vienādojuma risinājuma:

$$\frac{\partial F}{\partial x} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{x}} \right) = 0. \quad (1.7)$$

Neapstājoties pie risinājumu metodēm, kas ir plašākas variāciju metodēm, atzīmēsim arī trūkumus klasiskajām variāciju aprēķina metodēm.

Pirmkārt, uzdevuma risinājums noved pie diferenciālvienādojumu risināšanas, kuri, kā likums, ir arī nelineāri.

Otrkārt, funkcijai $x(t)$, kura atsevišķos gadījumos tiks meklēta ar vadības ierosmi, ir jāattiecas uz nepārtrauktu un neierobežotu funkciju iedalījumu. Turpretī reālajos uzdevumos uz vadības ierosmi gulstas dažādi ierobežojumi un pieļaujas pirmās kārtas pārrāvums (piemēram, reālā vadība). Principiāli abi nosacījumi var tikt piefiksēti, bet tie padara uzdevumu grūti atrisināmu.

Treškārt, ja arī izdodas atrisināt Eilera vienādojumus, nav zināms vai atrastā funkcija $x(t)$ atbilst funkcionāla minimumam, un, ja atbilst, tad vai tas ir absolūtais minimums.

Ceturtkārt, gadījumos, kad zemintegrāļa funkcija atbilst lineārajai funkcijai no $t, x, \dot{x}$, Eilera vienādojumus sastādīt neizdodas, kur tajā pašā laikā uzdevuma risinājums var eksistēt. Neskatoties uz grūtībām ir atrisināta virkne elektrisko dzinēju optimālās vadības uzdevumu, kas arī radīja interesi par daudz sarežģītākiem uzdevumiem. [18]

1.2. Optimālās sintēzes teorijas apskats

No optimālās sistēmas algoritma ir noteikts, ka vibrotriecienu optimālo sintēzi ir mērķtiecīgi realizēt šādā secībā: uzdevuma iepriekšējā analīze; galvenās apakšsistēmas optimizācija; ideālā likuma analīze; struktūrshēmas sintēze; optimālo parametru noteikšana. Šī secība var tikt izmainīta ar atkārtotu atgriešanos no struktūrshēmas sintēzes uz galvenās apakšsistēmas optimizāciju, ja, piemēram, iegūtā struktūrshēma ļoti stipri atšķiras no sākuma apakšsistēmas shēmas. Tālāk apskatīsim katru etapu atsevišķi. [3]

1.2.1. Uzdevuma iepriekšējā analīze

Vispirms tiek noskaidrotas procesu pamatsakarības, kuru vadība sākotnēji tiek izmantota vibrotrieciena parādībai. Kuru rezultātā tiek noskaidrots optimālais kritērijs K . Piemēram, vibrotransportācijā kā optimāli kritiskie punkti tiek pieņemts vidējais maksimālais ātrums pie transportēšanas ($K=V_{sp}$). Pie balstu, cauruļu un citu elementu dzīšanas paņēmiena - maksimālā sitienu frekvence ir $K=1/T$, pie vibrāciju norimšanas – apakšsistēmas minimālais solis ir $K=2A$.

Dotajā sintēzes etapā kopējā sistēmas shēma nav zināma. Tāpēc tiek izvēlēta tikai konkrēta pamata apakšsistēma, bet pārējo elementu iedarbība, ieskaitot triecienus, nosacīti tiek attiecināti uz vadību u vai S . Sakarā ar to eksistē trīs apakšsistēmas vadības tipi: spēku, impulsu un jauktā vadība.

Nemot vērā, ka pirmajā etapā vajag nodrošināt sintēzei nepieciešamo norobežojumu, kurš nepieļauj optimālo kritēriju bez robežu paaugstināšanu, piemēram, norobežojums uz vadību moduļiem $|u| \leq u_0$ vai $|S| \leq S_0$, vai papildus norobežojumus, kurus pēc kaut kādiem noteikumiem vajadzētu izmantot. Sakarā ar trīs vadību tipiem parādās jauni ierobežojumi, kā maksimālo impulsu daudzums $z \leq z_0$, pēc iespējas mazākā laika gaitā $T \geq T_0$ u.c. Ierobežojumi var būt arī izmantoti uz fāzu koordinātu sistēmu, piemēram, hidrauliskajās piedziņās tiek norobežots cilindra kustības ātrums $|\dot{x}| \leq v_0$, bet transportieriem čaulas gājiena soli $|\dot{x}| \leq A_0$. [3]

1.2.2. Pamata apakšsistēmu optimizācija

Pirmajā etapā iegūtie dati atļauj noformēt sekojošus optimālos vadības uzdevumu: noteikt no visām pieļaujamām vadībām u un S_i dotos diapazonos (1.8)

$$u \subset u_0, \quad S_i \subset S_0, \quad (1.8)$$

pāriet uz apakšsistēmu apakšsistēmai

$$\dot{x} = f(t, x, u) + \frac{S_i}{m} \delta(t - t_j), \quad (1.9)$$

pārejot no sākotnējā stāvokļa x_0 un beigu stāvokli x_l , tādu, kurš piedod optimizācijas kritērijam

$$K = \int_{t_0}^{t_1} f_0(t, x, u, S_j, t_j) dt, \quad (1.10)$$

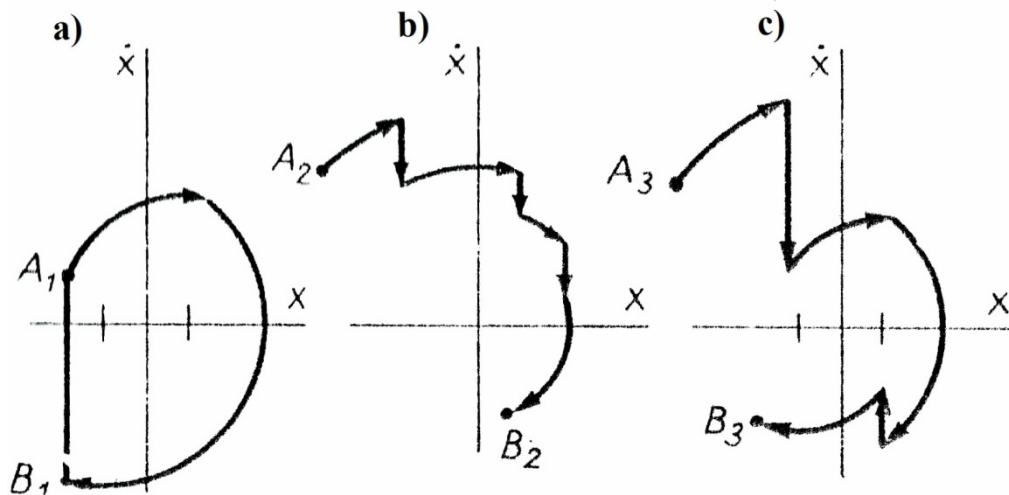
minimālo (vai maksimālo) iespējamo vērtību, ja ir papildus ierobežojumi

$$z \leq z_0; \quad \tau \geq \tau_0; \quad |\dot{x}| \leq v_0; \quad |x| \leq A_0. \quad (1.11)$$

kur z, τ – triecienu impulsu vērtības un to sekošanas laiks, z_0, τ_0, v_0, A_0 – ierobežojumi.

Pie šīs sistēmas aprēķina ir svarīgi ievērot vibrositienu īpašības.

Ja tiek tikai izmantota spēka vadība ((1.8) – (1.11) pie $S_j = 0$), tad uzdevums tiek rēķināts ar jebkuru optimālās vadības piemēroto teorijas metodi: pēc Pontrjagina maksimuma principa, ar variācijas izskaitļošanas aparāta palīdzību, ar momentu metodi vai arī ar citiem paņēmieniem (1.1. att. a).



1.1. att. Ātrums atkarībā no pārvietojuma.

Ja ir impulsīvā vai arī jauktā vadība, tad uzdevuma aprēķins tiek apgrūtināts tā, ka tiek fiksēti sitiena impulsi S_j (īpaši pasīvie, tas ir, formulējumi pie ķermeņu sadursmes citam pret citu, kā arī ar ierobežojumiem) un papildus jāievēro ierobežojumi (1.11) optimalitātes kritērijam K , kuram piemīt sarežģīta struktūra (1.10).

Sakarā ar dotajiem apstākļiem, tiek piedāvāta risinājuma meklēšanas metode priekš impulsu vadības ($u=0$), kura tiek pamatota ar pirmās variācijas izmantošanu optimizācijas kritērijam δK . Uzdevumu risina šādā veidā (1.1. att. b). [3]

Sākumā tiek integrēti apakšsistēmas kustības vienādojumi laika robežās $t_{j-1} < t < t_j$ starp impulsiem S_j . Tālāk tiek savienotas fāžu trajektorijas (no sākuma punkta t_0 , uz beigu punktu t_1 , kā arī šķēlumu punktos t_j), sastādot vadības vienādojumus fāžu trajektorijai un impulsiem S ar robežnosacījumiem, papildinot tos ar vienu vienādojumu kritērija K noteikšanai (1.10).

Tā kā vispārīgā gadījumā optimālie kritēriji iziet visās noteiktajās vadībās, tām ir sekojoša struktūra:

$$\varphi_i(K, a_1, \dots, a_s, b_1, \dots, b_r) = 0, \quad (1.12)$$

$$i = 1, 2, \dots, (s+1),$$

kur $a_1, \dots, a_s$ – atkarīgie parametri, kuru skaits ir vienāds s robežnoteikumu skaitam; $b_1, \dots, b_r$ – neatkarīgie, t.i., noteiktie parametri, kuru skaits ir vienāds ar r . Neatkarīgie parametri b pie impulsu vadības parādīsies impulsi S_j , viņu skaits būs z un viņu sekošanas laiks būs $t_j - t_{j-1} = \tau_j$ utt.

Tālāk seko sistēmas variācija (1.12) transcendentālos vienādojumos. Tad mēs iegūstam nākamo sistēmu $(s+1)$ lineāru nevienmērīgu variācijas parametru vienādojumu:

$$\frac{\partial \varphi_i}{\partial K} \delta K + \sum_{m=1}^s \frac{\partial \varphi_i}{\partial a_m} \delta a_m = - \sum_{n=1}^r \frac{\partial \varphi_i}{\partial b_n} \delta b_n, \quad (1.13)$$

$$i = 1, 2, \dots, (s+1),$$

kur: δ – atbilstošo parametru variācijas. No sistēmas (1.13) kā ar parastiem lineāriem vienādojumiem var noteikt optimālo kritēriju variāciju δK kā neatkarīgo funkciju parametru variāciju:

$$\delta K = B_1 \delta b_1 + \dots + B_n \delta b_n + \dots + B_r \delta b_r. \quad (1.14)$$

No tā ir zināms, ka koeficienti B_n ir atkarīgi no koeficientiem a_m un neatkarīgo b_n parametriem (1.13).

Tālāk meklējot optimālo impulsa vadību iegūstam nākošo procedūru.

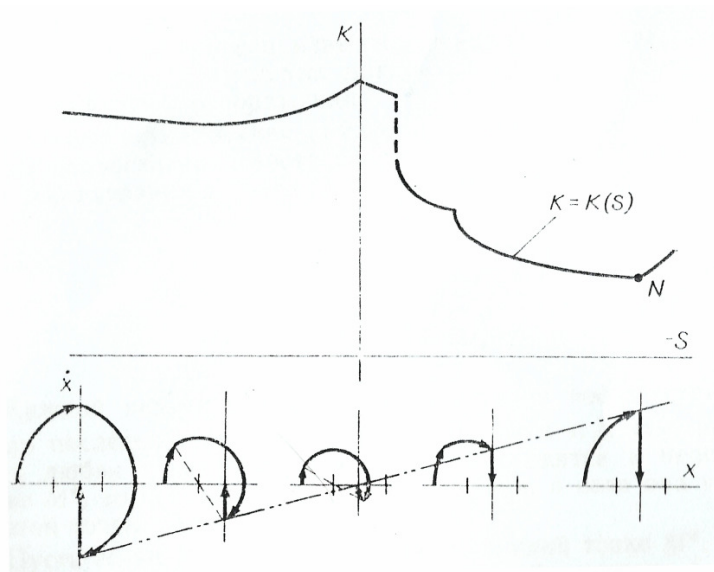
Ja kritērijiem $K=K(a_1, \dots, a_s, b_1, \dots, b_r)$ nav pārvumu vai laužumu punktu un viņu ekstremālās vērtības atrodas ierobežojumu iekšpusē, tad no vienādojuma (1.14) pie $\delta K = 0$ noskaidrojam nepieciešamos optimālos nosacījumus: [3]

$$B_n = 0; \quad n = 1, 2, \dots, r. \quad (1.15)$$

Dotais gadījums ir labi izskaitļots matemātiskajā analizē. Priekš tā nosacījumus (1.15) var iegūt bieži vien vieglāk, t.i., ieviest Lagranža reizinātājus. Ja kritēriji K neapmierina augstākminētos nosacījumus, tad priekš optimālās vadības meklēšanas ir nepieciešams izmantot koeficientus B_n un variāciju δK . Piemēram, koeficients B_j pie nenoteiktās variācijas δb_j ir negatīvs un tajā skaitā tiek meklēti arī minimālie kritēriji K . Tad vajadzētu no telpas pārvietot izejošos punktus no parametriem $a_n, b_n (m=1, \dots, s; n=1, \dots, r)$ paralēli asij esošos mainīgos b_j uz pozitīvo pusi līdz tam brīdim, kamēr nepienāks pārmaiņu ierobežojums vai arī no lecošiem pārmaiņu koeficientiem B_j uz pretējiem (piemēram, 1.2. attēlā punkts N). Ja

koeficients ir pozitīvs tad visu darbību ir jāveic pretējā virzienā, tādā veidā var iegūt impulsīvās vadības uzdevuma risinājumu.

Priekš jauktās vadības (1.1. att. c) var rekomendēt optimālās meklēšanas risinājuma metodi, kuras sākumā noteikta spēka vadība $u=u(t)$ starp impulsiem S_j (piemēram, pēc Pontrjagina maksimuma principa) kā funkciju robežnosacījumiem, un pēc tam jāizskata optimizācijas parametru uzdevumi. [3]



1.2. att. Vibrotransportiera ātrums atkarībā no pārvietojuma.

1.2.3. Ideālā likuma analīze

Otrajā etapā iegūtie optimālās sintēzes likumi ne vienmēr realizējami reālās sistēmās, tāpēc viņus ir pieņemts saukt par ideālajiem likumiem. No viņu analīzes pirmkārt iegūstam nozīmīgu sistēmas atzīmi, to ideālo robežu, bet tas nav svarīgi. Svarīgi ir tas, ka ideālais likums kalpo kā pamata punkts jaunām struktūru shēmām nesubjektīvā sintēzē. Pēc tā rakstura var identificēt apmēram tās vietas shēmā, kurās spēj projicēt apmēram to punktu vai kustību izejas apakšsistēmā. Šeit arī noslēdzas optimālās sintēzes ideja. [3]

1.2.4. Sistēmas struktūras sintēze

Dotajā etapā izmanto sintēzes ideālā likuma analīzes rezultātus, tuvāko zināmo darbojošos shēmu darbības principus, uzskaitīts objektu skaits kopējā sistēmā, sakaru struktūra, paņēmieni, kā noformēt iekšējo un ārējo iedarbību utt..

Vēlreiz tiek atzīmēts, ka vibrotriecienu sistēma pēc darbību principa dalās 3 grupās:

- autosvārstību sistēmas, kuras vadību sintezē kā funkciju no fāžu koordinātēm;
- iedarbība uz sistēmu, kurās vadību sintezē kā laika funkciju;
- jauktās sistēmas, kuras izmanto abu pirmo vadību kopdarbību.

Pateicoties sistēmas atgriezeniskai saitei, autosvārstību sistēmas pašas iestādās un pašas koriģējās, kas nodrošina stabilu vibrotriecienu režīmu. Pie to trūkumiem jāpieskaita, ka ir vajadzīgs speciāls enerģijas avots ar periodisku darbību, kā arī nepieciešama speciāla vadības aparatūra.

Laika iedarbības sistēmas tiek plaši izmantotas mūsdienu tehnikā (piemēram, sistēmās ar centrālā dzinēja, virzuļa, elektromagnēta u.c. vibratoriem). Sistēmas galvenais trūkums ir tas, ka neeksistē atgriezeniskās saites, lai stabilizētu vibrosvārstību kustību.

Jauktajās sistēmās pamatu vadība var būt veidota kā funkcija no laika, bet kā palīgvadība, pēc signāla ko dod atgriezeniskā saite. Šīs sistēmas ir ļoti perspektīvas.

Jauno shēmu sintēzes process tiek realizēts diezgan vienkārši (tiek izvēlēti sistēmas elementi un realizēta vadības regulatora sintēze), bet brīžiem ir nepieciešams vairāk pieredzes darba pētījumam un ir skaidrs, ka ir daudzas neatrisinātas problēmas. [3]

1.2.5. Optimālo parametru noteikšana

Ja sintezētā shēma pilnībā atspoguļo agrāk iegūtos optimālos likumus, tad šis etaps netiek ņemts vērā, jo viņš neeksistē. Pārējos gadījumos priekš optimālo sistēmu parametru noteikšanas ir jāizmanto šādas metodes:

- tiek piedāvāts augstākminētais precīzā analītiskā metode, kura ir bāzēta uz pirmās optimālās kritēriju variācijas izmantošanu,
- tuvinātā analītiskā metode, kurā parametri nosakās pēc ideālā likuma.
- optimālo parametru noteikšanas metode izmantojot skaitļošanas mašīnas. [3]

1.3. Nodaļas secinājumi

1. Optimālās vadības uzdevumu var traktēt kā ekstremālā lieluma (minimuma vai maksimuma) meklēšanas uzdevumu kādos kvalitātes kritērijos, kuru mēs pieņemama kā mehāniskās sistēmas pāreju no viena stāvokļa otrā.

2. Variāciju aprēķina uzdevums novedas pie tādas realizējamās funkcijas $x(t)$ meklēšanas, kurā funkcionāls iegūs ekstremālo vērtību. Savukārt pārejas procesa raksturs $x(t)$ pilnībā nosakās ar vadības likuma izvēli regulējamā sistēmā.

3. Klasiskajām variāciju aprēķina metodēm ir arī savi trūkumi:

- uzdevuma risinājums noved pie diferenciālvienādojumu risināšanas, kuri, kā likums, ir arī nelineāri;

- funkcijai $x(t)$, kura atsevišķos gadījumos tiks meklēta ar vadības ierosmi, ir jāattiecas uz nepārtrauktu un neierobežotu funkciju iedalījumu;

- ja arī izdodas atrisināt Eilera vienādojumus, nav zināms vai atrastā funkcija $x(t)$ atbilst funkcionāla minimumam, un, ja atbilst, tad vai tas ir absolūtais minimums;

- gadījumos, kad zemintegrāļa funkcija atbilst lineārajai funkcijai no $t, x, \dot{x}$, Eilera vienādojumus sastādīt neizdodas, kur tajā pašā laikā uzdevuma risinājums var eksistēt.

Neskatoties uz grūtībām ir atrisināta virkne elektrisko dzinēju optimālās vadības uzdevumu, kas arī radīja interesi par daudz sarežģītākiem uzdevumiem.

4. Sakarā ar trīs vadību tipiem, parādās jauni ierobežojumi, kā maksimālo impulsu daudzums, pēc iespējas mazāka laika gaitā u.c. Ierobežojumi var būt arī izmantoti uz fāzu koordinātu sistēmām. Ja kritērijiem K nav pārāvumu vai laužumu punktu un viņu ekstremālās vērtības atrodas ierobežojumu iekšpusē, tad no optimālo kritēriju vienādojuma pie $\delta K=0$ noskaidro nepieciešamos optimālos nosacījumus $B_n=0$; $n=1,2, \dots, r$. Šos nosacījumus bieži vien var noteikt vieglāk, ieviešot Lagranža reizinātājus.

5. Priekš jauktās vadības var rekomendēt optimālās meklēšanas risinājuma metodi, kuras sākumā noteikta spēka vadība $u=u(t)$ starp impulsiem S_j kā funkciju robežnosacījumiem, un pēc tam jāizskata optimizācijas parametru uzdevumi. No ideālo likumu analīzes iegūstam nozīmīgu sistēmas atzīmi, to ideālo robežu. Ideālais likums kalpo kā pamata punkts jaunām struktūru shēmām nesubjektīvā sintēzē.

6. Autosvārstību sistēmas, pateicoties sistēmas atgriezeniskajai saitei, pašas iestādās un pašas koriģējās, kas nodrošina stabilu vibrotriecienu režīmu. Pie to trūkumiem jāpieskaita, ka ir vajadzīgs speciāls enerģijas avots ar periodisku darbību, kā arī nepieciešama speciāla

vadības aparātūra. Taču laika iedarbības sistēmu galvenais trūkums ir tas, ka nav atgriezeniskā saite, lai stabilizētu vibrosvārstību kustību.

2. POZICIONĒŠANAS SISTĒMU OPTIMIZĀCIJA

2.1. Ierobežota spēka necikliskas vadības sistēmas optimizācija

Visvienkāršāko optimizācijas uzdevumu sistēmai ar vienu brīvības pakāpi (**soļu dzinējs ar skrūves mehānismu**) var formulēt šādi [1 – 12]: dots pozicionēšanas kustības vienādojums sistēmai **bez atsperes** spēka [11]:

$$m\ddot{x} = P + u, \quad (2.1)$$

kur m – masa;

$\ddot{x}$ – paātrinājums;

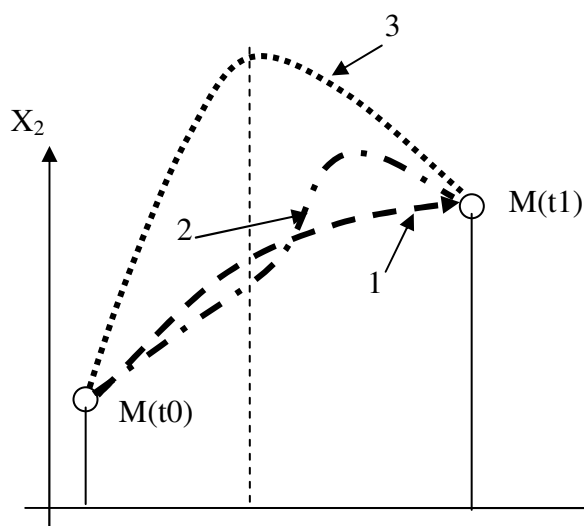
P – konstants spēks (piemēram, sausās berzes pretestība $P = -P_0 \cdot \text{sign}\dot{x}$.);

u – sistēmas (masas) iespējamā vadība.

Jāpārvieto masa fāzu plaknē no stāvokļa $[x(t_0), v(t_0)]$ uz stāvokli $[x(t_1), v(t_1)]$ visātrāk ($t_1 - t_0 = T$), ja vadība ir ierobežota (ātrdarbības uzdevums: $T_{\min}$) (2.1.1. att.) [8 -12]:

$$u_{10} \geq u \geq -u_{11}. \quad (2.2)$$

Šeit u_{10}, u_{11} – pozitīvas konstantes.



2.1. att. Optimizācijas uzdevuma shēma **necikliskā gadījumā** (ar kustības sākuma $M(t_0)$ un gala $M(t_1)$ punktiem). Parādītas neoptimālas trajektorijas 1 un 2. Tuvāk optimālai ir trajektorija 3 (skat. zemāk analīzi).

Izdalot vienādojuma (2.1.) abas puses ar masu m un pārveidojot, iegūstam fāzu plaknē šādus divus pirmās kārtas vienādojumus:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2; \\ \dot{x}_2 &= U,\end{aligned}\tag{2.3}$$

kur apzīmēts

$$U = \frac{P+u}{m}.\tag{2.4}$$

Pielietojot Pontrjagina principu Hamiltonians H ir:

$$H = \psi_0 \cdot 1 + \psi_1 \cdot x_2 + \psi_2 \cdot U\tag{2.5}$$

kur saistītās funkcijas ψ komponentu atvasinājumi pēc laika t ir šādi:

$$\begin{aligned}\dot{\psi}_0 &= 0; \\ \dot{\psi}_1 &= 0; \\ \dot{\psi}_2 &= -\psi_1.\end{aligned}\tag{2.6}$$

Šajā klasiskajā uzdevumā, kas labi pazīstams optimizācijas teorijā, no sistēmas (2.6) atrodam (integrējot):

$$\begin{aligned}\psi_0 &= C0; \\ \psi_1 &= C1; \\ \psi_2 &= -C1 \cdot t.\end{aligned}\tag{2.7}$$

Saskaņā ar Pontrjagina principu, vadībai U jābūt tādai, lai funkcija (2.6) jebkurā laika momentā būtu maksimāla. Tā kā lielums U ir sareizināts ar funkciju ψ_2 , tad atbilde ir sekojoša [11]:

ja

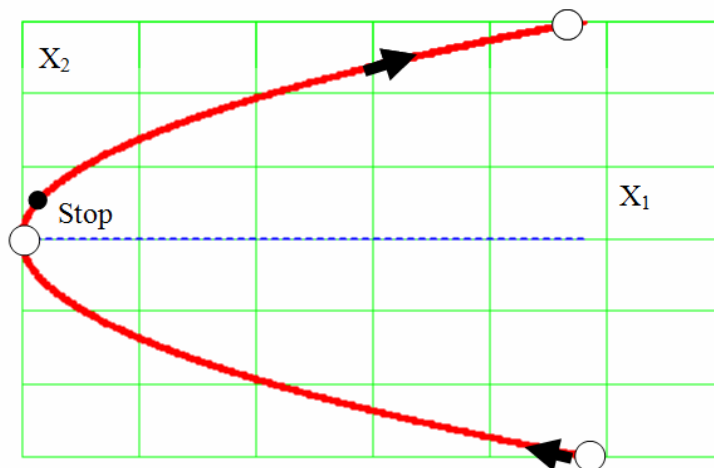
$$\psi_2 > 0, \text{ tad } U = \frac{P+u10}{m},\tag{2.8}$$

vai, ja

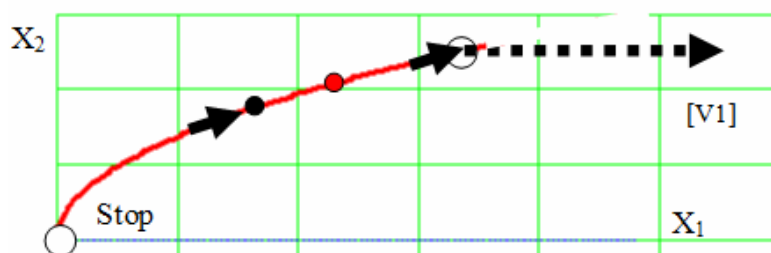
$$\psi_2 < 0, \text{ tad } U = \frac{P-u11}{m}.\tag{2.9}$$

No atrisinājuma (2.7) seko, ka funkcija $\psi_2 = -C1 \cdot t$ ir laikā lineāra un tāpēc **optimālās vadības uzdevumos vadībai U būs tikai viens pārslēguma punkts.**

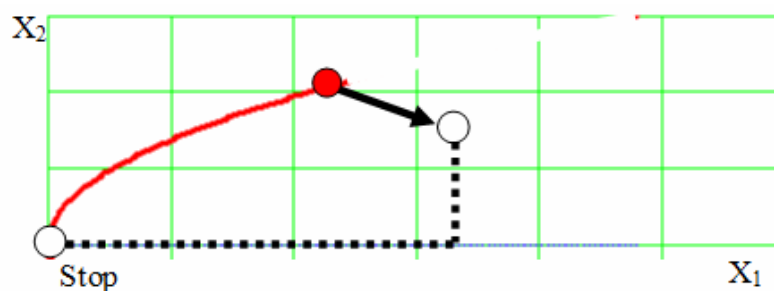
Daži galvenie vadības gadījumi doti 2.2. att. – 2.5. att., ar komentāriem zem katra gadījuma.



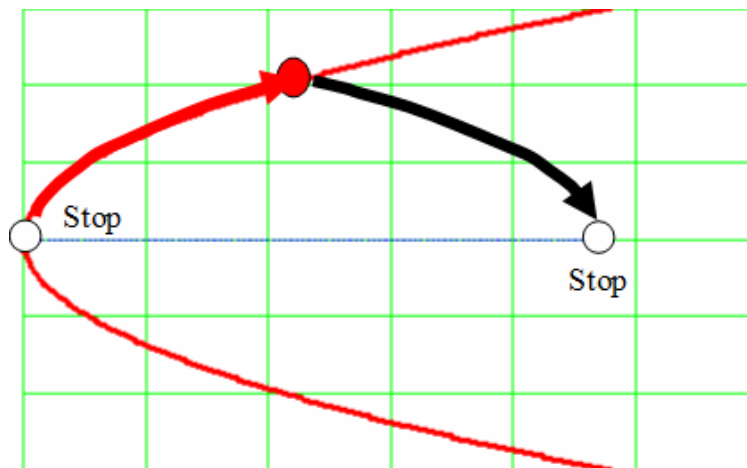
2.2. att. Sistēmai jānobremzējas un pēc tam jāpāātrinās pretējā virzienā bez pāāslēguma. Kustības virziens fāzu plaknē (X_1 , X_2) norādīts ar bultiņām.



2.3. att. Sistēmai no miera stāvokļa jāpāātrinās un jāāāsniedz ātruma ierobeāojums āāākā laika intervālā. Pāāslēgumu nav. Kustības virziens fāzu plaknē (X_1 , X_2) attēlots ar bultiņām.



2.4. att. Viena pāāslēguma vadība pozicionēāšanas mehānismam ieskrieāšanās gadījuma. Pāāslēgāšanās notiek no optimālās trajektorijas uz kvazi optimālu trajektoriju pa taisni, ko iespējams sintezēt kā atgrieāzenisku saiti (skat. zemāk 3. sadaļu).



2.5. att. Tipisks pozicionēšanas gadījums, kad sistēmai jāpārvietojas no viena miera stāvokļa otrā miera stāvoklī, visātrāk. Kustības virziens pa labi parādīts ar bultiņām.

2.2. Ierobežota spēka cikliskas vadības sistēmas optimizācija

Optimizācijas uzdevumu sistēmai ar vienu brīvības pakāpi (**soļu dzinējs ar skrūves mehānismu**) cikliskā kustībā (piemēram, ierīce Washer - skatīta zemāk) var formulēt šādi:

Dots cikliskās pozicionēšanas kustības vienādojums (2.10) (kurā tiek ievērota trīs elementu pretestība - lineāra, kvadrātiska un kubiska – kā mazgātājam ar šķidrumu):

$$H = \psi_0 \cdot 1 + \psi_1 \cdot x_2 + \psi_2 \cdot U \quad (2.10)$$

kur m – masa;

$\ddot{x}$ – paātrinājums;

P – konstants spēks (piemēram, sausās berzes pretestība $P = -P_0 \cdot \text{sign} \dot{x}$.);

b_1 – pretestības spēku konstante, kas ievērotu šķidruma mijiedarbību ar darba orgānu;

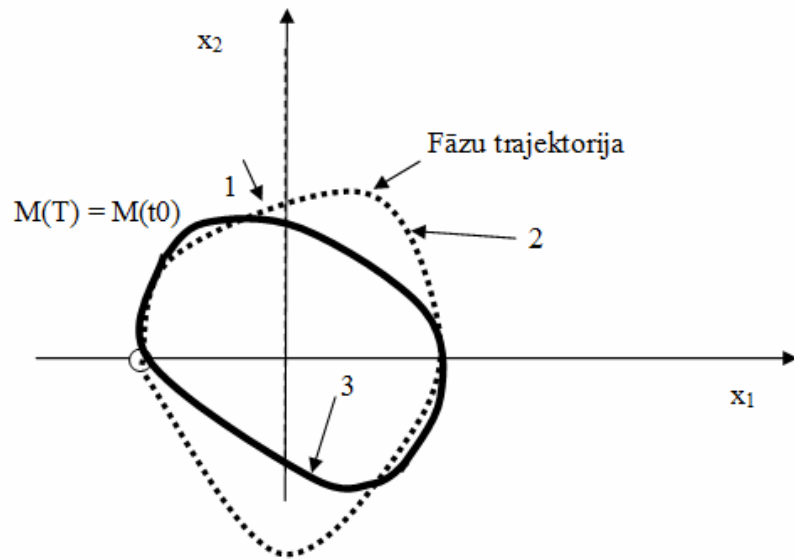
u – sistēmas (masas) iespējamā vadība.

Jāpārvieto masa fāzu plaknē no stāvokļa $[x(t_0), v(t_0)]$ uz stāvokli $[x(T)=x(t_0), v(T)=v(t_0)]$ cikliskā režīmā, ja vadība ir ierobežota (2.11) un optimizācijas kritērijs ir laiks T (2.12):

$$u_{10} \geq u \geq -u_{11}, \quad (2.11)$$

$$T = t_1 - t_2 = \int_{t_1}^{t_2} 1 \cdot dt. \quad (2.12)$$

Šeit u_{10}, u_{11} – pozitīvas konstantes.



2.6. att. Optimizācijas uzdevuma shēma cikliskā gadījumā (ar kustības sākuma $M(t_0)$ un gala $M(t_1)$ punktiem). Parādītas neoptimālas trajektorijas 1 un 2. Tuvāk optimālai ir trajektorija 3 (skat. zemāk analīzi)..

Izdalot vienādojuma (2.10) abas puses ar masu m un pārveidojot, iegūstam fāzu plaknē šādus divus pirmās kārtas vienādojumus:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2; \\ \dot{x}_2 &= -\frac{P_0}{m} \cdot \text{sign} x_2 + U - n_1 \cdot x_2,\end{aligned}\tag{2.13}$$

kur apzīmēts

$$U = \frac{u}{m}.\tag{2.14}$$

Pielietojot Pontrjagina principu, Hamiltonians H ir:

$$H = \psi_0 \cdot 1 + \psi_1 \cdot x_2 + \psi_2 \cdot \left(-\frac{P_0}{m} \text{sign} x_2 + U - n_1 \cdot x_2\right).\tag{2.15}$$

Kur saistītās funkcijas ψ komponentu atvasinājumi pēc laika t ir šādi (šeit pieņemts, ka ātrums kustības posmā nemaina zīmi):

$$\begin{aligned}\dot{\psi}_0 &= 0; \\ \dot{\psi}_1 &= 0; \\ \dot{\psi}_2 &= -\psi_1 + n_1 \cdot \psi_2.\end{aligned}\tag{2.16}$$

Šajā klasiskajā uzdevumā, kas labi pazīstams optimizācijas teorijā, no sistēmas (2.16) seko, ka pirmās divas funkcijas ir laikā konstantas, bet ψ_2 ir eksponente:

$$\begin{aligned}
\psi_0 &= C0; \\
\psi_1 &= C1; \\
\psi_2 &= \frac{1}{n1}(C1 \cdot t + C2 \cdot e^{n1 \cdot t}).
\end{aligned}
\tag{2.17}$$

Saskaņā ar Pontrjagina principu, vadībai U jābūt tādai, lai funkcija (2.15) jebkurā laika momentā būtu maksimāla. Tā kā lielums U ir sareizināts ar funkciju ψ_2 , tad atbilde ir sekojoša:

ja

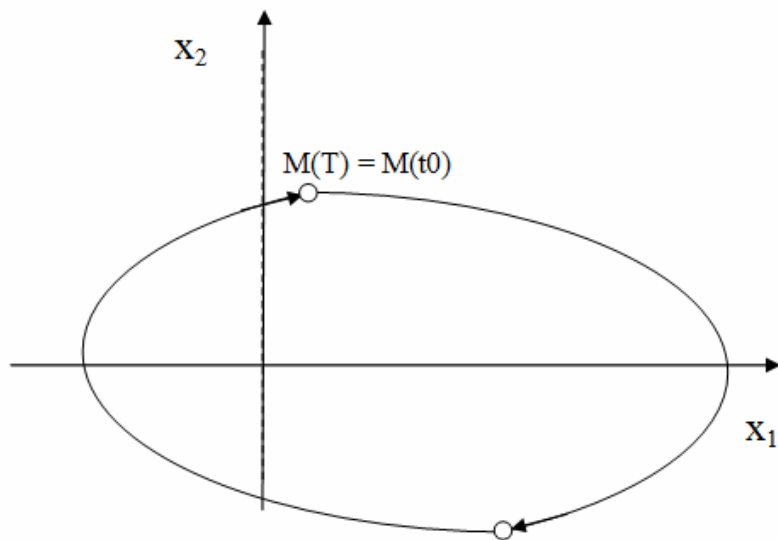
$$\psi_2 > 0, \text{ tad } U = \frac{P + u10}{m}, \tag{2.18}$$

vai, ja

$$\psi_2 < 0, \text{ tad } U = \frac{P - u11}{m}. \tag{2.19}$$

No atrisinājuma (2.17) seko, ka funkcija ψ_2 ir laikā eksponente, un tāpēc optimālās vadības uzdevumos vadībai U būs viens vai divi pārslēguma punkti.

Optimālā trajektorija parādīta 2.7. att.

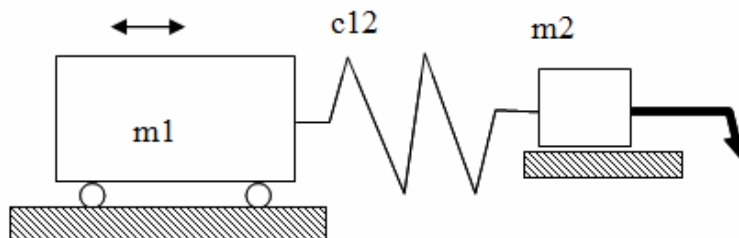


2.7. att. Tipisks optimālās cikliskās pozicionēšanas gadījums, kad sistēmai jāpārvietojas perioda T laikā no sākuma punkta uz priekšu un jāatgriežas atpakaļ (ar vienu pārslēgumu).

Protams, vairākos ciklos notiks arī otra pārslēgšanās - pie sākuma stāvokļa.

2.3. Ierobežota spēka divu brīvības pakāpju sistēmas vadības optimizācija

Optimizācijas uzdevumu sistēmai ar divām brīvības pakāpēm (soļu dzinējs ar elastīgu zobsiksnu) var formulēt šādi:



2.8. att. Soļu dzinēja ar elastīgu siksnu modeļa shēma.

Doti pozicionēšanas kustības vienādojumi:

$$\begin{aligned} m1\ddot{y}_1 &= P1 + u - c12 \cdot (y_1 - y_2); \\ m2\ddot{y}_2 &= P2 + c12 \cdot (y_1 - y_2), \end{aligned} \quad (2.20)$$

kur $m1, m2$ – masas;

$\ddot{y}_1, \ddot{y}_2$ – paātrinājumi;

$P1, P2$ – konstanti spēki (piemēram, sausās berzes pretestība

$P1 = P01 \cdot \text{sign}\dot{y}_1, P2 = P02 \cdot \text{sign}\dot{y}_2$ gravitācijas komponentes);

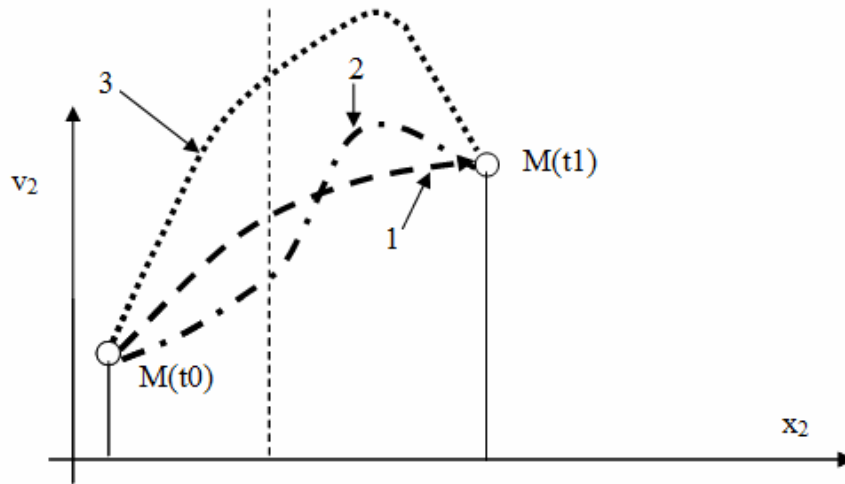
u – sistēmas (masas $m1$) vadība;

$c12$ – elastības koeficients (zobsiksmai).

Jāpārvieta masa $m2$ fāzu plaknē no stāvokļa $[y2(t0), v2(t0)]$ uz stāvokli $[y2(t1), v2(t1)]$ visātrāk, ja vadība ir ierobežota (ātrdarbības uzdevums) (2.9. att.):

$$u10 \geq u \geq -u11. \quad (2.21)$$

Šeit $u10, u11$ – pozitīvas konstantes.



2.9. att. Optimizācijas uzdevuma shēma necikliskā gadījumā (ar kustības sākuma $M(t_0)$ un gala $M(t_1)$ punktiem). Parādītas neoptimālas trajektorijas 1 un 2. Tuvāk optimālai ir viena pārslēguma trajektorija 3 (skat. zemāk analīzi).

Izdalot vienādojumu (2.20.) abas puses ar masām $m_{1,2}$ un pārveidojot, iegūstam fāzu plaknē šādu četru pirmās kārtas vienādojumu sistēmu (t.i., $x_{1,3}=y_{1,2}$):

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2; \\ \dot{x}_2 &= U - p^2(x_1 - x_3); \\ \dot{x}_3 &= x_4; \\ \dot{x}_4 &= C + p^2(x_1 - x_3).\end{aligned}\tag{2.22}$$

Kur apzīmēts

$$U = \frac{P_1 + u}{m_1}; C = \frac{P_2}{m_2}.\tag{2.23}$$

Pielietojot Pontrjagina principu Hamiltonians H ir:

$$H = \psi_0 \cdot 1 + \psi_1 \cdot x_2 + \psi_2 \cdot [U - p^2(x_1 - x_3)] + \psi_3 \cdot x_4 + \psi_4 \cdot [C + p^2 \cdot (x_1 - x_3)]\tag{2.24}$$

No izteiksmes (2.24) izriet, ka **optimālā vadība U ir atkarīga tikai no funkcijas ψ_2 plusa vai mīnusa zīmes**. Tātad, arī šajā gadījumā vadība U būs uz viena no saviem ierobežojumiem.

Saistītās funkcijas ψ komponentu atvasinājumi pēc laika t ir šādi:

$$\begin{aligned}\dot{\psi}_0 &= 0; \\ \dot{\psi}_1 &= -[(\psi_2 \cdot (-p^2) + \psi_4 \cdot p^2)]; \\ \dot{\psi}_2 &= -\psi_1; \\ \dot{\psi}_3 &= -(\psi_2 \cdot p^2 - \psi_4 \cdot p^2); \\ \dot{\psi}_4 &= 0.\end{aligned}\tag{2.25}$$

Šajā uzdevumā no sistēmas (2.25) pakāpeniski atrodam (integrējot):

$$\begin{aligned}
\psi_0 &= C0; \\
\psi_4 &= C4; \\
\ddot{\psi}_2 &= -\dot{\psi}_1, \\
\ddot{\psi}_2 &= +(-p^2 \cdot \psi_2 + C4 \cdot p^2), \\
\psi_2 &= A \cdot \sin(p \cdot t + \alpha) + C2,
\end{aligned} \tag{2.26}$$

kur A , α un $C2$ ir konstantes.

Saskaņā ar Pontrjagina principu, vadībai U jābūt tādai, lai funkcija (2.6) jebkurā laika momentā būtu maksimāla. Tā kā lielums U ir sareizināts ar funkciju ψ_2 , tad atbilde ir sekojoša:

ja

$$\psi_2 > 0, \text{ tad } U = \frac{P1 + u10}{m}, \tag{2.27}$$

vai, ja

$$\psi_2 < 0, \text{ tad } U = \frac{P - u11}{m}. \tag{2.28}$$

No atrisinājuma (2.26) seko, ka funkcija ψ_2 ir harmoniska, ar leņķisko frekvenci p :

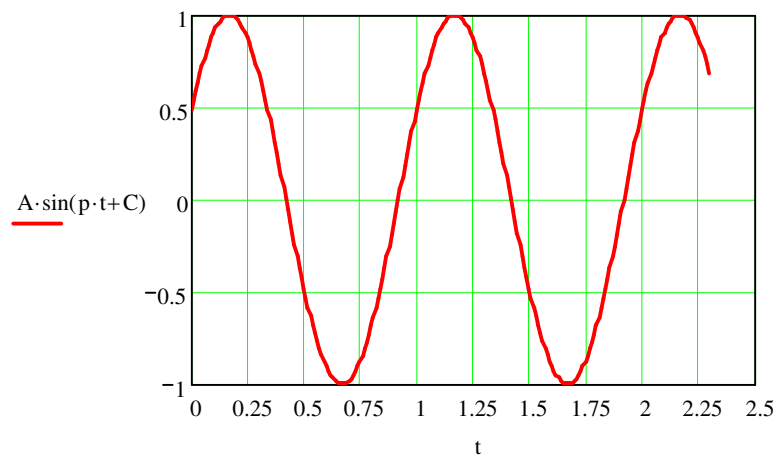
$$\psi_2 = A \cdot \sin(p \cdot t + \alpha) + C2 \tag{2.29}$$

Nonākam pie slēdziena:

1. Dotajā optimālās vadības uzdevumā pārslēgumi kustības vidusdaļā seko ar noteiktu laiku Tu :

$$Tu = \frac{\pi}{p};$$

2. Pirmais un pēdējais kustības posms ir ar īsāku laika intervālu, kā Tu (2.10. att.).



2.10. att. Optimālās vadības pārslēguma grafiks, kā laika funkcija.

Modelēšanas piemērs ar MathCad.

Dotie:

$$m1 := 1; \quad m2 := 1; \quad P0 := 0.1; \quad c12 := 16; \quad p := 1.5;$$

$$n := 0..11000; \quad s := 0.001; \quad u10 := 0.1; \quad u11 := 0.05,$$

kur $m1, m2$ – masa; $p, P0$ – konstanti spēki (piemēram, sausās berzes pretestība); $c12$ – elastības koeficients; n – integrēšanas solis; s – integrēšanas soļa garums; $u10, u11$ – pozitīvās konstantes.

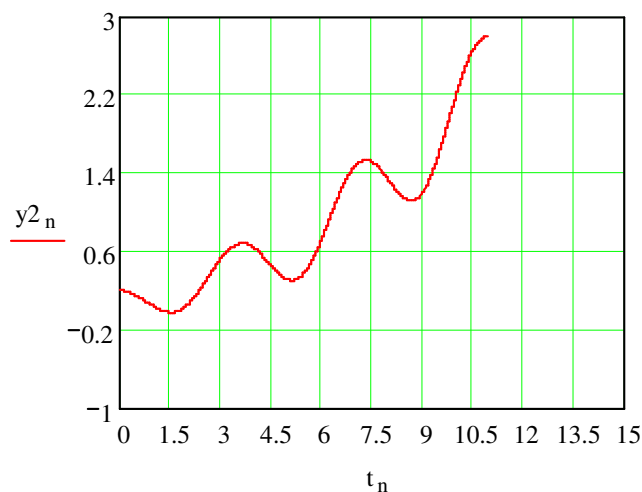
Sākuma nosacījumi:

$$\begin{pmatrix} y1_0 \\ v1_0 \\ y2_0 \\ v2_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.2 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad t_n := n \cdot s$$

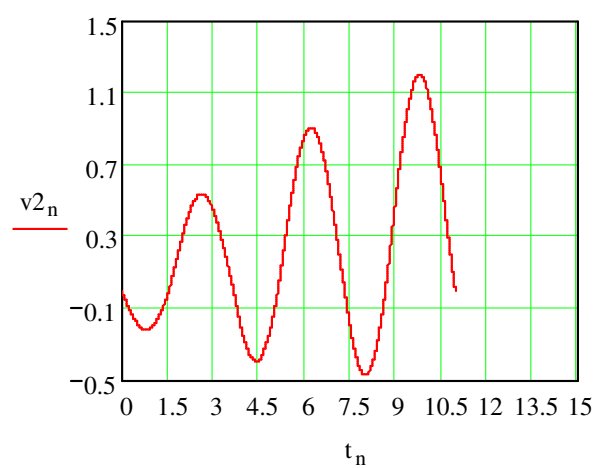
Sastādītie vienādojumi:

$$\begin{pmatrix} y1_{n+1} \\ v1_{n+1} \\ y2_{n+1} \\ v2_{n+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} y1_n + s \cdot v1_n \\ v1_n + \frac{s}{m1} \cdot \left[P0 \cdot [\text{sign}(v1_n) - c12 \cdot (y1_n - y2_n)] + u10 \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(\sin(p \cdot t_n))) \right] \\ y2_n + s \cdot v2_n \\ v2_n + \frac{s}{m1} \cdot [P0 \cdot [\text{sign}(v2_n) + c12 \cdot (y1_n - y2_n)]] \end{pmatrix}$$

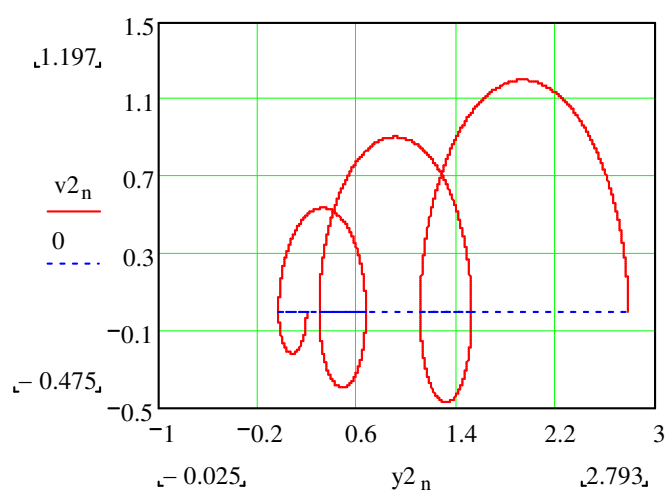
Iegūtie grafiki:



2.11. att. Otrās masas pārvietojuma grafiks laikā t .



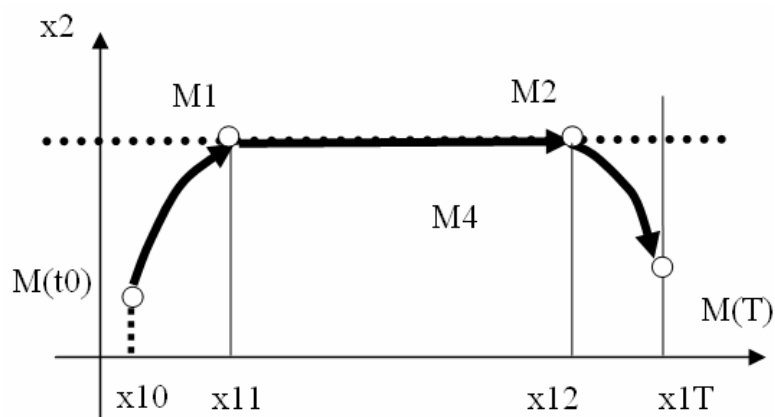
2.12. att. Otrās masas ātruma grafiks laikā t .



2.13. att. Otrās masas kustība fāzu plaknē attēls.

2.4. Ierobežota spēka un ierobežotas fāzu koordinātes (ātruma) vadības sistēmas optimizācija

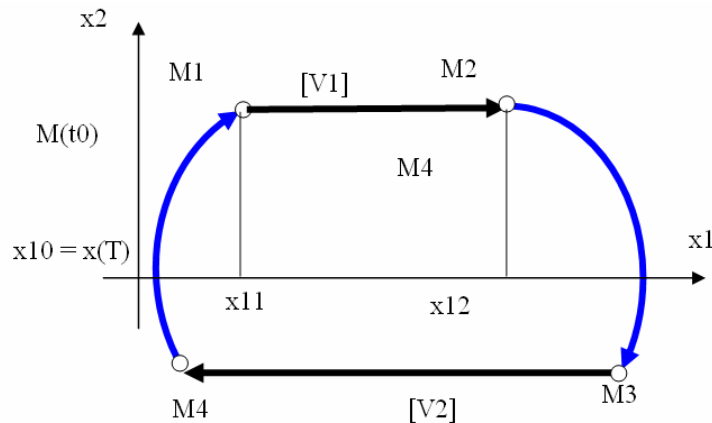
Optimizācijas uzdevums pa posmiem ir līdzīgs iepriekš aplūkotajiem un šeit netiek atkārtots. Vispirms tiek aplūkota izeja uz ierobežojumu, tad nokļūšana no ierobežojuma norādītajā fāzu koordinātu punktā. Optimālās kustības piemērs parādīts 2.14. att.



2.14. att. Optimālā trajektorija fāzu plaknē, ja ir ātruma ierobežojums. Izeja uz ierobežojumu notiek ar maksimālo vadību, attiecīgi pāreja no ierobežojuma uz doto fāzu plaknes punktu notiek ar maksimālo bremzēšanu. Protams, reālās situācijās ir problēma novadīt objektu pa doto trajektoriju, jo parasti ir mainīgi berzes spēki, kas traucē nokļūt vēlamā punktā pa optimālo trajektoriju.

2.5. Ierobežota spēka un ierobežotu fāzu koordinātu cikliskas vadības sistēmas optimizācija

Cikliskās kustības vadīšanas optimizācija ir līdzīga iepriekšējās vadības optimizācijai. Sistēmai ar vienu brīvības pakāpi cikliskās optimālās kustības trajektorija fāzu plaknē parādīta 2.15. att. Komentāri par šo vadību doti zem attēla.

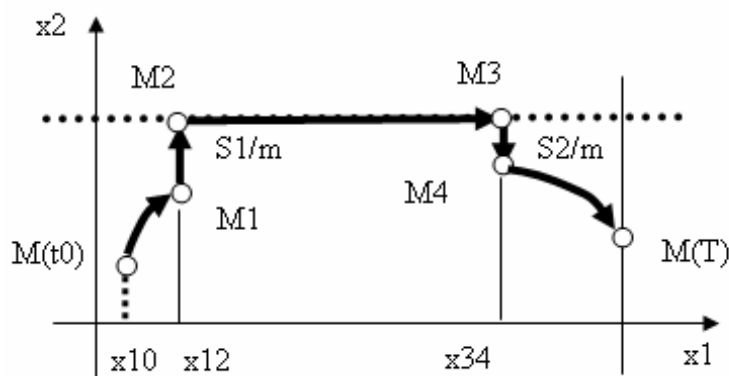


2.15. att. Optimālā trajektorija cikliskā (periodiskā kustībā), kad ir divi ātrumu ierobežojumi ar dažādām vērtībām: kustībai vienā virzienā [V1], pretējā [V2]. Šādai vadībai ir nepieciešama speciāla sintēze fāzu plaknē, jo jā saglabā vadības ieslēgšanās un bremzēšana, pie kam kustībā pa ierobežojumu vadībai jā kompensē pretestības spēki.

2.6. Jauktas vadības (spēka un impulsu) sistēmu optimizācija pie ierobežotām fāzu koordinātēm

Jauktās vadības optimizācijas uzdevuma atrisinājums sastāv no divām daļām: vispirms sadala kustību trajektoriju vairākās daļās, atkarībā no tā, kur pielikti vadības impulsi vai ātruma ierobežojumi; pēc tam pa posmiem atrisina parastos optimizācijas uzdevumus; trešā etapā ar robežu noteikumiem apvieno kustības trajektorijas; pēdējā etapā pielieto saišu variācijas metodi un atrod kopējo optimālo trajektoriju.

Piemērs necikliskā kustībā parādīts 2.16. att.



2.16. att. Piemērs ar spēka ierobežojumu, ar diviem impulsiem un vienu ātruma ierobežojumu. Vadībai posmos $M(t0) - M1$ un $M4 - M(T)$ ir spēka ierobežojums, posmā $M2 - M3$ ir ātruma ierobežojums un vēl ir divi impulsi $S1$ un $S2$, kuriem ierobežotas vērtības.

Saišu vienādojumi 2.16. att. parādītam kustības gadījumam ir:

$$v_{12} = \frac{U_{10}}{m} \cdot t_1 + v_{10}; \quad (2.30)$$

$$x_{12} = \frac{U_{10}}{m \cdot 2} \cdot t_1^2 + v_{10} \cdot t_1 + x_{10}; \quad (2.31)$$

$$V_1 = v_{12} + \frac{S_1}{m}; \quad (2.32)$$

$$x_{34} = V_1 \cdot t_2; \quad (2.33)$$

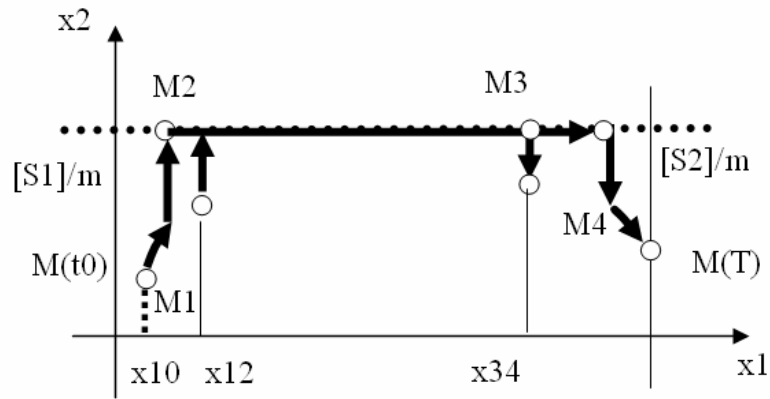
$$x_{34} = V_1 - \frac{S_2}{m}; \quad (2.34)$$

$$v_T = v_{34} - \frac{U_{11}}{m} \cdot t_3; \quad (2.35)$$

$$x_T = v_{34} \cdot t_3 - \frac{U_{11}}{m} \cdot t_3^2 + x_2; \quad (2.36)$$

$$T = t_1 + t_2 + t_3. \quad (2.37)$$

Variējot saišu vienādojumus var atrast optimālo vadības kustību, kura parādīta 2.17. attēlā.



2.17. att. Optimālās vadības atrisinājums: spēka vadība ir uz ierobežojumiem U_{10} , U_{11} .

Tāpat uz ierobežojumiem ir impulsu vadība $[S_1]$, $[S_2]$.

2.7. Nodaļas secinājumi

Šajā nodaļā tika apskatīta pozicionēšanas sistēmu optimizācija, kur tika analizētas ierobežotu spēku, ierobežotu fāzu koordinātu un jauktas vadības sistēmu optimizācijas.

1. Ierobežota spēka necikliskās vadības sistēmas optimizācijā izanalizēts, ka funkcija ψ_2 ir laikā lineāra un tāpēc optimālās vadības uzdevumos vadībai U būs tikai viens pārslēguma punkts. Bet ierobežota spēka un ierobežotu fāzu koordinātu necikliskas vadības sistēmās funkcija ψ_2 ir laikā eksponenta, un tāpēc optimālās vadības uzdevumos vadībai U būs viens vai divi pārslēguma punkti. Ierobežota spēka un ierobežotu fāzu koordinātu cikliskās vadības sistēmās izanalizēts, ka funkcija ψ_2 ir harmoniska, ar leņķisko frekvenci p kā rezultātā vadības uzdevumā pārslēgumi kustības vidusdaļā seko ar noteiktu laiku Tu .

2. Jauktas vadības (spēka un impulsu) sistēmās reālās situācijās ir problēmas novadīt objektu pa doto trajektoriju, jo ir mainīgi berzes spēki, kas traucē nokļūt vēlamā punktā pa doto trajektoriju.

3. Iegūtie optimālās vadības pozicionēšanas kustības likumi (kā laika funkcijas) ir sintezējami fāzu plaknē, lai kustības būtu stabilas - pie sistēmas parametru novirzēm no vidējām vērtībām.

4. Optimālie kustības likumi atļauj novērtēt esošo pozicionēšanas mehānismu darbības efektivitāti (ātrdarbību). Tie atļauj sintezēt tuvu optimāliem likumiem vadības sistēmas ar sensoru un aktuātoru palīdzību, izmantojot datoru (mikrokontrolieri).

3. VADĪBAS SINTĒZE ADAPTĪVĀS IEROSMES SISTĒMĀS

Optimālās sintēzes optimizācijas etapā izvēlētais apakšsistēmas vadība $u = u(t)$ tiek atrasta kā laika funkcija, jo optimizācijas kritērija K variācija tiek meklēta kā laika funkcija: [3]

$$\delta K = f(\delta t) \quad (3.1)$$

kur: δK - optimizācijas kritērija variācija; δt - laika variācija.

Optimizācijas uzdevumos atrastā vadība kā laika funkcija ne vienmēr ir stabila reālajos apstākļos, kā rezultātā sistēmas kustības laikā rodas traucējumi. Tāpēc iegūtā vadība jārealizē fāzu plaknē ar atgriezeniskām saitēm.

Apskatīsim dažādas vadības sintēzes pa dažādām galvenajām sintēzes trajektorijām – lineāru, kvadrātisku un kubisku.

Vispārējā gadījumā izsakot sintēzes trajektoriju ātrumam V kā koordinātes X funkciju, iegūstam šādus trīs vienādojumus:

1. *Lineārā (taisnes) gadījumā:*

$$V = C_0 + C_1 \cdot X; \quad (3.2)$$

2. *Kvadrātiskā (parabolas) gadījumā:*

$$V = C_0 + C_1 \cdot X + C_2 \cdot X^2; \quad (3.3)$$

3. *Kubiskā gadījumā:*

$$V = C_0 + C_1 \cdot X + C_2 \cdot X^2 + C_3 \cdot X^3. \quad (3.4)$$

Koeficientus C_0 , C_1 , C_2 un C_3 jānosaka katram gadījumam atsevišķi, pieskaņojot tos trajektorijas robežnoteikumiem.

3.1. Pozicionēšanas vadība pa lineāru fāzu trajektoriju

Lineārā gadījumā taisne kustības sākumā pie $X=0$ sākas ar vērtību $V(0)$. Taisnei jābeidzas pozicionēšanas vietā $S2$, kad ātrums kļūst negatīvs. Rezultātā iegūstam šos koeficientus kā divu parametru $V(0)$ un S funkcijas:

$$\begin{aligned} \text{Given } V(0) &= C_0 + C_1 \cdot 0 \\ 0 &= C_0 + C_1 \cdot S2 \end{aligned}$$

$$Find (C0, C1) \rightarrow \begin{pmatrix} V(0) \\ -\frac{V(0)}{S2} \end{pmatrix}.$$

Modelēšanas piemēri:

Izveidots sistēmas modelis, t.i. modelēšanas parametri, skaitliskās integrēšanas vienādojumi ar sākuma noteikumiem. Vadībai $u1$ sākumā ir jābūt maksimālai, tad nepārtraukti jāpārslēdzas gar doto taisni un beigās jāatslēdzas, kad ātrums kļūst negatīvs.

Dotie:

$$u1 := 2; \quad S1 := 0; \quad V1 := 0.002; \quad F0 := 0.15; \quad b := 0.001 \quad S2 := 0.05;$$

$$n := 0..1200; \quad s := 0.001; \quad T := 9; \quad m := 1.5;$$

$$s = 1 \times 10^{-3}; \quad t_n := n \cdot s,$$

kur $F0$ – sausā berze; b - viskozā pretestība.

Sākuma nosacījumi:

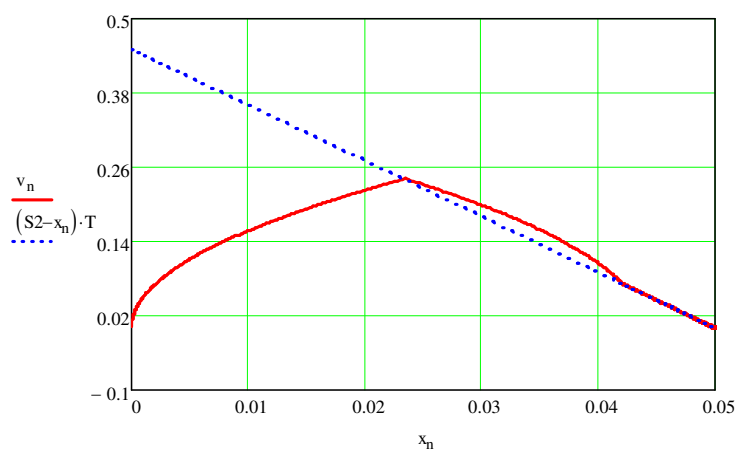
$$\begin{pmatrix} x_0 \\ v_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} S1 \\ V1 \end{pmatrix};$$

Sastādītie vienādojumi:

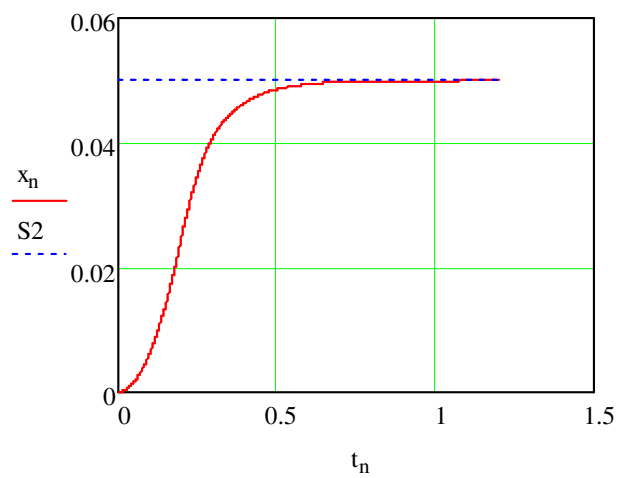
$$\begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} x_n + s \cdot v_n \\ v_n + \frac{s}{m} \cdot [-F0 \cdot \text{sign}(v_n) - b \cdot v_n + u1 \cdot [\text{sign}([(S2 - x_n) \cdot T - v_n]) \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n))]] \end{pmatrix}$$

Modelēšanā ievērota viskozā pretestība un sausā berze. Ar burtu T apzīmēts parametrs $V(0)$, lai nejauktu ar ātrumu dotā momentā vai sākuma ātrumu.

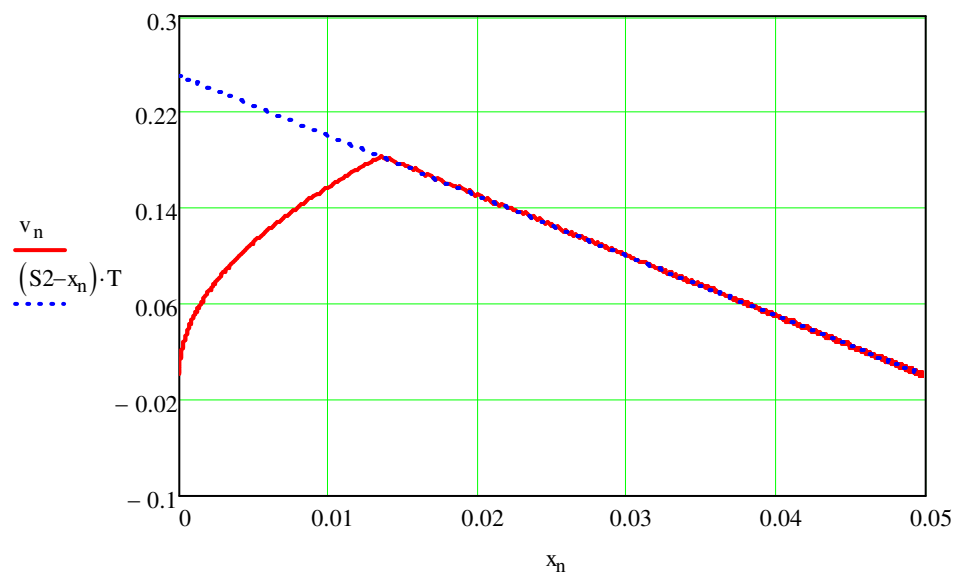
Iegūtie grafiki:



3.1. att. Vadība fāzu plaknē. Redzams, ka vadība ir par mazu. Sistēma nav optimāla.

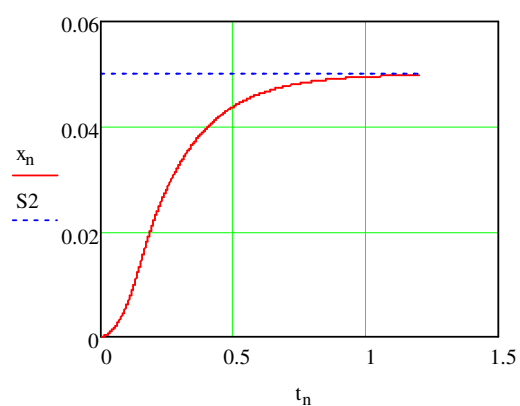


3.2. att. Vadība iziet uz taisnes $S2$ un apstājas.



3.3. att. Vadība fāzu plaknē.

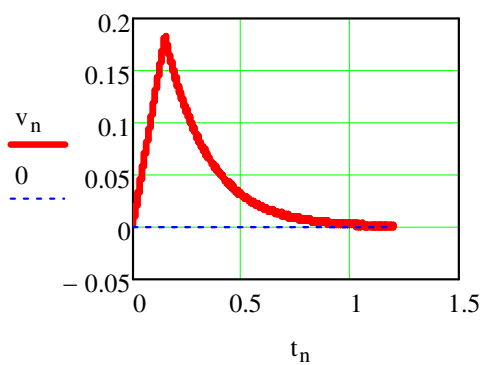
Izpildās sistēmas modeļa nosacījums – sākumā vadība u/l ir maksimāla, tad pārslēdzas uz taisnes skenēšanu. Sistēma ir optimāla.



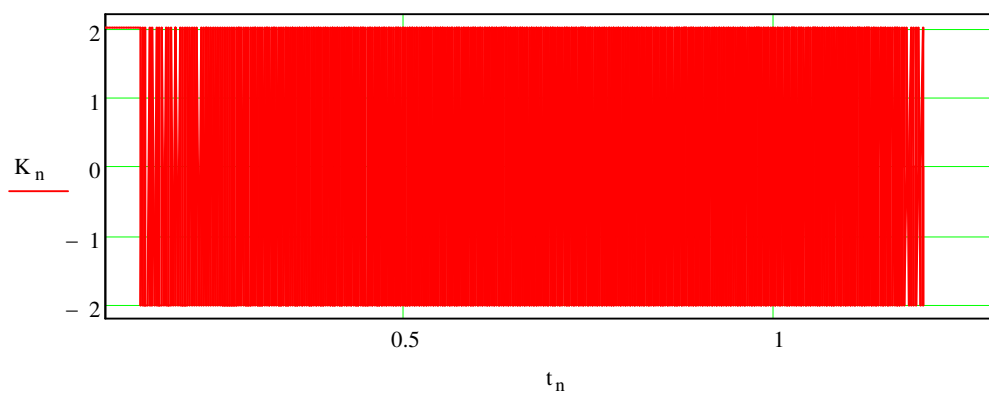
3.4. att. Vadība iziet uz $S2$ taisnes un apstājas.

Vadības funkccija:

$$K_n := u1[\text{sign}[(S2 - x_n) \cdot T - v_n]] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)).$$



3.5. att. Ātrums atkarībā no laika.



3.6. att. Vadība nepārtraukti pārslēdzas.

3.2. Pozicionēšanas vadība pa kvadrātisku fāzu trajektoriju

Kvadrātiskā gadījumā ar simetrisku vadību taisne kustības sākumā pie $X=0$ sākas ar vērtību $V(0)$. Taisnei jāiet pa parabolu un jābeidzas pozicionēšanas vietā $S2$, kad ātrums kļūst negatīvs. Rezultātā iegūstam " C_n " koeficientus kā divu parametru $V(0)$ un S funkcijas (skatīt 3.1. tabulu).

3.1. tabula

Kvadrātiskas parabolas koeficientu aprēķins

Izliekta parabola	Ieliekta parabola
<i>Given</i> $V(0) = C0 + C1 \cdot 0 + C2 \cdot 0$ $0 = C1$ $0 = C0 + C1 \cdot S2 + C2 \cdot S2^2$ <i>Find</i> $(C0, C1, C2) \rightarrow$ $\begin{pmatrix} V(0) \\ 0 \\ \frac{V(0)}{S2^2} \end{pmatrix}$	<i>Given</i> $V(0) = C0 + C1 \cdot 0 + C2 \cdot 0$ $0 = C0 + C1 \cdot S2 + C2 \cdot S2^2$ $0 = C1 + 2 \cdot C2 \cdot S2$ <i>Find</i> $(C0, C1, C2) \rightarrow$ $\begin{pmatrix} V(0) \\ 2 \cdot V(0) \\ \frac{S2}{V(0)} \\ \frac{S2^2}{S2^2} \end{pmatrix}$

Modelēšanas piemēri:

1. Modelis ar ieliektu parabolu.

Izveidots sistēmas modelis, t.i. izvēlēti modelēšanas parametri, skaitliskās integrēšanas vienādojumi, ar sākuma noteikumiem. Modelēšanā ievērota viskozā pretestība un sausā berze. Ar burtu T apzīmēts parametrs $V(0)$, lai nejauktu ar ātrumu dotā momentā vai sākuma ātrumu.

Dotie:

$$\begin{aligned}
 u1 &:= 7; & S1 &:= 0; & V1 &:= 0.002; & F0 &:= 0.15; & S2 &:= 0.05; \\
 n &:= 0.9000; & s &:= 0.001; & T &:= 5; & m &:= 1.5; & b &:= 0.001 \\
 s &= 1 \times 10^{-3}; & t_n &:= n \cdot s,
 \end{aligned}$$

Sākuma nosacījumi:

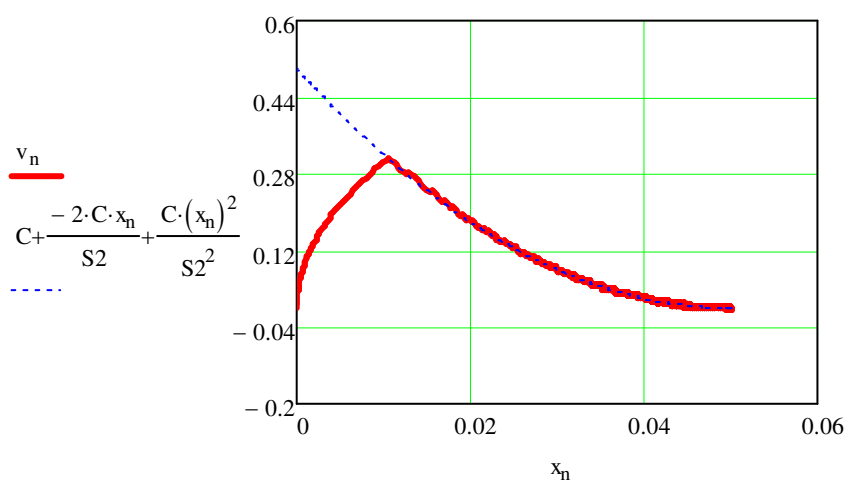
$$\begin{pmatrix} x_0 \\ v_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} S1 \\ V1 \end{pmatrix};$$

Sastādītie vienādojumi:

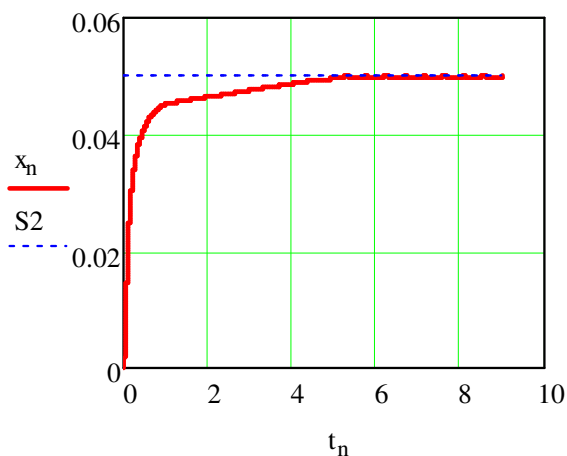
$$\begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} x_n + s \cdot v_n \\ v_n + \frac{s}{m} \cdot \left[-F0 \cdot \text{sign}(v_n) - b \cdot v_n + u1 \cdot \left[\text{sign} \left[\left[C + \frac{-2 \cdot C \cdot x_n}{S2} + \frac{C(x_n)^2}{S2^2} \right] - v_n \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)) \right] \right] \right] \end{pmatrix}.$$

Vadībai $u1$ sākumā ir jābūt maksimālai, tad nepārtraukti jāpārslēdzas gar doto ieliekto parabolu un jāatslēdzas, kad ātrums kļūst negatīvs.

Iegūtie grafiki:



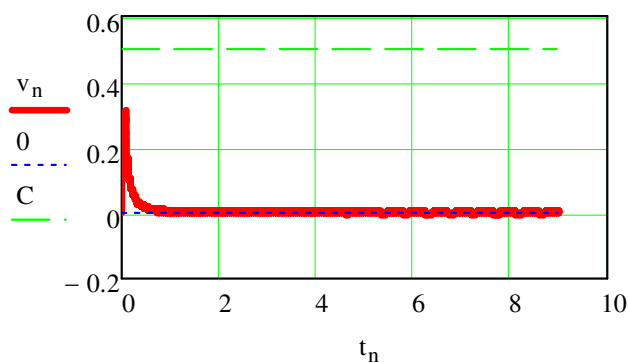
3.7. att. Vadība fāzu plaknē. Sākumā vadība $u1$ ir maksimāla, tad pārslēdzas uz ieliektais parabolas skenēšanu.



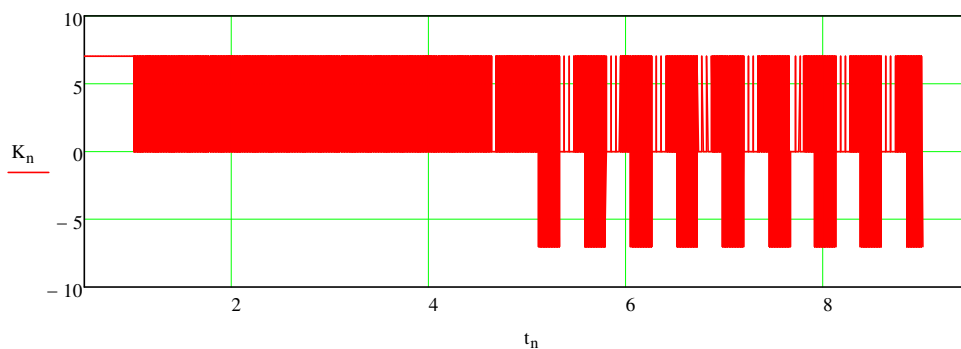
3.8. att. Vadība iziet uz $S2$ taisnes un apstājas.

Vadības funkccija:

$$K_n := u1 \cdot \left[\text{sign} \left[\left[\left[\frac{-C(x_n)^2}{S2^2} + C \right] - v_n \right] \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)) \right].$$



3.9. att. Ātrums atkarībā no laika.



3.10. att. Vadība nepārtraukti pārslēdzas.

2. Modelis ar izliektu simetrisku parabolu.

Izveidots sistēmas modelis, t.i. izvēlēti modelēšanas parametri, skaitliskās integrēšanas vienādojumi ar sākuma noteikumiem. Modelēšanā ievērota viskozā pretestība un sausā berze. Ar burtu T apzīmēts parametrs $V(0)$, lai nejauktu ar ātrumu dotā momentā vai sākuma ātrumu.

Dotie:

$$u1 := 7; \quad S1 := 0; \quad V1 := 0.002; \quad F0 := 0.1; \quad S2 := 0.05; \quad C := 0.5;$$

$$n := 0.600; \quad s := 0.001; \quad T := 5; \quad m := 1.5; \quad b := 0.001;$$

$$s = 1 \times 10^{-3}; \quad t_n := n \cdot s,$$

Sākuma nosacījumi:

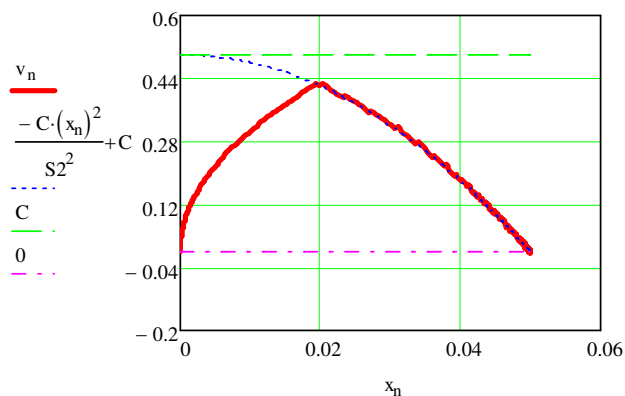
$$\begin{pmatrix} x_0 \\ v_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} S1 \\ V1 \end{pmatrix};$$

Sastādītie vienādojumi:

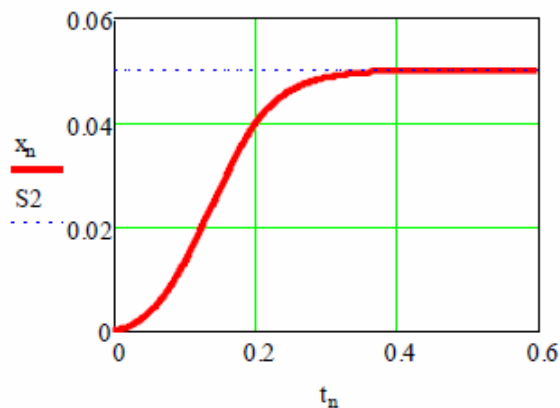
$$\begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} x_n + s \cdot v_n \\ v_n + \frac{s}{m} \cdot \left[-F0 \cdot \text{sign}(v_n) - b \cdot v_n + u1 \cdot \left[\text{sign} \left[\left[\frac{-C \cdot (x_n)^2}{S2} + C \right] - v_n \right] \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)) \right] \right] \end{pmatrix}.$$

Vadībai $u1$ sākumā ir jābūt maksimālai, tad nepārtraukti jāpārslēdzas gar doto izliekto parabolu un jāatslēdzas, kad ātrums kļūs negatīvs.

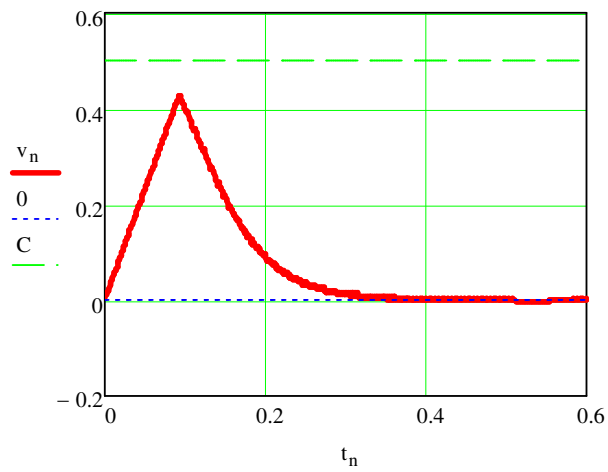
Iegūtie grafiki:



3.11. att. Vadība fāzu plaknē. Sākumā vadība $u1$ ir maksimāla, tad pārslēdzas uz izliektas simetriskas parabolas skenēšanu.



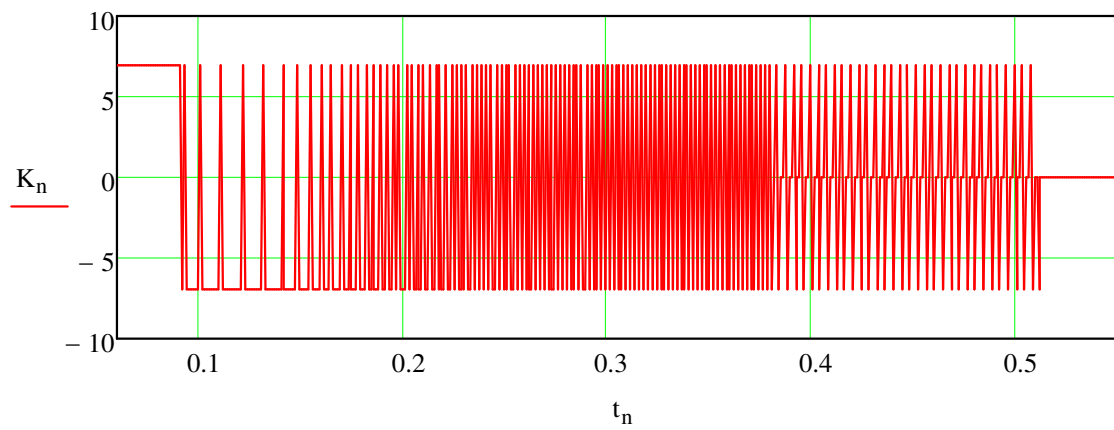
3.12. att. Vadība aiziet līdz $S2$ taisnei un tad apstājas.



3.13. att. Ātrums attiecībā pret laiku.

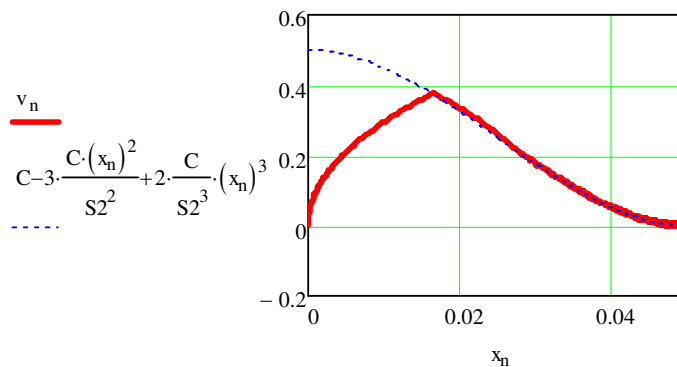
Vadības funkccija:

$$K_n := u1 \cdot \left[\text{sign} \left[\left[\left[\frac{-C(x_n)^2}{S2^2} + C \right] - v_n \right] \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)) \right].$$

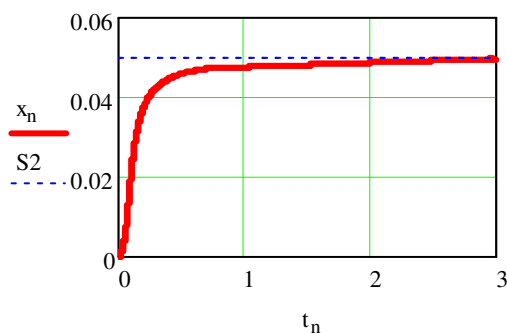


3.14. att. Vadība nepārtraukti pārslēdzas.

Iegūtie grafiki:



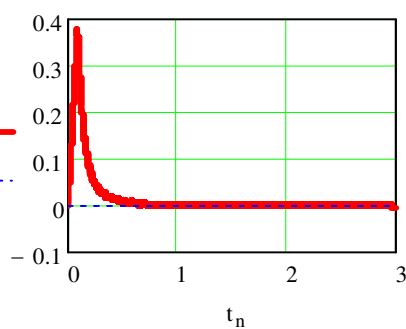
3.15. att. Vadība fāzu plaknē. Sākumā vadība $u1$ ir maksimāla, tad pārslēdzas uz simetriskas kubiskas parabolas skenēšanu.



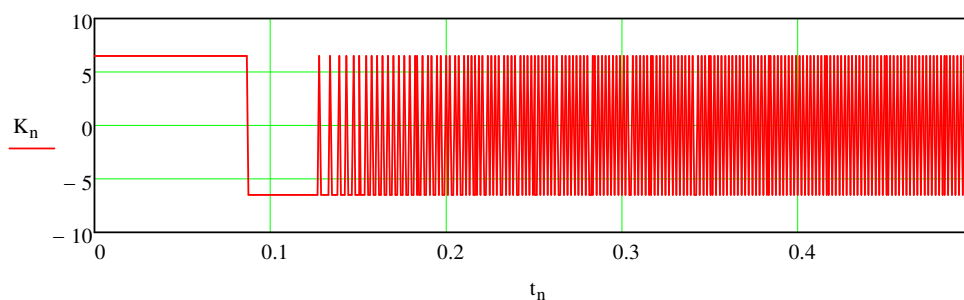
3.16. att. Vadība sasniedz $S2$ taisni un apstājas.

Vadības funkcija:

$$K_n := u1 \cdot \left[\text{sign} \left[\left[\left[C - 3 \cdot \frac{C(x_n)^2}{S2^2} + 2 \cdot \frac{C}{S2^3} (x_n)^3 \right] - v_n \right] \right] \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)) \right].$$



3.17. att. Pārvietojums atkarībā no laika.



3.18. att. Vadība nepārtraukti pārslēdzas.

3.4. Nodaļas secinājumi

Šajā nodaļā tika apskatītas un analizētas vadības sintēzes adaptīvās ierosmes sistēmās.

1. Optimizācijas uzdevumos atrastā vadība kā laika funkcija ne vienmēr ir stabila reālajos apstākļos, kā rezultātā sistēmas kustības laikā rodas traucējumi. Tāpēc iegūtā vadība jārealizē fāzu plaknē ar atgriezeniskām saitēm.

Apskatītas vadības sintēzes pa dažādām galvenajām sintēzes trajektorijām.

2. Pozicionēšanas vadība pa lineāru fāzu trajektoriju vadībai ir jāpieslēdzas taisnei un jāuzsāk tās skenēšana un jāvirzās uz nulles punktu.

3. Pa kvadrātisku fāzu trajektoriju simetriskai vadībai ir ar maksimālu ātrumu jāuzsāk kustību un jāpieslēdzas parabolai. Kvadrātiskā gadījumā pastāv 2 veidu parabolas – ieliekta un izliekta.

4. Kubiskā gadījumā vadībai ir jāuzsāk kustību ar maksimālu ātrumu un pēc tam jāpieslēdzas kubiskai parabolai un jāapstājas pozicionēšanas punktā 0. Šādas sistēmas realitātē ir iespējams nopolizēt pie optimālām trajektorijām.

4. VADĪBAS SINTĒZE JAUKTĀS (ADAPTĪVĀS UN LAIKA IEROSMJU) SISTĒMĀS PIE GADĪJUMA PARAMETRIEM

4.1. Vadības sintēze pa lineāru fāzu trajektoriju pie sausās berzes mijiedarbības neholonomā sistēmā

Izveidots sistēmas modelis. Modelis ar kvadrātisku simetrisku izliektu parabolu ar gadījuma parametriem neholonomā sistēmā. Modelēšanā ievērota viskozā pretestība un sausā berze. Ar burtu T apzīmēts parametrs $V(0)$, lai nejauktu ar ātrumu dotā momentā vai sākuma ātrumu.

Dotie:

$$\begin{aligned} u1 &:= 4.8; & S1 &:= 0; & S2 &:= 0.05; & F0 &:= 0.1; & b &:= 0.01; \\ n &:= 0.500; & s &:= 0.001; & T &:= 5; & C &:= 0.5; & V1 &:= 0.002; \\ s &= 1 \times 10^{-3}; & t_n &:= n \cdot s. \end{aligned}$$

Sākuma nosacījumi:

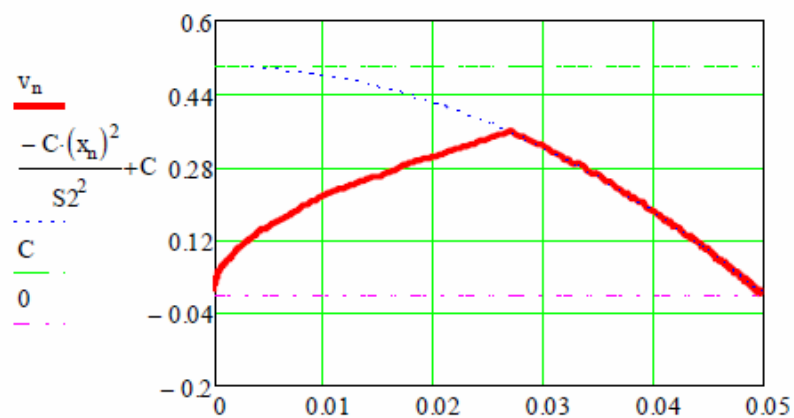
$$\begin{pmatrix} x_0 \\ v_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} S1 \\ V1 \end{pmatrix};$$

Sastādītie vienādojumi:

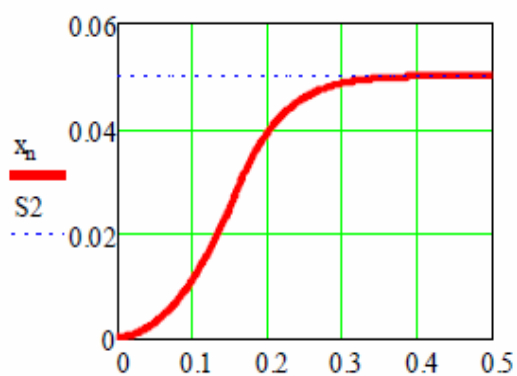
$$\begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} x_n + s \cdot v_n \\ v_n + \frac{s}{m} \cdot \left[-F0 \cdot \text{sign}(v_n) \cdot (1 + \text{rnd}(40)) - b \cdot (1 + \text{rnd}(10)) \cdot v_n + u1 \cdot \right. \\ \left. \cdot \text{sign} \left[\left[\frac{-C \cdot (x_n)^2}{S2^2} + C \right] - v_n \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)) \right] \end{pmatrix}$$

Vadībai $u1$ sākumā ir jābūt maksimālai, tad nepārtraukti jāpārslēdzas gar doto izliekto parabolu un jāatslēdzas, kad ātrums kļūs negatīvs.

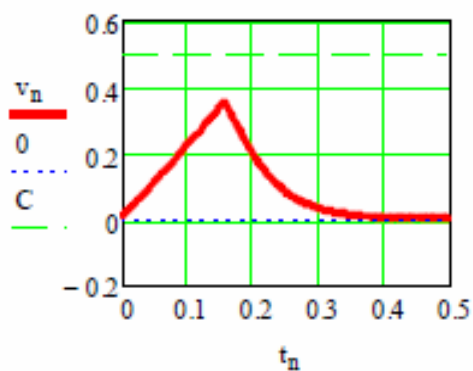
Iegūtie grafiki:



4.1. att. Vadība fāzu plaknē. Sākumā vadība u_1 ir maksimāla, tad pārslēdzas uz izliektas simetriskas parabolas skenēšanu.



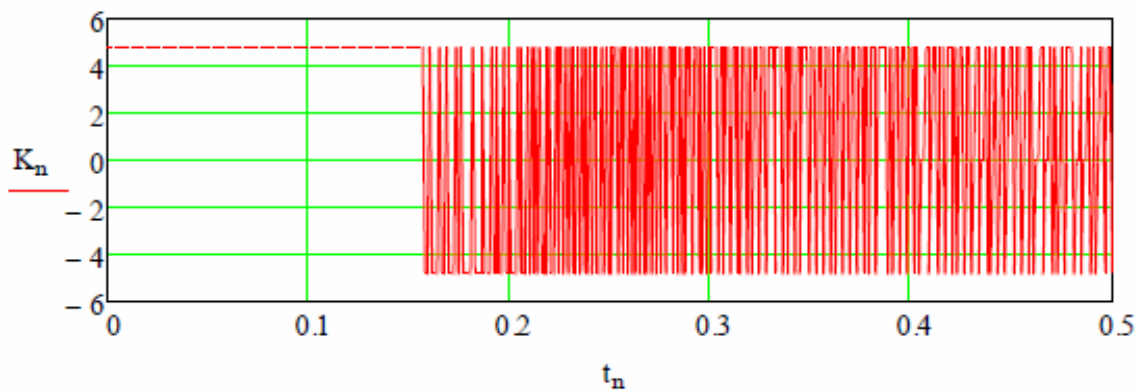
4.2. att. Vadība aiziet līdz S_2 taisnei un tad apstājas.



4.3. att. Ātrums attiecībā pret laiku.

Vadības funkccija:

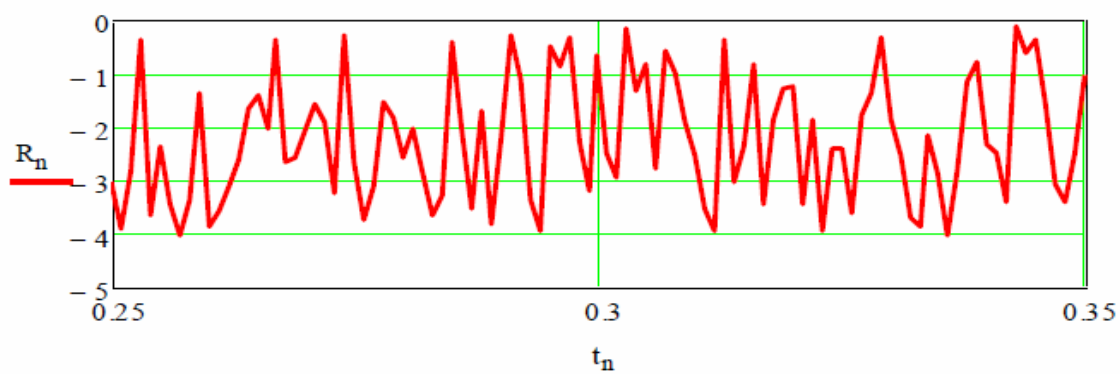
$$K_n := u1 \left[\text{sign} \left[\left[\left[\frac{-C(x_n)^2}{S2^2} + C \right] - v_n \right] \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)) \right].$$



4.4. att. Vadība nepārtraukti pārslēdzas.

Sausas un viskozas berzes funkcija ar gadījuma lielumiem:

$$R_n := -F0 \cdot \text{sign}(v_n) \cdot (1 + \text{rnd}(40)) - b \cdot (1 + \text{rnd}(10)) \cdot v_n.$$



4.5. att. Sausās un viskozas berzes funkcija laikā.

4.2. Vadības sintēze pa bilineāru fāzu trajektoriju pie viskozās berzes pretestības spēka gadījuma parametriem

Izveidots sistēmas modelis. Modelis ar kvadrātisku simetrisku izliektu parabolu ar gadījuma parametriem. Modelēšanā ievērota viskozā pretestība un sausā berze. Ar burtu T apzīmēts parametrs $V(0)$, lai nejauktu ar ātrumu dotā momentā vai sākuma ātrumu.

Dotie:

$$\begin{aligned} u1 &:= 6; & S1 &:= 0; & S2 &:= 0.05; & F0 &:= 0.1; & b &:= 0.01; & V1 &:= 0.002; \\ n &:= 0.51000; & s &:= 0.001; & T &:= 5; & m &:= 1.5; & V3 &:= 0.28; \\ C &:= 0.5; & s &= 1 \times 10^{-4}; & t_n &:= n \cdot s. \end{aligned}$$

Sākuma nosacījumi:

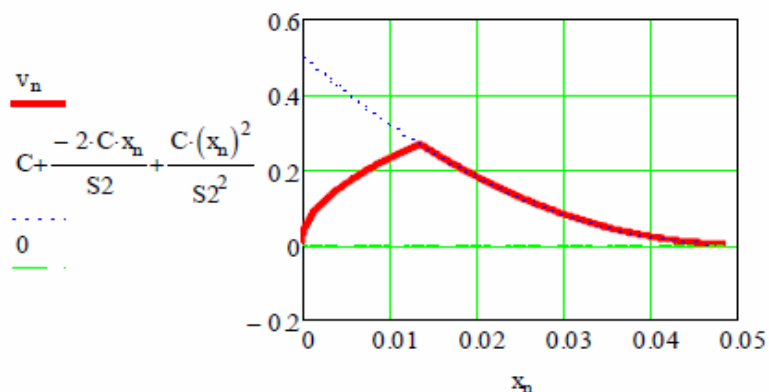
$$\begin{pmatrix} x_0 \\ v_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} S1 \\ V1 \end{pmatrix};$$

Sastādītie vienādojumi:

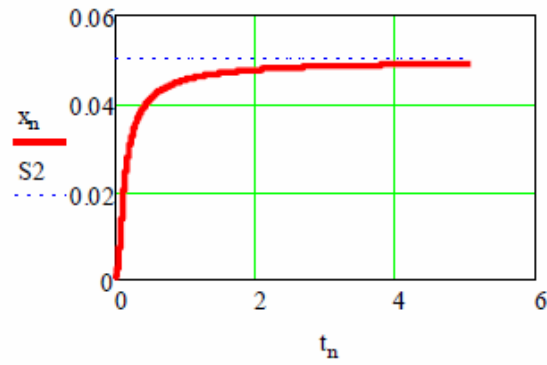
$$\begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} x_n + s \cdot v_n \\ v_n + \frac{s}{m} \cdot \left[\begin{aligned} &-F0 \cdot \text{sign}(v_n) \cdot (1 + \text{rnd}(40)) - b \cdot (1 + \text{rnd}(10)) \cdot v_n + u1 \cdot \\ &\cdot \left[\text{sign} \left[\left[C + \frac{-2 \cdot C \cdot x_n}{S2} + \frac{C \cdot (x_n)^2}{S2^2} \right] - v_n \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)) \right] \cdot \text{sign}(V3 - v_n) \end{aligned} \right] \end{pmatrix}$$

Vadībai $u1$ sākumā ir jābūt maksimālai, tad nepārtraukti jāpārslēdzas gar doto izliekto parabolu un jāatslēdzas, kad ātrums kļūs negatīvs.

Iegūtie grafiki:



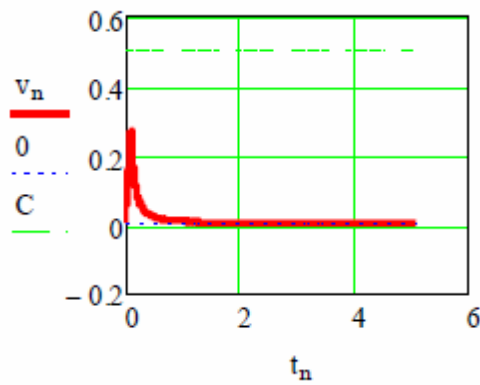
4.6. att. Vadība fāzu plaknē. Sākumā vadība $u1$ ir maksimāla, tad pārslēdzas uz izliektas simetriskas parabolas skenēšanu. Vadība apstājas pie negatīva ātruma.



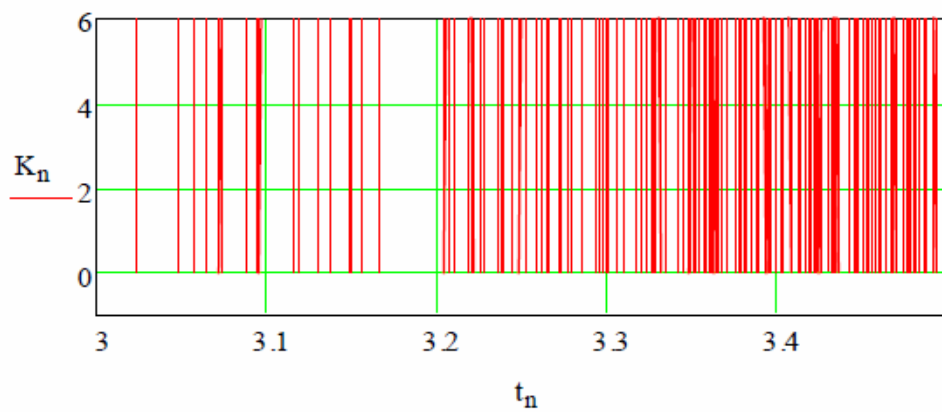
4.7. att. Simetriska vadība iziet uz ieliektu parabolu $S2$ un apstājas.

Vadības funkccija:

$$K_n := u1 \left[\text{sign} \left[\left[\left[\frac{-C(x_n)^2}{S2^2} + C \right] - v_n \right] \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)) \right].$$



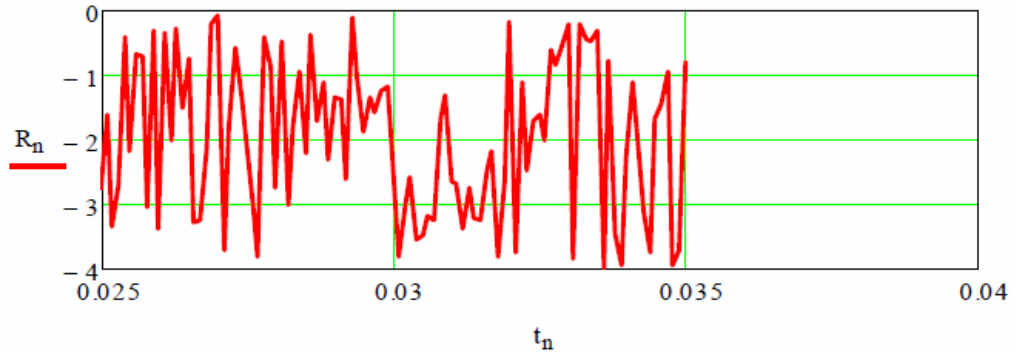
4.8. att. Ātrums attiecībā pret laiku.



4.9. att. Vadības funkcija laikā. Vadība nepārtraukti pārslēdzas.

Sausās berzes un viskozās berzes funkcija ar gadījuma lielumiem:

$$R_n := -F0 \cdot \text{sign}(v_n) \cdot (1 + \text{rnd}(40)) - b \cdot (1 + \text{rnd}(10)) \cdot v_n.$$



4.10. att. Viskožās un sausās berzes funkcija laikā.

4.3. Vadības sintēze pie polinomiālas pretestības spēka un nestacionāras saites reakcijas mijiedarbības

Uzmodelēts sistēmas modelis. Modelis ir ar kvadrātisku simetrisku izliektu parabolu ar ātruma ierobežojumu gadījuma parametriem. Modelēšanā ievērota viskozā pretestība un sausā berze. Ar burtu T apzīmēts parametrs $V(0)$, lai nejauktu ar ātrumu dotā momentā vai sākuma ātrumu.

Dotie:

$$\begin{aligned} u1 &:= 6; & S1 &:= 0; & S2 &:= 0.05; & F0 &:= 0.1; & b &:= 0.01; & V1 &:= 0.002; \\ n &:= 0.600; & s &:= 0.001; & T &:= 5; & m &:= 1.5; & V &:= 0.28; \\ C &:= 0.5; & s &= 1 \times 10^{-4}; & t_n &:= n \cdot s. \end{aligned}$$

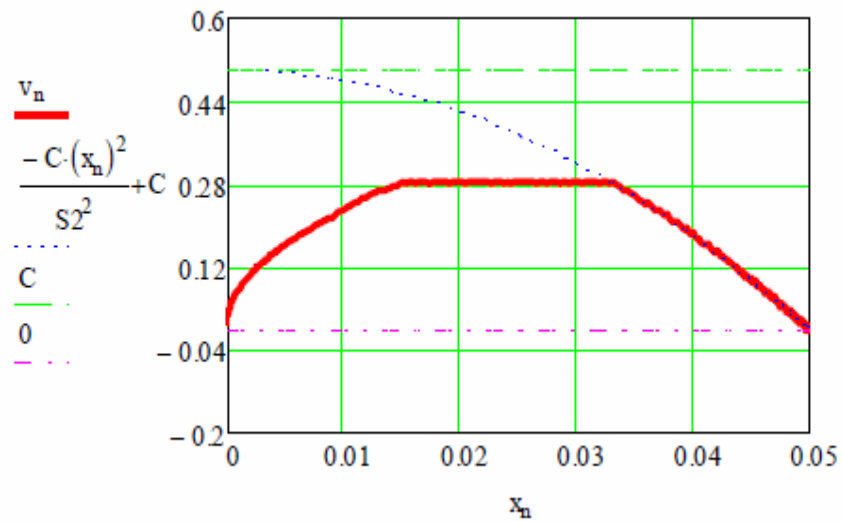
Sākuma nosacījumi:

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ v_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} S1 \\ V1 \end{pmatrix};$$

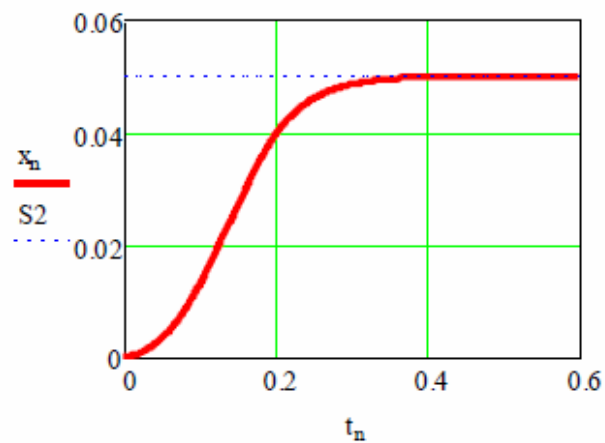
Sastādītie vienādojumi:

$$\begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} x_n + s \cdot v_n \\ v_n + \frac{s}{m} \cdot \left[\begin{aligned} &-F0 \cdot \text{sign}(v_n) \cdot (1 + \text{rnd}(40)) - b \cdot (1 + \text{rnd}(10)) \cdot v_n + u1 \cdot \\ &\cdot \left[\text{sign} \left[\left[\frac{-C \cdot (x_n)^2}{S2^2} + C \right] - v_n \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)) \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(V - v_n)) \end{aligned} \right] \end{pmatrix}$$

Iegūtie grafiki:



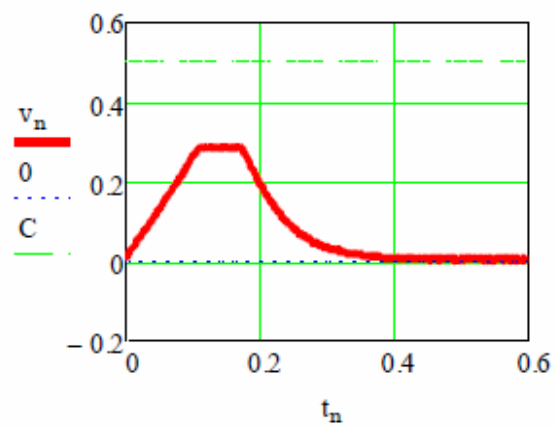
4.11. att. Vadība fāzu plaknē. Simetriska vadība $u1$ sasniedz ar ātruma ierobežojumu, notur konstantu ātrumu līdz iziet uz izliektu parabolas un apstājas kad ātrums kļūst negatīvs.



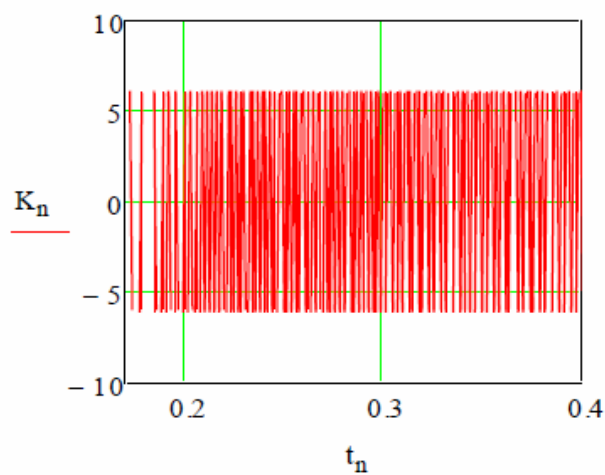
4.12. att. Simetriska vadība iziet uz parabolu $S2$ un apstājas.

Vadības funkccija:

$$K_n := u1 \left[\text{sign} \left[\left[\left[\frac{-C(x_n)^2}{S2^2} + C \right] - v_n \right] \right] \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \text{sign}(v_n)) \right].$$



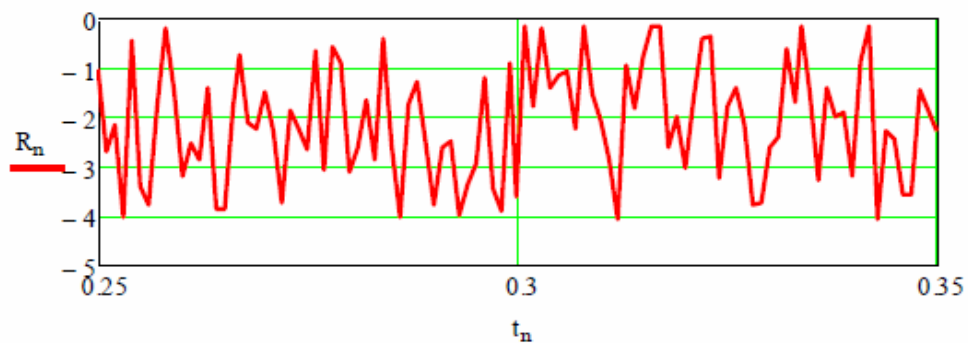
4.13. att. Ātrums attiecībā pret laiku. Grafikā redzams ātruma ierobežojums.



4.14. att. Vadības funkcija laikā. Vadība nepārtraukti pārslēdzas.

Sausās berzes un viskozās berzes funkcija ar gadījuma lielumiem:

$$R_n := -F0 \cdot \text{sign}(v_n) \cdot (1 + \text{rnd}(40)) - b \cdot (1 + \text{rnd}(10)) \cdot v_n.$$



4.15. att. Viskoās un sausās berzes funkcija laikā.

4.4. Nodaļas secinājumi

Šajā sadaļā tika apskatītas un analizētas pozicionēšanas vadības sistēmas no iepriekšējām sadaļām, t.i. vadības sintēze jauktās (adaptīvās un laika ierosmju) sistēmās pie gadījuma parametriem.

1. Aplūkotas simetriskas vadības pa ieliektu kvadrātisku fāzu trajektoriju ar gadījuma parametriem. Sākumā vadība ir maksimāla, tad pārslēdzas uz ieliektas simetriskas parabolas skenēšanu un apstājas pie negatīva ātruma, bet simetriskā vadība pa izliektu kvadrātisku fāzu trajektoriju ar gadījuma vadība sākumā ir maksimāla, tad pārslēdzas uz izliektas simetriskas parabolas skenēšanu.

2. Simetriskā vadībā ar ātruma ierobežojumu un gadījuma parametriem, vadība sasniedz ātruma ierobežojumu, notur konstantu ātrumu līdz iziet uz izliektu parabolas un apstājas, kad ātrums kļūst negatīvs. Šādas sistēmas realitātē ir iespējams nopozicionēt pie optimālām trajektorijām.

3. Vibrotehnikas mašīnām un mehānismos adaptīvais spēks kopā ar laika ierosmes spēku palielina līdz vēlamajai maksimālai vērtībai.

5. REĀLU POZICIONĒŠANAS SISTĒMU RADĪŠANA

5.1. Planšetes fluorimetrs

5.1.1. Ierīces pielietojums un darbības princips

Dotā ierīce (5.1.att.) atrodas izstrādāšanas stadijā, tāpēc tai vēl nav visu detaļu komponentu, tikai pašas primitīvās, kas ļautu vadīt, pozicionēt un analizēt šo ierīci.

Planšetes fluorimetrs paredzēta klīniskajām un pētnieciskajām laboratorijām, kas izmanto mūsdienīgas bioloģisko molekulu – olbaltumvielu un nukleīnskābju analīžu metodes. Šīs metodes ļauj operatīvi veikt agrīnu un ticamu liela skaita infekcijas slimību diagnozi, tās tiek izmantotas arī ģenētiskās informācijas atšifrēšanai, pārtikas produkcijas un ārstniecības preparātu kontrolē, tiesu medicīnā un kriminālistikā, zinātniskajos pētījumos.

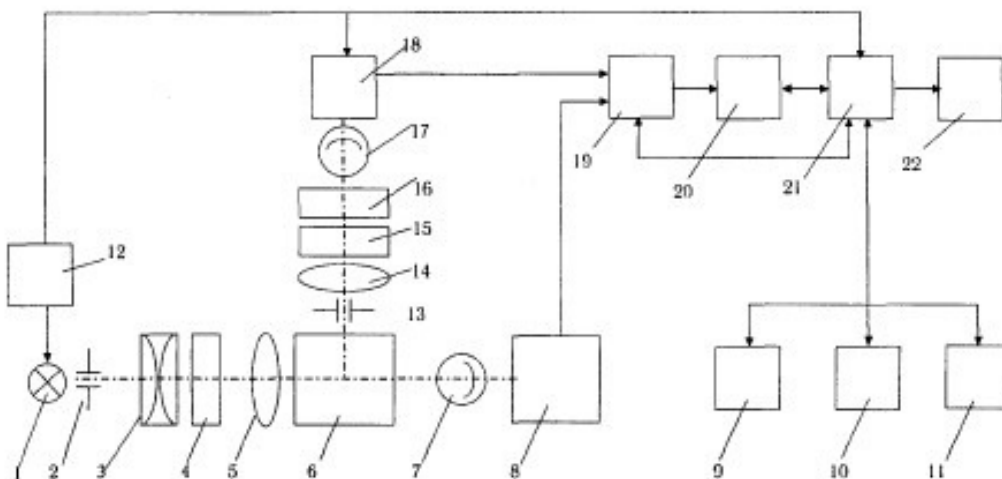


5.1. att. Planšetes fluorimetrs izstrādāšanas stadijā

Fluorimetra galvenie pielietojumi ir polimēru ķēdes reakcijas produktu detektēšana, imūnfermentā analīze, bioķīmiskā analīze un šūnu struktūru analīze. Planšetes fluorimetrs veic šķidrumu fluorescēšanas mērījumus deviņdesmit sešu bedrīšu planšetē. Šķidruma tilpums planšetes bedrītē ne vairāk kā 350 ml. Ierīce sastāv no optiskā trakta fluorescēšanas izraisīšanai, optiskā trakta fluorescēšanas reģistrēšanai, planšetes, divkordināšu pārvietošanas mehānisma, filtru pārvietošanas mehānisma gan izraisīšanas traktā, gan izstarojumu uztverošajā traktā, plastikāta korpusa, elektronikas bloka. Ierīces vadība un mērāmo datu

apstrāde tiek veikta personālajā datorā. Fluorescēšanas ierosināšanai tiek izmantots balta gaismas diode ar interferences filtru komplektu. Izstarojumu reģistrācijai izmanto fotoelektronisko daudzkārtotāju ar interferences filtru komplektu. Mērījumi notiek sekojoši: planšete tiek novietota uz izbīdāmas no ierīces platformas, kuru pēc tam iebīda atpakaļ ierīces korpusā, un divkordināšu mehānisms nodrošina katras bedrītes skanēšanu. Brīdī, kad bedrītes ar pētāmo šķidrumu atrodas uz optisko ašu krustpunkta, ieslēdzas gaismas diode. Lēcas novada gaismu uz interferences filtru, kas izgriež no optiskā spektra šauru nepieciešamās gaismas joslu, un ierosina šķidrumā fluorescēšanu. Pēc tam izstarotā gaisma ar lēcu palīdzību, pa ierosināšanas kanālu, tiek novadīta uz fotoelektronisko daudzkārtotāju. Dati apstrādei nokļūst datorā. Iekārtas vadība no personālā datora.

Vienkanāla fluorimetra uzbūve un darbības princips attēlots 5.2. att.



5.2. att. Vienkanāla fluorimetra darbības shēma ar impulsa ierosmes avotu

Kur, 1 - gaismas enerģijas ierosmes avots – impulsu lampa; 2 - diafragma; 3 - optiskā sistēma - kondensors; 4 - ierosmes kanāla joslu filtrs; 5 - vanna; 6 - optiskā sistēma; 7 - fotouztvērējs; 8 - ierosmes kanāla pastiprinātājs; 9 - indikācija; 10 - operatora pults; 11 - reģistrējošā iekārta; 12 - impulsu lampas ieslēgšanas sistēmas vadība; 13 - izstarojuma kanāla diafragma (fluorescēšana); 14 - izstarojuma kanāla optiskā sistēma; 15 - izstarojuma plūsmas neitrālais pavājinātājs; 16 - izstarojuma kanāla joslu filtrs; 17 - izstarojamās enerģijas plūsmas fotouztvērējs; 18 - ierosmes kanāla pastiprinātājs ar regulējamu pastiprināšanas koeficientu; 19 - komutators; 20 - analogciparu pārveidotājs; 21 - mikrodators; 22 - sakaru interfeiss ar ārējo datoru.

Fluorimetra darbības shēmas paskaidrojums.

Ierosmes gaismas enerģijas avots (1) ir impulsu lampa. Diafragma (2) ierobežo gaismas plūsmas izmērus. Optiskā sistēma – kondensors (3) – formē gaismas enerģijas paralēlo plūsmu, kura tiek filtrēta caur joslu filtru (4). Filtrs izlaiž cauri tikai gaismas plūsmu ar maksimālo viļņa garumu X viļņu garuma diapazonā AX . Optiskā sistēma (6) formē gaismas plūsmu tādā veidā, lai pēc tās iziešanas caur vannu (5), plankuma forma un laukums, ko tā izveido uz fotouztvērēja (7) jūtīgā laukuma būtu optimāls. Fotouztvērējs transformē gaismas enerģiju elektriskajā, kuru pastiprina pastiprinātājs (8).

Atrodošais vannā (6) pētāmais vai graduējamais šķīdums, kas absorbējis daļu no ierosmes plūsmas enerģijas, kļūst par fluorescējošā izstarojuma avotu.

Izstarojuma gaismas enerģijas plūsma, izejot caur diafragmu (13), optisko sistēmu (14), neitrālo pavājinātāju (15) un joslu filtru (16), nokļūst uz fotouztvērēja (17) fotojūtīgo laukumu, pārveidojas elektriskajā signālā, kuru pastiprina pastiprinātājs (18).

Diafragmas (13), optiskās sistēmas (14) un joslu filtra (16) uzdevums analogisks šo elementu uzdevumam gaismas ierosmes joslā.

Neitrālais pavājinātājs (15) paredzēts lielas jaudas izstarojuma enerģijas pavājināšanai ar mērķi radīt iespēju šīs enerģijas mērīšanai dotajā mērījuma diapazonā.

Šim pašam uzdevumam kalpo ierosmes kanāla pastiprinātājs ar regulējamu pastiprināšanas koeficientu (18).

Caur komutatoru (19) signāli no pastiprinātājiem (8) un (18) pēc kārtas pienāk analogciparu pārveidotāja (20) ieejā un ciparu koda veidā nokļūst mikrodatorā (21), kur notiek to apstrāde. Mikrodators (21) caur sakaru interfeisu (shēmā tas nav parādīts) vada impulsa lampas (12) ieslēgšanas sistēmu, nepieciešamo mērījuma diapazonu izvēli (pastiprinātāja mērījuma koeficientu)(18), indikācijas sistēmu (9), reģistrējošo ierīci (11) un caur pulti (10) veic informācijas apmaiņu ar operatoru.

Līdztekus impulsu gāzizlādes lampas pielietošanas lielajām priekšrocībām fotometrijā, pastāv zināmas grūtības, kas saistītas ar ierosmes gaismas enerģijas, kuru izstaro lampa no uzliesmojuma uz uzliesmojumu, nestabilitāti. Ierosmes gaismas plūsmas nestabilitātes uzskaitē shēmā ierīkots fotouztvērējs (7), signāls, no kura proporcionāls ierosmes plūsmai. Viens no efektīvākajiem veidiem samazināt ierosmes enerģijas izkliedes un citu nejaušu faktoru ietekmi ir, kā parasti, daudzkārtēji mērījumi un rezultātu vidējošana.

Kā izstarojuma enerģijas detektoru (fotouztvērēju) visbiežāk izmanto fotoelektriskos daudzkāršotājus jeb pavairotājus.

Flourimetra uzstādītie parametri no tehniskā uzdevuma:

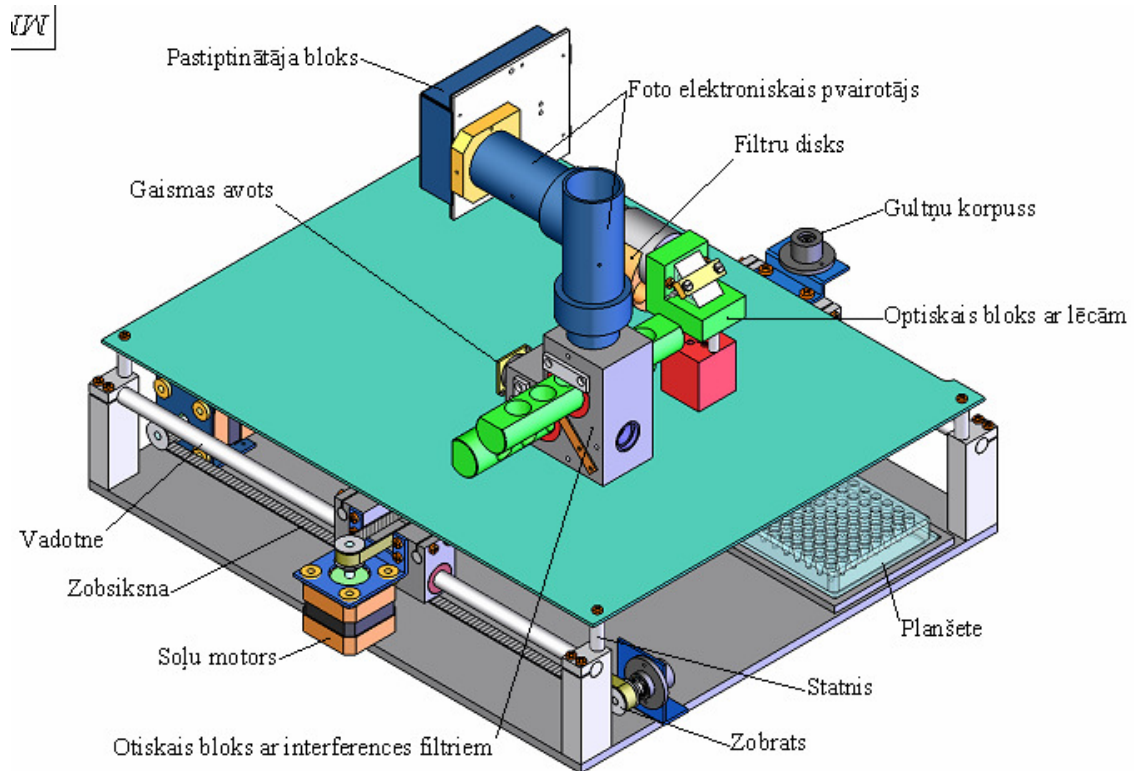
- 1) Gabarītmēri: 420 x 390 x 250 (mm);
- 2) Ierīces svars: ne vairāk 12 kg;
- 3) Elektropadeve: 220V, 50Hz;
- 4) Jauda: ne vairāk 100 W;
- 5) Gaismas avots: balta gaismas diode ar jaudu 1 W;
- 6) Izstarojuma uztvērējs: fotoelektroniskais daudzkāršotājs;
- 7) Pārvietošanās ceļš pa X asi: 280 mm;
- 8) Pārvietošanās ceļš pa Y asi: 360 mm;
- 9) Pārvietošanās precizitāte: ne vairāk $\pm 0,1$ mm;
- 10) Mehānisms automātiskai filtru pārkārtošanai sešām vietām. Ierosmes kanālā uzstādīti filtri: 360, 405, 420, 450, 485, 530 (nm);
- 11) Filtra uzstādīšanas precizitāte uz optiskās ass ierosmes kanālā: ne vairāk $\pm 0,2$ mm;
- 12) Mehānisms automātiskai filtru pārkārtošanai sešām vietām. Izstarotāja kanālā uzstādīti filtri: 460, 490, 530, 580, 590, 620 (nm);
- 13) Filtra uzstādīšanas precizitāte uz optiskās ass izstarošanas kanālā: ne vairāk $\pm 0,2$ mm;
- 14) Laiks 96 bedrīšu planšetes skanēšanai: ne vairāk 60 sek.;
- 15) Ierīces vadība: personālais dators.

5.1.2. Ierīces projektēšana Solid Works vidē

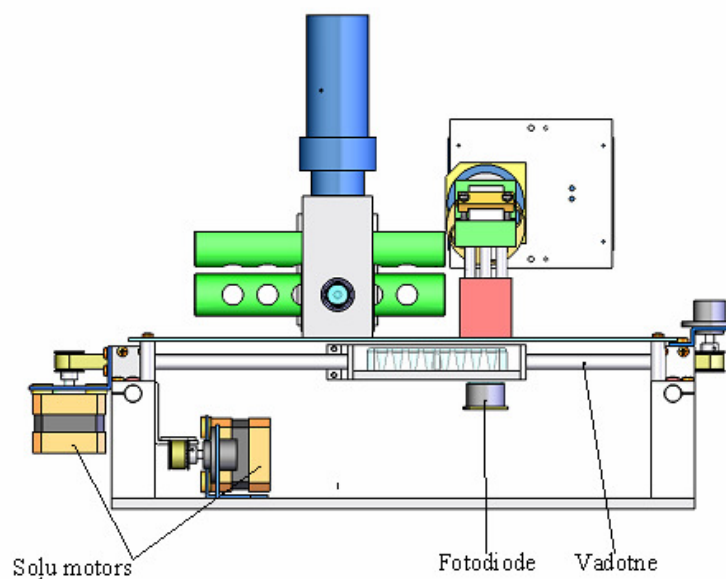
Projektējot aparātu, jāatrod vislabākais konstruktīvais risinājums, jāizvēlas tehniski nepieciešamas un ekonomiski atbilstošas kinemātiskas un konstruktīvas izstrādājuma shēmas, detaļu formas, materiāli, izmēri, precizitātes un gluduma klases. Nepieciešams paredzēt visas iespējas materiālu, darbaspēka un citu izmaksu ekonomijai, kas saistīta ar konstrukcijas izgatavošanu.

Konstruēšanas darbi sākas ar atsevišķu svarīgāko mezglu konstruēšanu un projektēšanu. Tādējādi pārējos mezglus pielāgojot galvenajiem. Protams, viss tiek darīt saskaņojot prasībām kādām būtu jābūt, gabarīti, svars utt. Katra nianse, katrs mezgls tiek saskaņots un pārrunāts ar galvenajiem projektēšanas pārstāvjiem un ar elektronikas nodaļu, jo mehānikai un elektronikai ir jābūt ļoti saskaņotai, lai turpmākā gaita nerastos liekas problēmas. Kad galvenie mehānikas mezgli ir gatavi, tikai tad tiek domāts par iekārtas korpusu un dizainu.

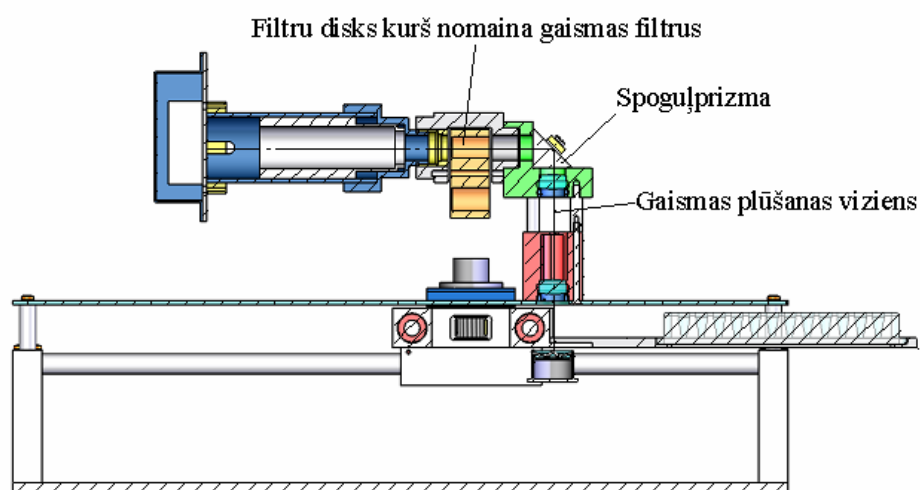
Kā jau iepriekš tika minēts šī ierīce ir izgatavošanas stadijā. Pie tās vēl ir daudz jāstrādā. Ir izgatavoti galvenie mezgli, ar kuriem jau tiek strādāts, respektīvi, veidota vadības sistēma un visi citi elektrotehniskie darbi. 5.3., 5.4. un 5.5. attēlā parādīta kopējā ierīces struktūra uz doto brīdi Solid Works vidē.



5.3. att. Fluorimetra iekšējā struktūra

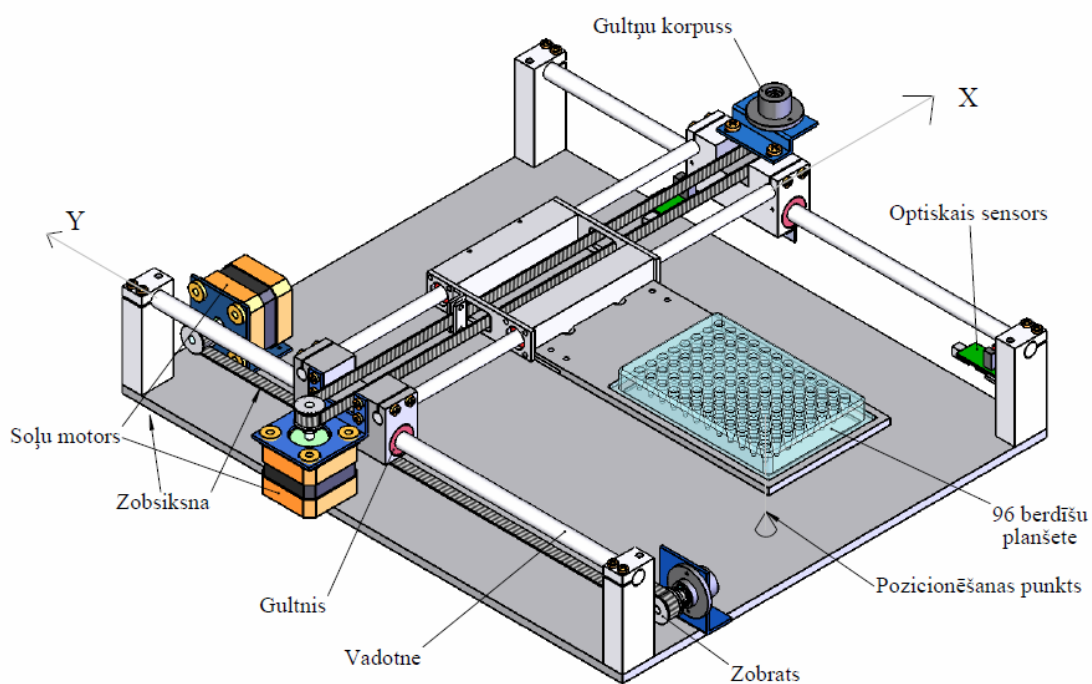


5.4. att. Fluorimetra iekšējās struktūras frontālais skats



5.5. att. Fluorimetra iekšējās struktūra šķērs griezumā

Viens no ierīces galvenajiem uzdevumiem ir nopozicionēt katru no planšetes 96 bedrītēm uz vienu konkrētu punktu virzoties pa X un Y asi uz priekšu un atpakaļ. Kinemātiskā shēma parādīta 5.6. attēlā.



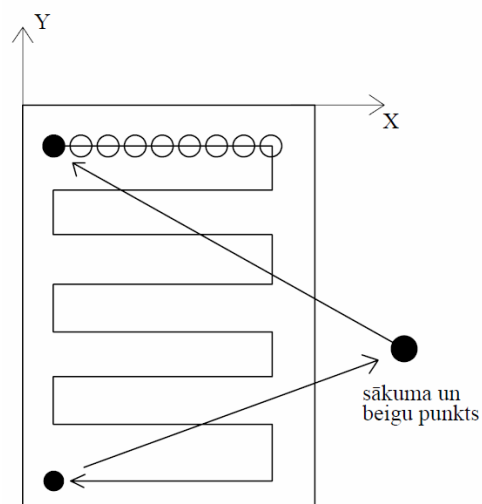
5.6. att. Fluorimetra vadības kinemātiskā shēma

5.1.3 . Fluorimetra vadības mehāniskā shēma

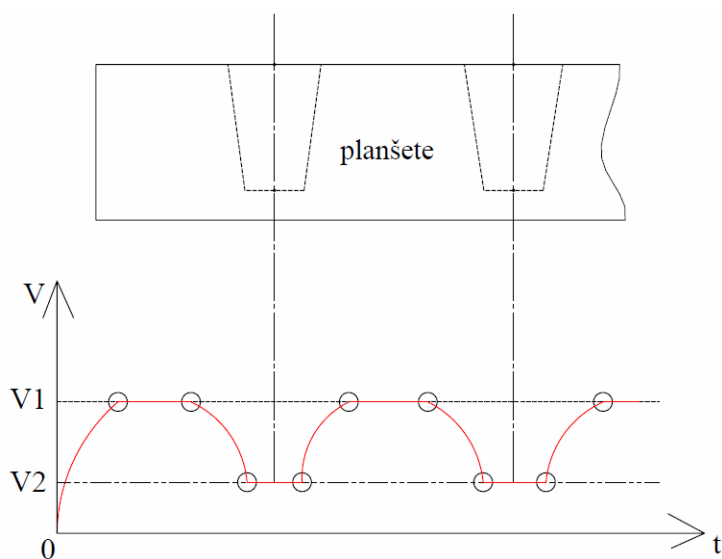
Ierīces vadība sākas no sākuma punkta, kuru fiksē optiskie pāra sensori. Kustību nodrošina divi soļu motori, attiecīgi katrs pa savu ass koordināti, kas saistīti ar zobsiksniem, pie kurām piestiprinātas kustīgās komponentes. Komponentes kustās pa stingrām kalibrētām vadotnēm. Darbojoties abiem motoriem vienlaicīgi planšete tiek virzīta uz pozicionēšanas punktu. Tad katra planšetes bedrīte tiek novadīta caur vajadzīgo punktu. Principiāla kustības shēma parādīta 5.7. attēlā.

Bedrītei kustoties pāri uztvērēja (fotodiodes) punktam, sensoram ir jāpaspēj reģistrēt caurejošais gaismas spektrs. Tāpēc sistēma nekustas ar konstantu ātrumu, kas arī dara sarežģītu tās vadību un pozicionēšanu vajadzīgajam punktam. Tajā pašā laikā ļoti nozīmīgs faktors ir ierīces ātrdarbība. Lai

sistēma būtu ātra un spētu reģistrēt izejas signālu, tās vadības notiek ar diviem ierobežojošiem ātrumiem $V1$ un $V2$ (skatīt 5.8. attēlu). Sistēmas pāreja no vienas planšetes bedrītes uz nākošo notiek ar lielāku ātru $V1$, bet signāla nolasīšanas brīdī ātrums ir mazāks $V2$. Pārejas periodā no viena ātrumu uz nākošo sistēma tiek optimizēta tā, lai pāreja būtu pēc iespēja ātrāka.



5.7. att. Kustības shēma



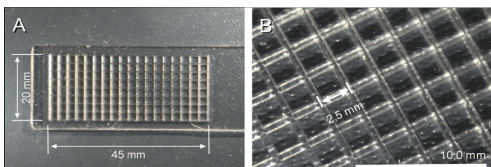
5.8. att. Fluorimetra vadība

Šādas sistēmas apraksts un optimizācija ir aprakstīts nodaļā 2.

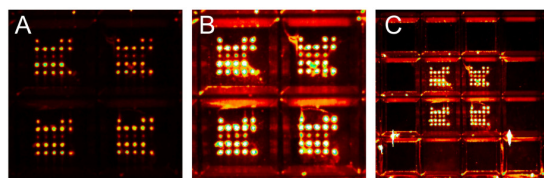
5.2. Biočipu robots

5.2.1. Robota vispārīgs apraksts

Robots biočipiem paredzēts vidēja apjoma biočipu ražošanai uz stikla un polimēru membrānu pamatnes. Tehnoloģiski biočips ir matrica, kas sastāv no simtiem un tūkstošiem šūniņu (piemērs 5.9. un 5.10. attēlā) .

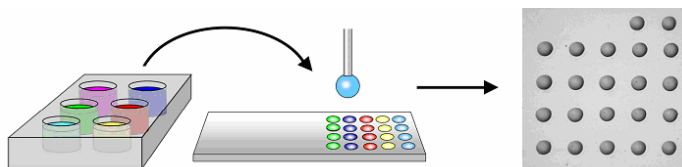


5.9. att. Čipa stikliņš



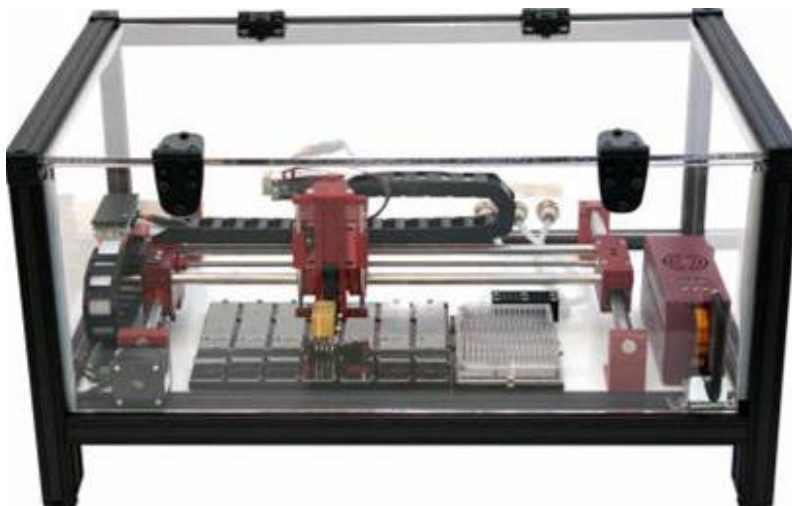
5.10. att. Biočipi

Biočipu robota uzdevums ir dozatora adatā uzņemot etalona oligonukleotīdu un iespiest punktu diametrā, apmēram, 0,15 mm uz stikla pamatnes ar izmēriem 25 x 75 (mm), un ar precizitāti $\pm 0,01$ mm (skatīt 5.11. attēlā). Katrs šāds punkts ietver sevī informāciju par konkrētu DNS. Uz pamatnes atkarībā no čipa uzdevuma var tikt uzlikti simtiem tūkstošu punktu.



5.11. att. Čipu iezīmēšana

Lai saprastu par ko ir runa, ierīce parādīta 5.12 attēlā. [19]

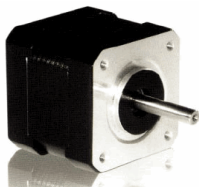


5.12. att. Biočipu robots

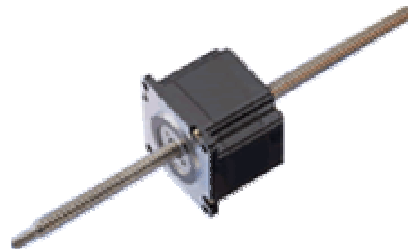
Ierīces parametri no tehniskā uzdevuma:

- 1) Augsta punktu blīvuma iespīšana, vairāk kā 30 000 punktu uz stikla 25 x 75 (mm);
- 2) Iespīšanas iespējamība uz polimēru membrānām un 96 bedrīšu planšetēm;
- 3) Robota komplektācija ar magnētiskajiem fiksatoriem lokanajām membrānām;
- 4) Pārvietošanās ceļš pa X asi 380 mm, pārvietošanās precizitāte ne vairāk $\pm 0,01$ mm;
- 5) Pārvietošanās ceļš pa Y asi 270 mm, pārvietošanās precizitāte ne vairāk $\pm 0,01$ mm;
- 6) Pārvietošanās ceļš pa Z asi 70mm, pārvietošanās precizitāte ne vairāk $\pm 0,01$ mm,;
- 7) Punktu uznešanas precizitāte $\pm 0,01$ mm uz visa darba lauka virsmas 270 x 380 (mm);
- 8) Iespējamība veikt iespīšanu vienlaicīgi ar vairākām adatām: no 1 līdz 16 adatas;
- 9) Ierīces vadība ar personālā datora palīdzību;
- 10) Darba lauka darbības režīmi: 14 stikla paraugi vai divas 96 bedrīšu planšetes, kā arī reaģentu planšete katrā darba režīmā;
- 11) Ierīces korpusa gabarīti: 650 x 510 x 310 (mm);
- 12) Ierīces svars: līdz 15 kg;
- 13) Patērējamā enerģija: 100-240 V, 40-60 Hz.

Sistēmas piedziņu veic trīs soļu motori pa X, Y un Z asi (5.13. un 5.14. attēls).



5.13. att. Soļu motors uz X un Y asīm

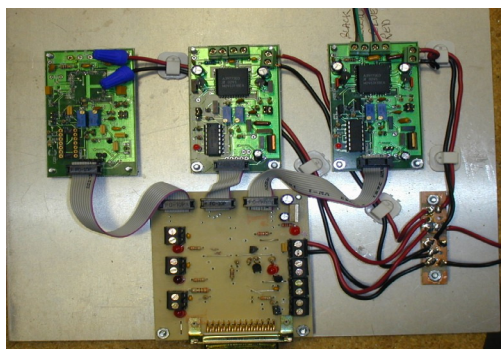


5.14. att. Soļu motors uz Z asi

Komponentu kustību nodrošina 12 gājumu vītņi, kas ir piesaistīti pie soļu motoriem. Tikai Z ass motors ir jau ar iebūvētu vītņi. Šāda tipa dzinējiem piemīt daudz laidenāka gaita, bet kas ir arī nedaudz lēnāka. Bet dotajai iekārtai tieši šāds salikums ir pats optimālākais no vadības viedokļa.

Iekārtas vadībai ir jābūt ārkārtīgi precīzai un ar mazu gājuma soli (iepriekš minētā precizitāte ne vairāk $\pm 0,01$ mm). Bet ar dzinēja pārvietošanās soli tas būtu stipri par daudz. Tāpēc katram soļu motoram ir piesaistīta integrēta vadības elektroplate, jeb tā saucamie mikrostepi (skatīt 5.15. attēlā), ar kuras palīdzību karu dzinēja soli var vēl sadalīt 8 daļās. No tā izriet, ja motora viens apgrieziens sastāda 200 soļus, tad, pareizinot ar 8, iegūstam, ka viens

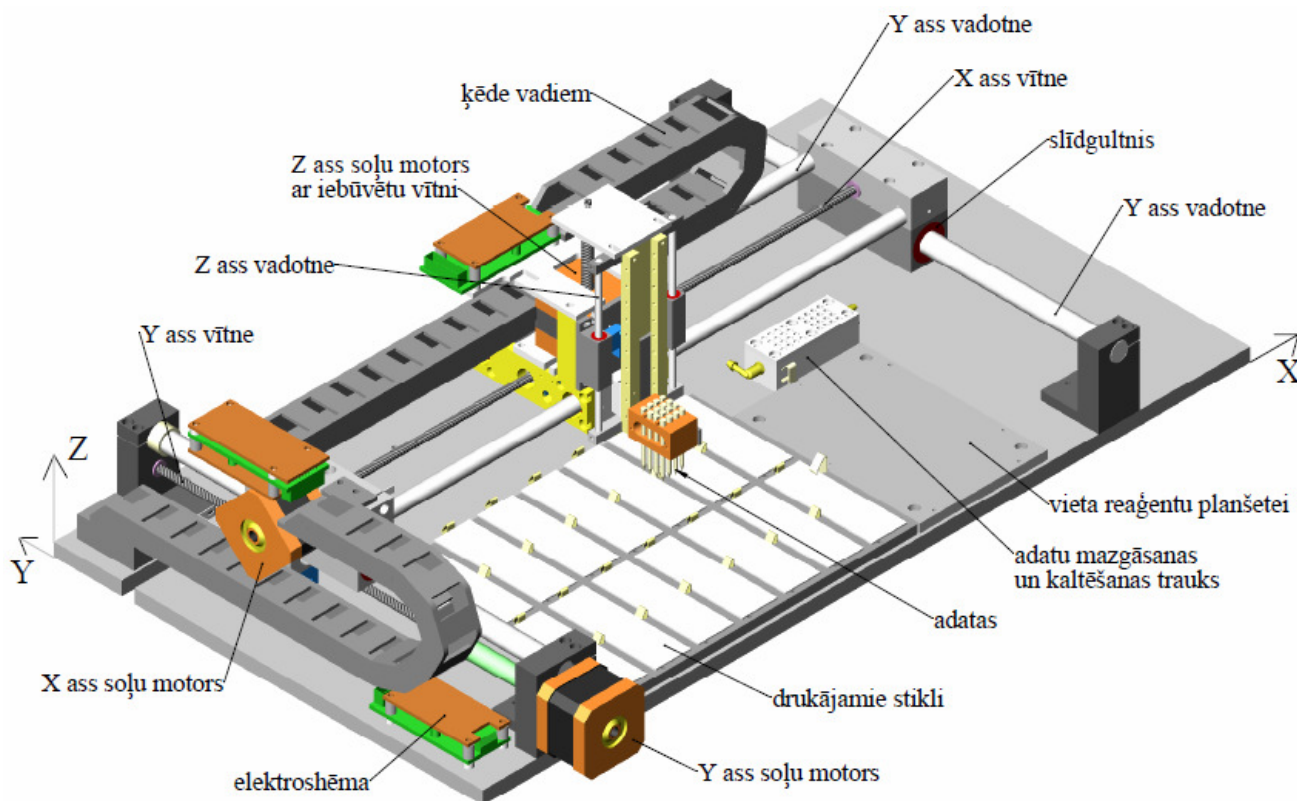
motora apgrieziens sastāv no 1600 soļiem. Tas arī ļauj ierīcei pozicionēt tik mazos diapazonos.



5.15. att. Dzinēju vadības elektroplate

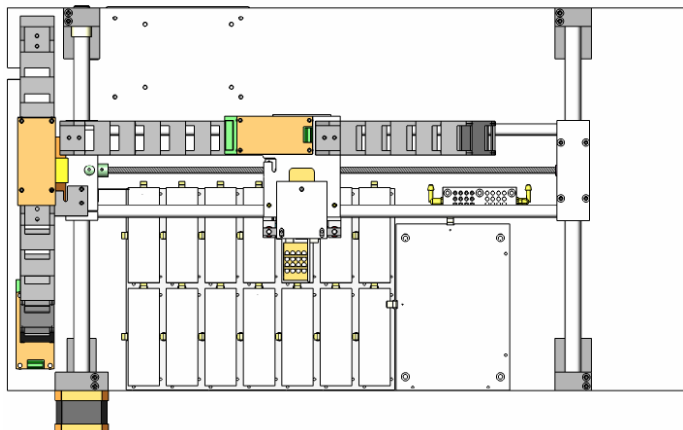
5.2.2. Ierīces projektēšana Solid Works vidē

Tāpat kā aprakstīts iepriekšējai ierīcei, tāpat arī šai un citām ierīcēm projektēšana notiek soli pa solim izvērtējos visas nepieciešamās prasības un apstākļus. Šim robotam, jo īpaši ir vajadzīga liela precizitāte un pozicionēšanas spējas, tāpēc konstruējot to, tiek pievērsta lielāka uzmanība izejmateriālu iegādei un ražošanai. Robota kinemātiskā shēma parādīta 5.16. attēlā.

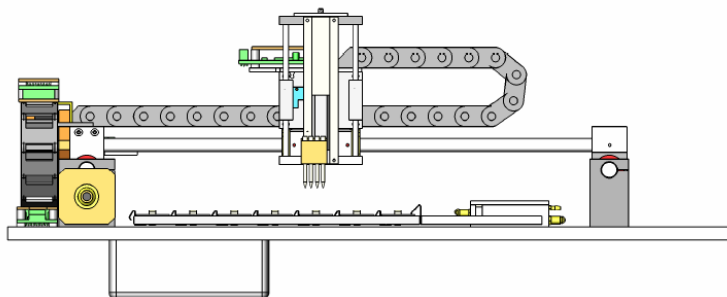


5.16. att. Robota kinemātiskā shēma Solid Works vidē

Attēlos 5.17. un 5.18. parādīts robota skats no augšas un frontālais skats.



5.17. att. Skats no augšas Solid Works programmatūrā



5.18. att. Frontālais skats Solid Works programmatūrā

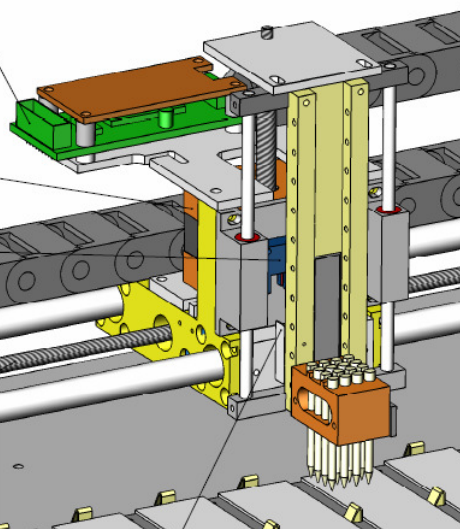
Attēlā 5.19. tuvāk parādīta galvenā robota komponente – tā pozicionēšanas „galva”, kurai piestiprinātas adatas, kas veic galveno funkciju – punktu iespiešanu. Tā ir galvenā robota funkcija - vadīt šīs adatas pa X, Y un Z asīm ar ārkārtīgi lielu precizitāti.

kontralējošā vadības
elektroshēma pa Z asi

soļu motors,
(pa Z asi ar
iebūvētu vītņi)

optiskais
sensors

12 gājumu
vītne



optiskā stara
pārāvējs

5.19. att. Robota pozicionēšanas „galva”.

5.3. ALA-1/4 daudzkanālu fluorimetrs

5.3.1. Fluorimetra vispārīgs apraksts

ALA-1/4 (skatīt 5.20. attēlā) ir pirmais daudzkanālu rotora tipa fluorescences detektors, kas reģistrē fluoroforu izstaroto gaismu reakcijas maisījumā, izmantojot noslēgtās mēģenes metodi uzreiz pēc PCR. [20]

ALA-1/4 ir ātrdarbīgs trīs kanālu detektors, kas nosaka fluorescences/gaismas dzēšanas attiecību DNS paraugam, kas ir saistīts ar fluorescējošām/gaismu dzēsošām molekulām. Fluorescences līmenis ir atkarīgs no pozitīvas amplifikācijas apjoma pēc DNS paraugu cikliskās termiskās apstrādes. Aparāts aizstāj elektroforēzes un gēla dokumentēšanas etapus amplikonu detektēšanas procesā. Noslēgtās mēģenes metodes izmantošana nodrošina bioloģisko aizsardzību DNS diagnosticēšanas laboratorijās.



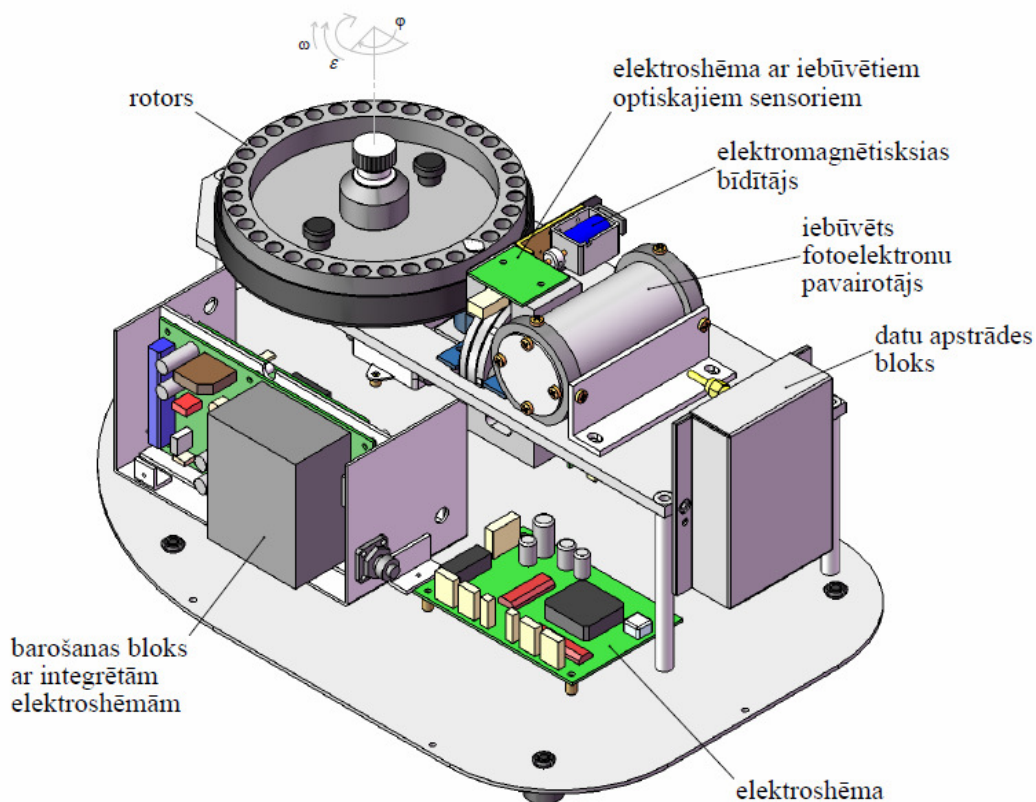
5.20. att. ALA-1/4 daudzkanālu fluorimetrs

Ierīces specifika:

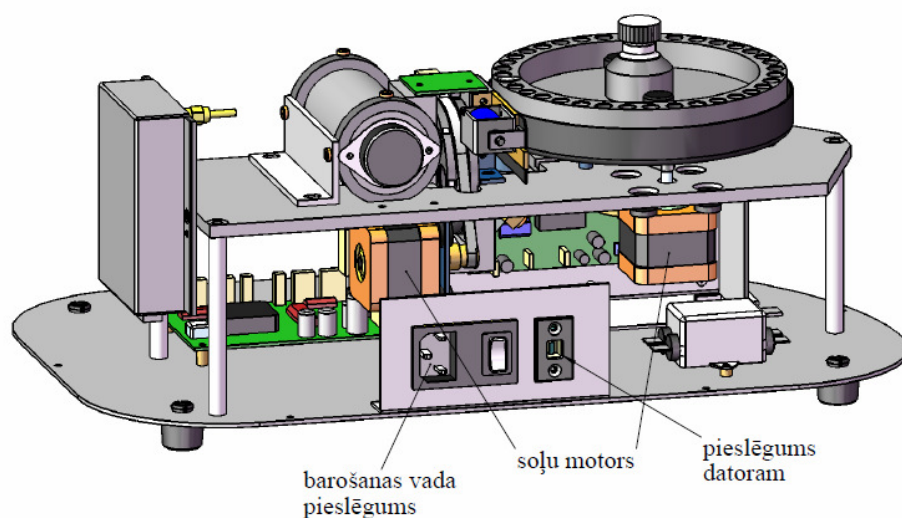
- Ierosināšanas avots: gaismas diode (Luxeon) caur interferences filtru;
- Interferences filtra caurlaides spektra pus-platums: 7 nm;
- Mērījumu skaits uz paraugu detekcijas režīmā: 2000;
- Mērījumu laiks (rotors R-36/0.5, 1 kanāls): 55 s;
- Savienojums ar datoru caur RS 232;
- Gabarītmēri: 400 x 250 x 190 (mm);
- Ierīces svars, ne vairāk kā 8.5 kg;
- Barošana: 220/240 V, 50/60 Hz

5.3.2. Fluorimetra darbība, projektēšana un pozicionēšana

Atšķirībā no iepriekšējām ierīcēm, šai ir rotācijas kustība, nevis lineāra. Fluorimetra galvenais uzdevums ir reģistrēt gaismas spektru mikromēģenēs (0,2 un 0,5 ml), kuras ir ievietotas rotorā. Attēlā 5.21. un 5.22. parādīta virspusēja ierīces iekšējā struktūra.



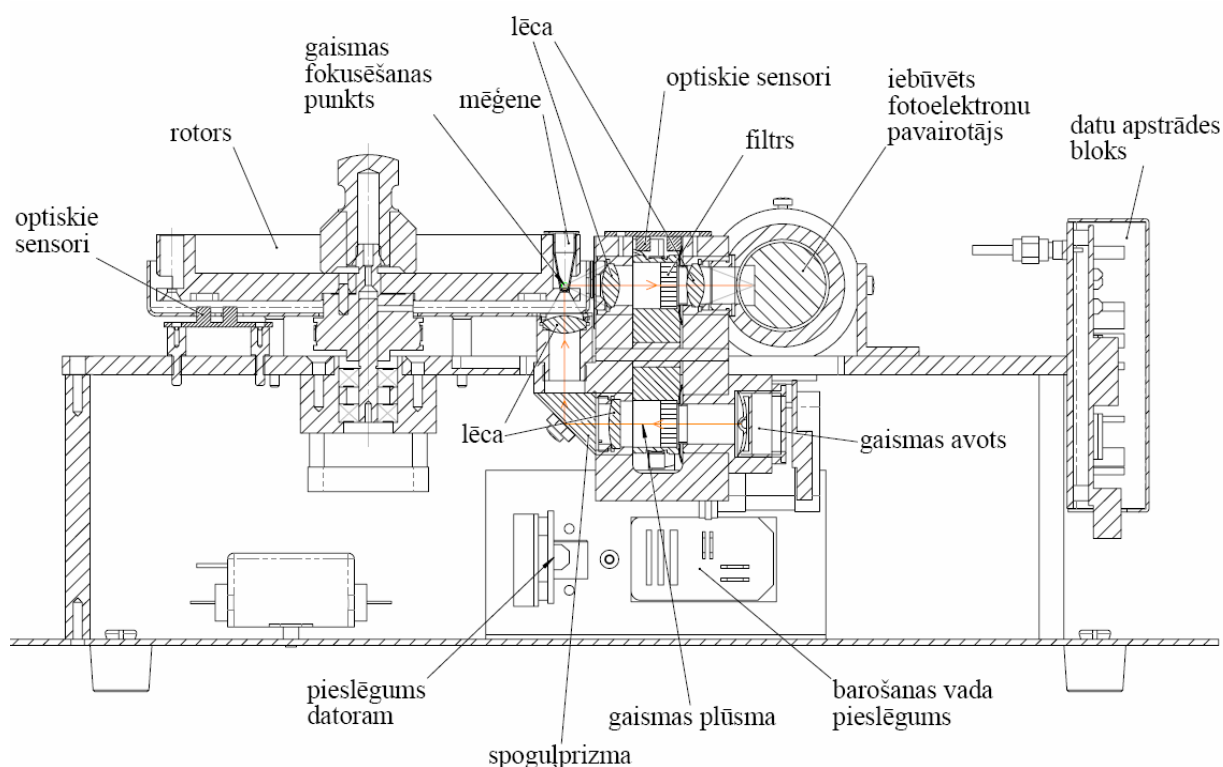
5.21. att. Ierīces iekšējā struktūra no frontālā skata



5.22. att. Ierīces iekšējā struktūra no aizmugures skata

Rotorā ietilpst 36 vai 48 mikromēģenes, atkarībā no modifikācijas. Spektra reģistrēšana mēģenēs notiek dažādos izstarošanas viļņa garumos, kuru filtri ir iebūvēti filtru diskā, kuram pagriežoties tiek mainīts reģistrējamo viļņa garums. Rotoru un filtru disku rotāciju veic soļu motori, kas nav pa tiešo piesaistīti pie komponentēm. Rotācija tiek nodota caur gumijas siksnām. Lai spektra plūsmas reģistrā nenotiktu visu laiku, ir speciāls lodziņš, kas spektra plūsmu aizver un atver. Šo procesu darbina elektromagnētiskais bīdītājs.

Un tā, kā tad īsti notiek mērīšanas process!? Shematiski tas ir parādīts 5.23. attēlā.



5.23. att. Fluorimetrs šķēsgriezumā

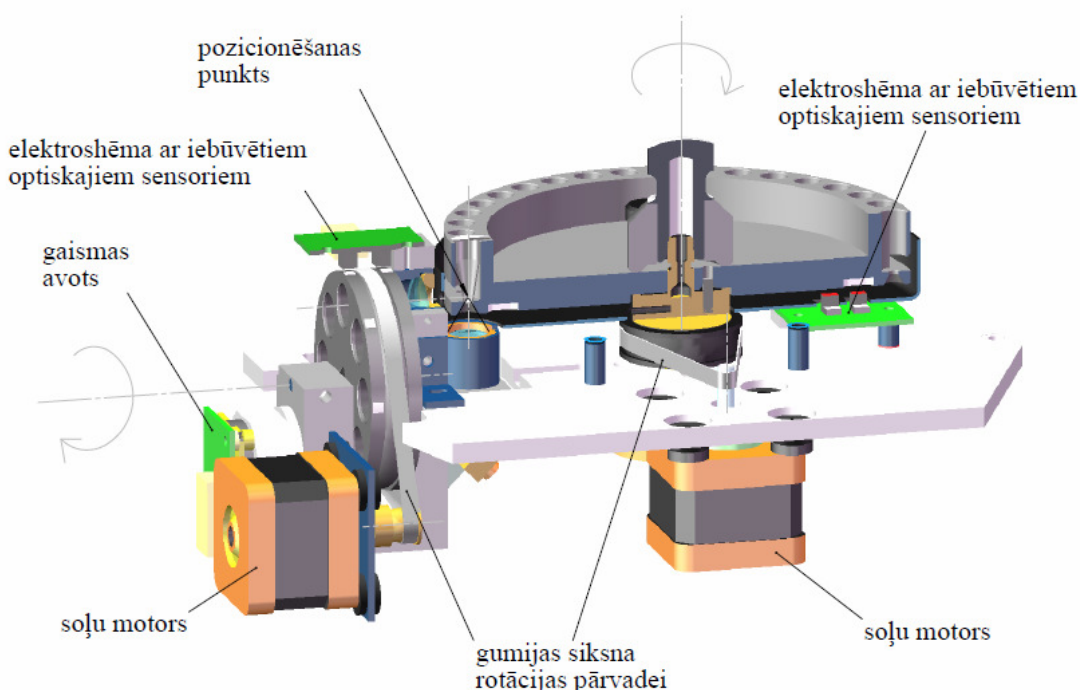
Tātad! No gaismas avota gaisma iet caur pirmo ierosmes gaismas filtru. Ierosmes viļņa garums 460 nm (tie ir dažādi). Tālāk šī gaisma virzās caur lēcu F50 (fokuss 50 mm), kura tiek fokusēta uz nākamā lēcu F13. Gaismas stars tiek pagriez par 90° vertikāli ar spoguļprizmas palīdzību. Fokusētā gaisma tiek novirzīta vajadzīgajā punktā – mēģenē, no kuras tiks nolasītas analīzes. Izstarotais spektrs nokļūst nākošajā lēcā F13, caur kuru gaisma iet uz izstarošanas gaismas filtru (viļņa garums 515 nm). No filtra spektrs tiek fokusēts caur beidzamo lēcu F13 uz ļoti jutīgu fotoelektronu pavairotāju (5.24. attēls).



5.24. att. Fotoelektronu pavairotājs

Informācija tiek nolasīta visām mēģenēm, kas ir ieliktas rotorā, kurš veic visu pilnu apgriezību. Cikla beigās elektromagnētiskais bīdītājs aizver lodziņu. Tiek pagriezts filtru disks uz nākošo gaismas filtru. Sākas jauns cikls.

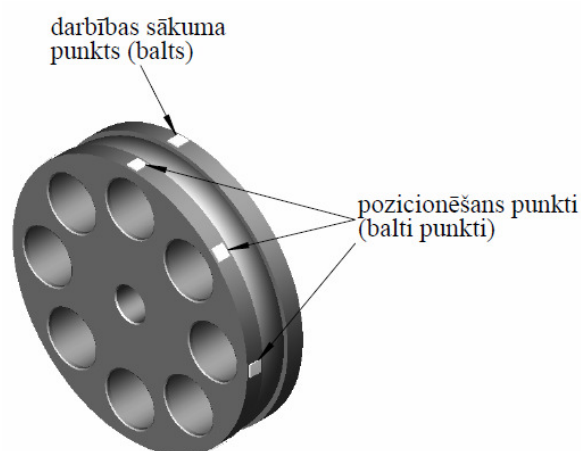
Kā tad īsti tiek vadīta mehāniskā sistēma un vajadzīgās komponentes nostājas vajadzīgajās vietās? Visa sistēma strādā automātiski. Kinemātisko shēmu skatīt 5.25. attēlā.



5.25. att. Fluorimetra kinemātiskā shēma

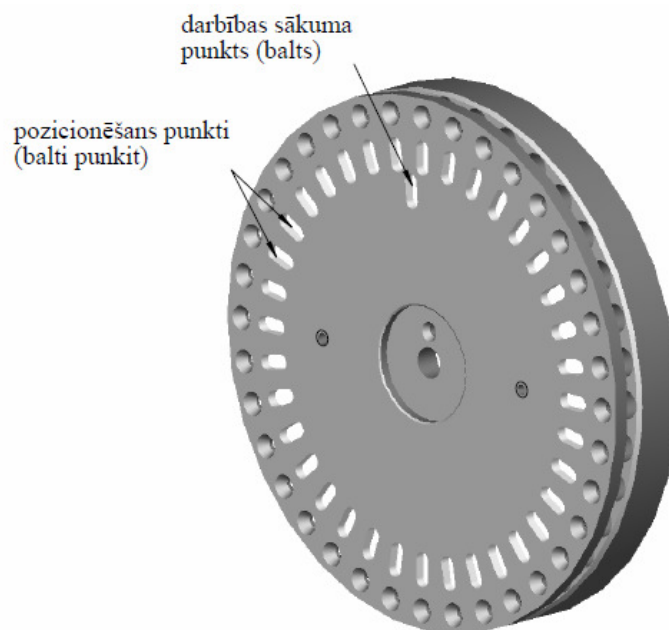
Tās vadība notiek datorizēti. Vadības algoritms ir ierakstīts programmā, kas tad arī dod nepieciešamos signālu, lai sistēma darbotos.

Rotora un filtru diska pozicionēšana notiek ar optisko sensoru palīdzību. To darbība balstās uz gaismas uztveri. Sensori reaģē uz gaišiem toņiem, savukārt melnu tie neuztver. Rotors un filtru disks ir melni anodēti, tādējādi panākot vēlamo efektu – gaismas neatstarošanu.



5.26. att. Gaismas filtru korpuss ar pozicionēšanas punktiem

Bet lai vadība būtu kontrolējam uz šīm komponentēm tiek uzklāti balti punkti, kas tad arī ļauj sensoriem uz tiem sensoriem reaģēt (skatīt 5.26. un 5.27. attēlā).



5.27. att. Rotors ar pozicionēšanas punktiem

Kā redzams attēlos uz detaļām ir daudzi baltie punkti, ar kuru palīdzību tad arī sistēma tiek pozicionēta. Kā arī nedaudz citā vietā no citiem punktiem ir „nulles punkts” jeb darbības sākuma punkts, kuru uztver cits sensors. Tas ļauj sistēmai nostāties savā sākuma stāvoklī un tad jau pēc uzdotā algoritma pildīt savas funkcijas.

5.4. Mikroplašu mazgātājs 3D-IW8

5.4.1. 3D-IW8 vispārīgs apraksts



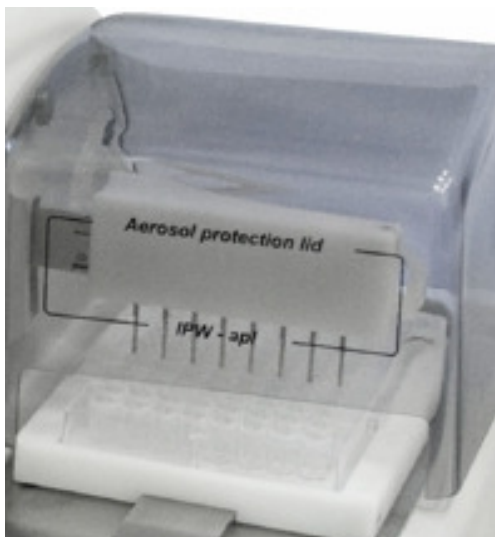
5.28. att. Inteliwasher **3D-IW8**

Mikroplašu mazgātājs Inteliwasher **3D-IW8** (5.28. attēlā), jeb īsāk washer, ir paredzēts, lai mazgātu dažāda tipa standarta mikrotilpuma plates ar 96 iedobītēm, mikrostripus un mikroplanšetes uz FastFRAME pamata (taisnstūra iedobīšu forma) (skatīt 5.29. un 5.30. attēlā). Tas ir piemērots, lai mazgātu iedobītes ar dažādu dibena formu: plakānu, U-veida un V-veida. Aparāts ir pilnīgi programmējams, ieskaitot daudz soļu šķīduma nogatavināšanu, nosūkšanu (nosūkšana, nosūkšanas/šķīduma izdalīšanas un mērcēšanas kombinācija, kā arī mērcēšanas cikls noteiktajā laika periodā). Katram kanālam atsevišķā šķīduma dozēšanas izdalīšanas sistēma. [21]

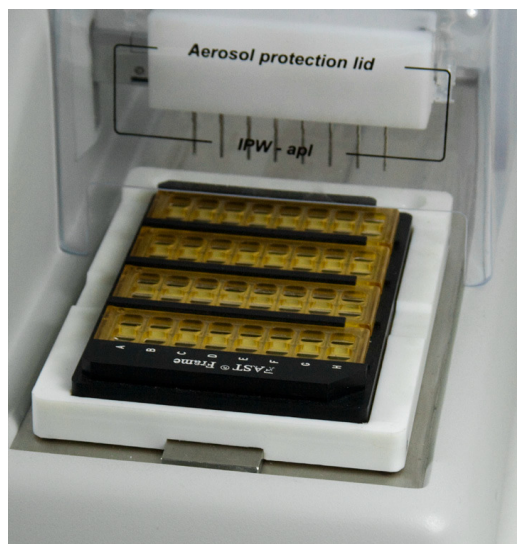
Aparāts nodrošina:

- Mazgāšanas režīmu;
- Skalošanas režīmu;
- Samaisīšanas režīmu;
- Nosūkšanu vienā punktā, divos punktos, cirkulāro nosūkšanu (pa aplveida vai taisnstūra trajektoriju);

- Iespēju šķīdumam papildu piejaukt citu laika intervālā starp diviem darba cikliem;
- Iespēju izmantot dažādu ražotāju mikroanalīzes plates pateicoties automatizētai plašu iestatīšanai (piemērojoties dažādam iedobīšu dziļumam);
- Mazgāšanas režīmu platēm ar iedobītēm ar apaļu dibenu un stripiem;
- Iespēju izmantot lietotāju noteiktās programmas ar regulējamiem parametriem.



5.29. att. Imūnplate



5.30. att. Fast frame planšete

Ierīcei ir 50 programmas, kas ir sadalītas pa 5 nosūkšanas kategorijām (skatīt 5.31. attēlu):

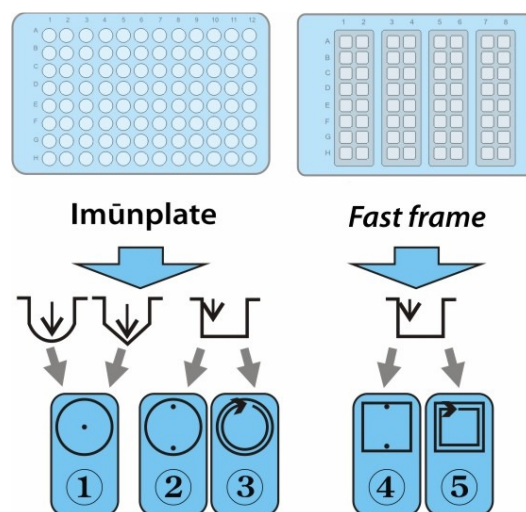
1. tips (1.0–1.9) IPF96 U/V ir paredzēts apaļām un V-veida imūnplatēm, nosūkšana 1 punktā.

2. tips (2.0–2.9) IPF96 FLAT-2 ir paredzēts imūnplatēm ar plakānu dibenu, nosūkšana 2 punktos.

3. tips (3.0–3.9) IPF96 FLAT-C ir paredzēts imūnplatēm ar taisnstūra dibenu, nosūkšana pa aplveida trajektoriju.

4. tips (4.0–4.9) FastFRAME-2 ir paredzēts multislaidu planšetēm ar taisnstūra iedobītēm.

5. tips (5.0–5.9) FastFRAME-C ir paredzēts multislaidu planšetēm ar taisnstūra iedobītēm.

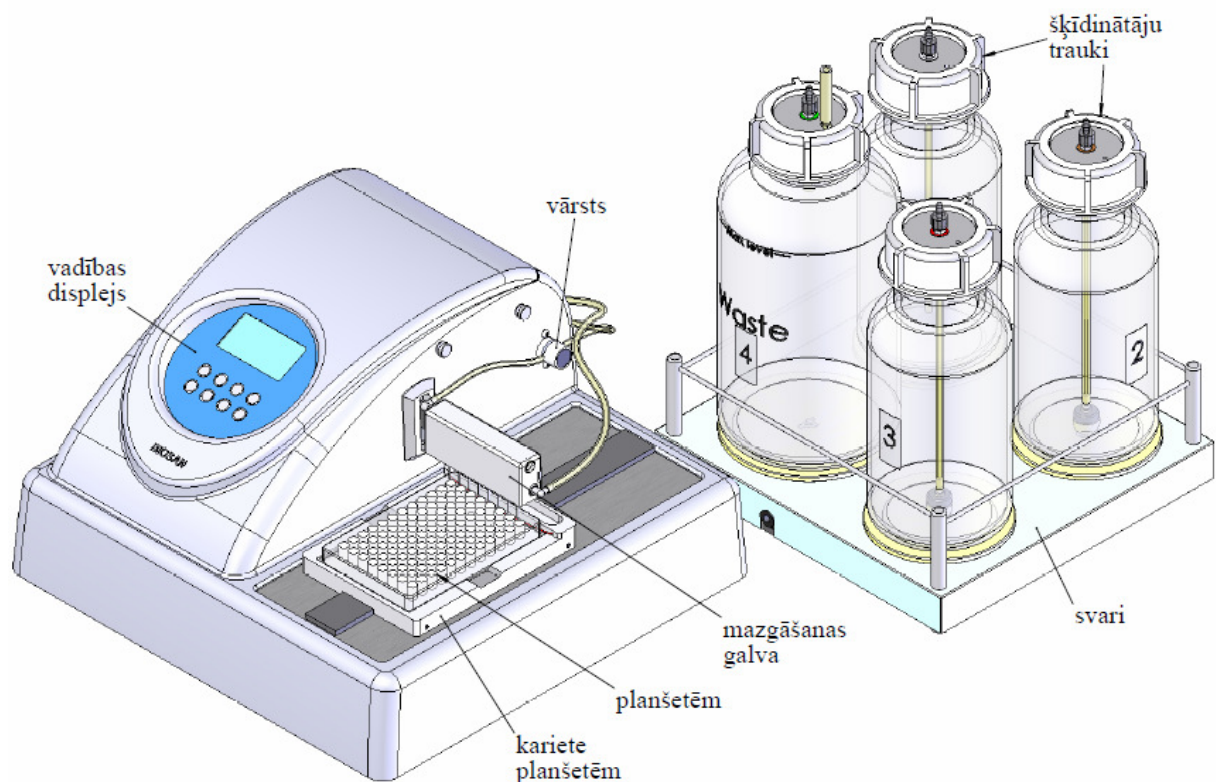


5.31. att. Aspirācijas veidi

5.4.2. Mikroplašu mazgātāja darbība shēma, projektēšana un pozicionēšana

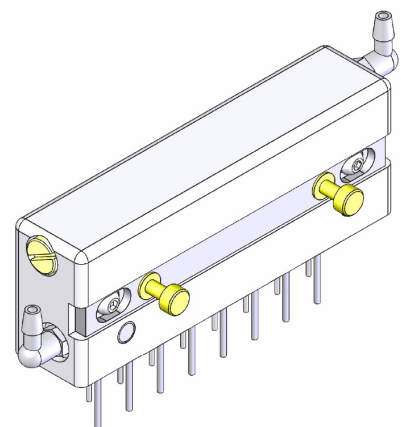
Mikroplašu mazgātājs ir ļoti savdabīga iekārta, kas apkopo sevī gan mehāniskās, gan elektriskās, gan šķidrums plūsmas īpašības vienkopus. Turklāt visām trijām lietām jādarbojas mijiedarbībā vienai ar otru, kas iekārtas vadību un kontroli padara sarežģītāku.

Visas mehāniskās daļas un kinemātiskās sistēmas sākotnēji tiek modelētas datorprogrammā (šajā gadījumā Solid Works). Ierīces kopskats 5.32. attēlā.



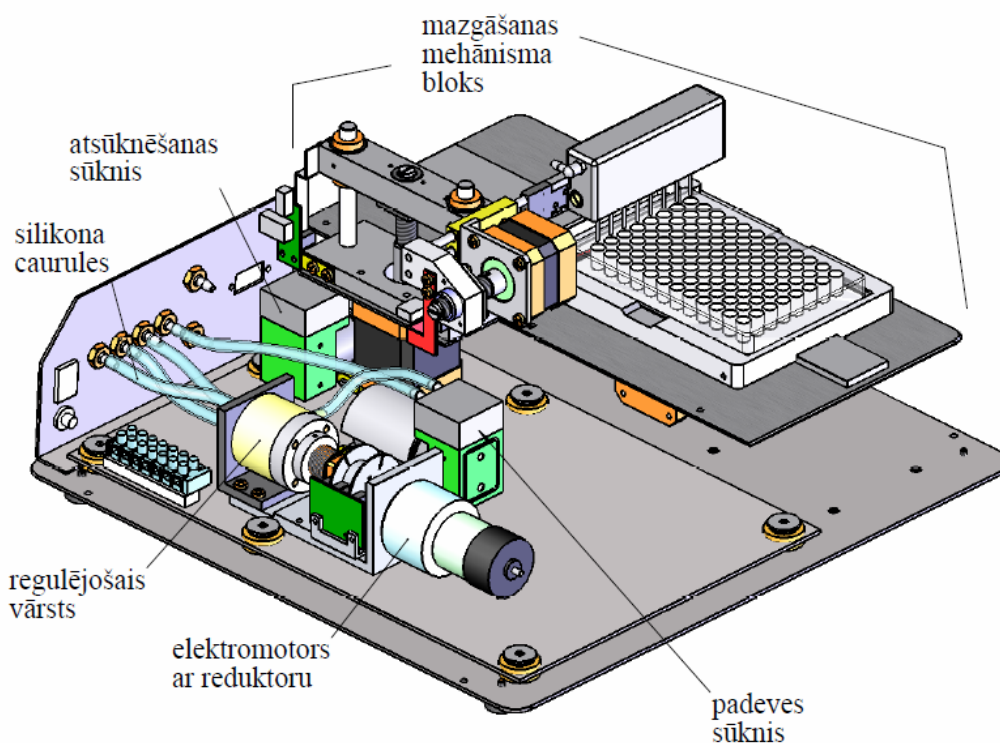
5.32. att. Rotors ar pozicionēšanas punktiem

Ierīces galvenā funkcija ir aprakstīta jau iepriekš – mazgāt dažāda tipa planšetes. Iepildīšanas un nosūkšanas procesu veic „galva” (skatīt 5.33. attēlu), kurai divās rindās ir pa astoņām adatām. Īsākas adatas ir ielejošās, garākās – nosūknējošās. „Galva” pie ierīces nav pieskrūvēta vai kā citādi piestiprināta. Tā atsevišķi uzliekas, turklāt, lai tā nenokristu, tajā ir iebūvēti magnēti, kas pievelkas pie pretējo polu magnētiem kas ir iestiprināti galvas turētājā.



5.33. att. Mazgāšanas „galva”

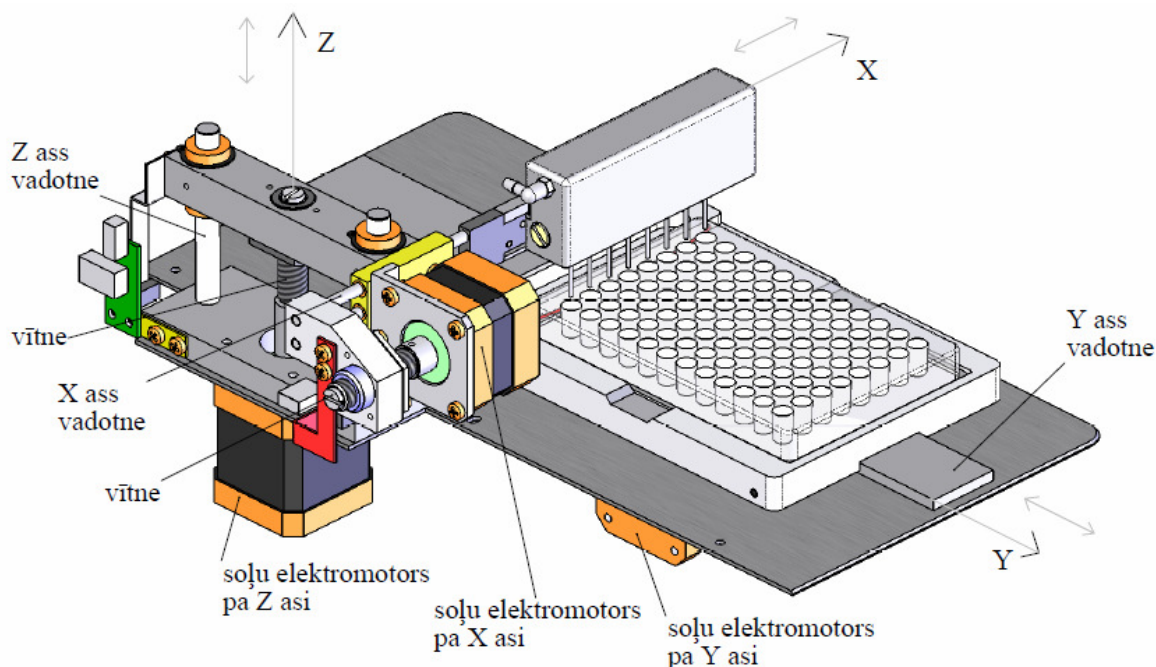
Nedaudz par ierīces iekšējo struktūru (5.34. attēls).



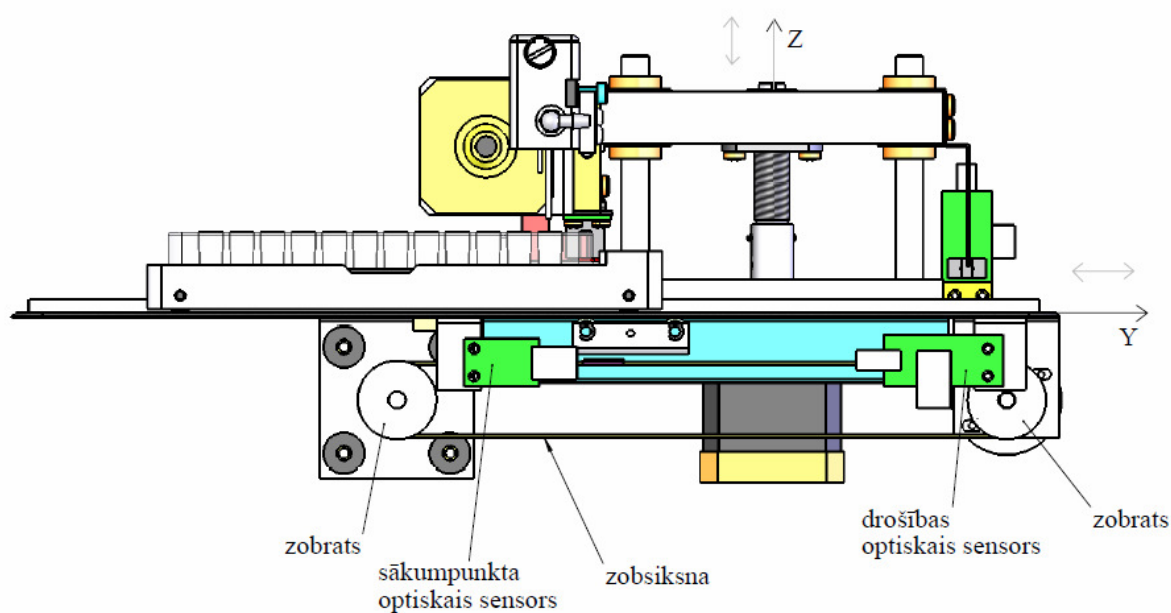
5.34. att. Iekārtas iekšējā struktūra

Šķidruma ņemšana notiek no pudelēm kas atrodas uz svariem. Svaru funkcija ir kontrolēt šķidruma daudzumu pudelēs. Sūkņēšanas procesu veic padeves sūknis. Pirms šķidrums nonāk līdz padeves sūknim, tas iziet caur regulējošo vārstu. Vārsts pārslēdz šķidruma plūsmas kanālus, citādāk sakot traukus, no kuriem jāņem šķidrums. Jāatzīmē tie nav parasti šķidrumi, bet gan ķīmiski aktīvi. Tāpēc te arī ir pielāgota materiālu izvēle. Ne katrs materiāls spēj ilgstoši izturēt ķīmiski sārmainas vides. Vārsts ir pašu izgudrots. Tā vadība tiek kontrolēta ar optiskajiem pāra sensoriem. No padeves sūkņa šķidrums plūst uz mazgāšanas galvu, kur tas tiek saliets planšetes bedrītēs. Tikai šo liešanas procesu kontrolē elektromagnētiskais vārsts, kurš ir redzams 5.32. attēlā. Un te nu arī ir ļoti būtisks moments. Padeves sūknis nestrādā nepārtraukti. Jo kā gan viņš varētu darboties, ja vārsts ir aizvērts. Sūkņa un vārsta darbība ir ārkārtīgi saskaņoti un sinhroni. Kad vārsts atveras, lai piepildītu planšetes bedrītes vienu rindu, arī padeves sūknis ieslēdzas vienlaicīgi. Un otrādi, vārstam aizveroties, atslēdzas arī sūknis. Tādā veidā darbojas ieliešanas mehānisms. Nosūkņēšana ir daudz vienkāršāka. To dara atsevišķs sūknis, kurš darbojas nepārtraukti visa nosūkšanas cikla garumā.

Lai varētu veikt nepieciešamos aspirācijas veidus (skatīt 5.31. attēlu), ierīcei ir jākustas pa visām asīm – X, Y un Z asi. Pa Y asi tiek virzīta kasete, kurā atrodas planšete. Pa X un Z asīm tiek vadīta mazgāšanas galva. Mazgāšanas bloka kinemātisko shēmu skatīt zemāk 5.35. un 5.36. attēlā.



5.35. att. Mazgāšanas mehānisma bloks

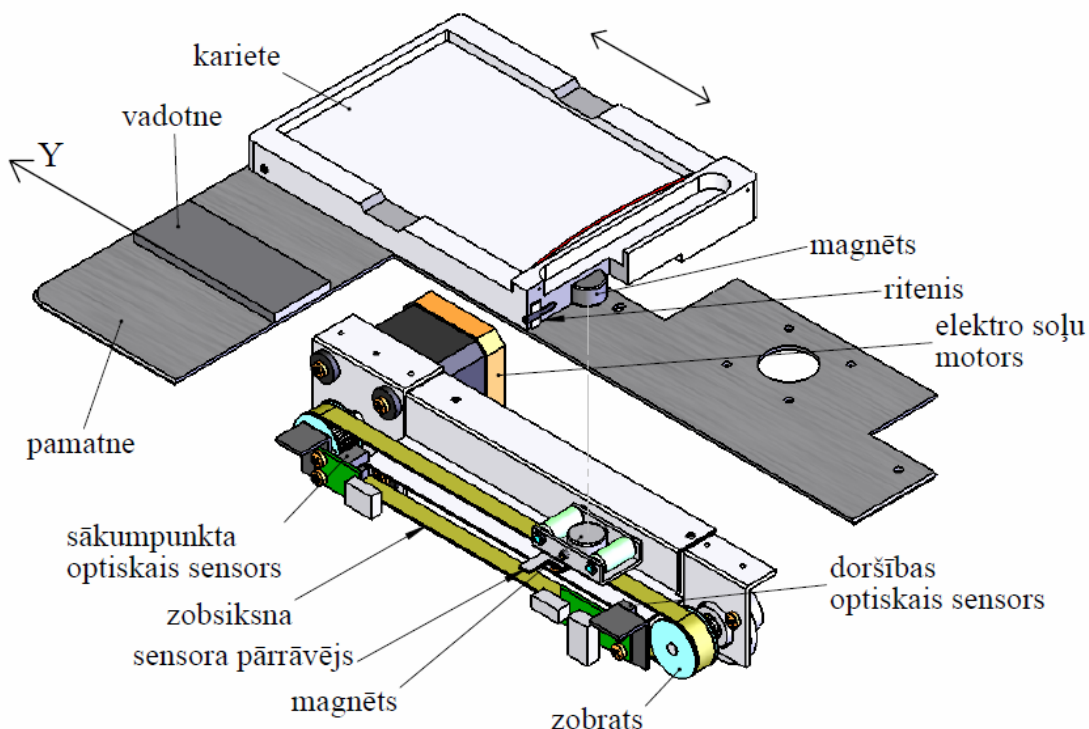


5.36. att. Mazgāšanas mehānisma bloks

Pārsvarā robotviedīgās ierīces, kas kustas pa X un Y asīm atrodas uz vienas komponentes, kā tas arī ir ar divām iepriekš aplūkotajām ierīcēm. Bet ar šo ierīci ir savādāk. Kariete, kas kustas pa Y asi atrodas uz atsevišķa darba galda un kustās tikai pa šo asi. Arī šis faktors dara šo ierīci atšķirīgu no citām un arī sarežģītāk regulējamu un vadāmu.

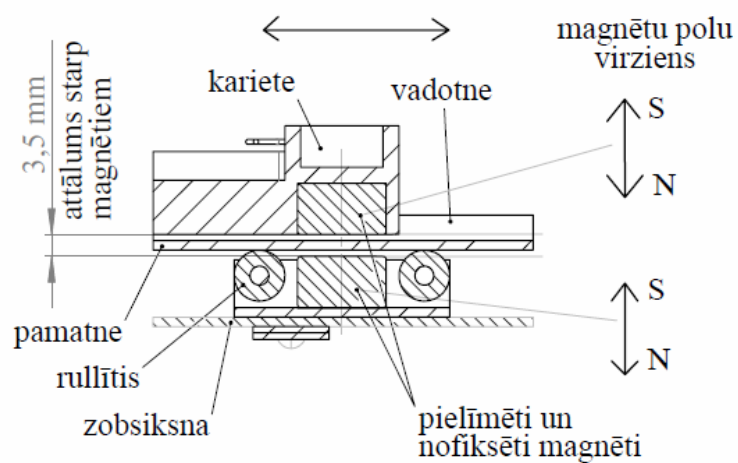
Aplūkosim nedaudz tuvāk kā tiek vadīta ierīce atsevišķi pa asī.

Attēlā 5.37. parādīta karietes kustība, kas ir tikai pa Y asi.



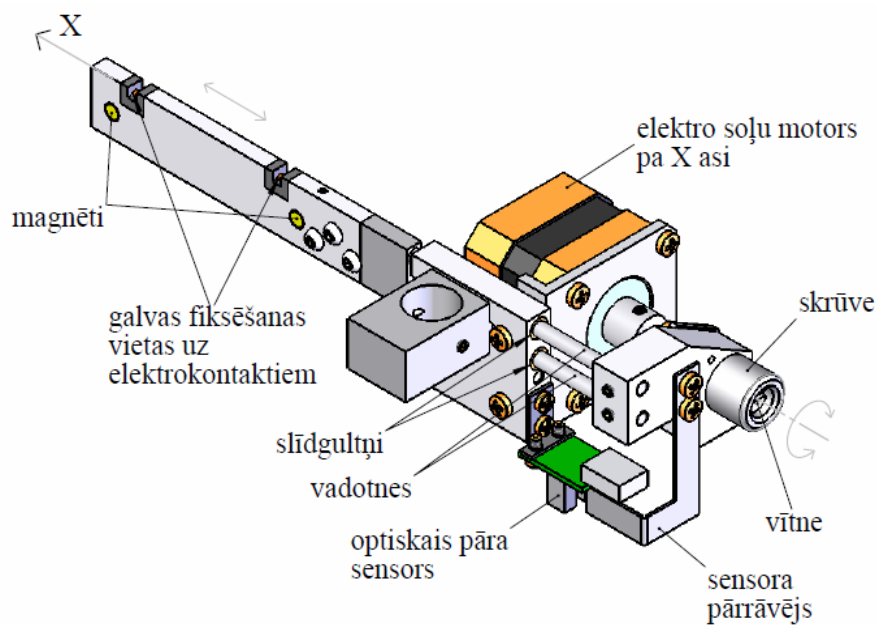
5.37. att. Y ass kinemātiskā shēma šķērsgriezumā

Tātad, kā attēla redzams, sistēmas piedziņu veic soļu motors, uz kura ir nofiksēts zobrats, kas kustina zobiksnu. Tas viss atrodas zem galda virsmas. Jāatzīmē, ka kariete pa galda virsmu kustas uz ritenīšiem, un, kariete ir noņemama no darba virsmas. Tātad kariete un zobiksna nav mehāniski satītas savā starpā. Droši vien uzmanība ir pievērsts magnētam, kas atrodas zem darba galda virsmas un magnētam, kas atrodas kariatē. Šie magnēti ir pretēji ar vērstiem poliem, tātad viens pie otra pievelkas. Tie ir magnēti, kas atrodas visspēcīgāk pievelkošo kategorijā. Darba galds, kā arī pārējās komponentes, kas ir tuvumā magnētiem ir no nerūsējošā tērauda gatavotas vai citiem plastikāta materiāliem, tādiem, kas nepievelk magnētu. Kā jau var saprast karietes kustība tiek nodrošināta ar magnētu palīdzību. Magnēts, kas kustās pa zobiksnu pastāvīgi velk sev reizē karieti, kas atrodas otrpus darba galdam. Shematiski tas parādīts 5.38. attēlā. Vadības algoritms ir aprakstīts programmā. Sistēmas atskaides punktu fiksē optiskais pāra sensors.



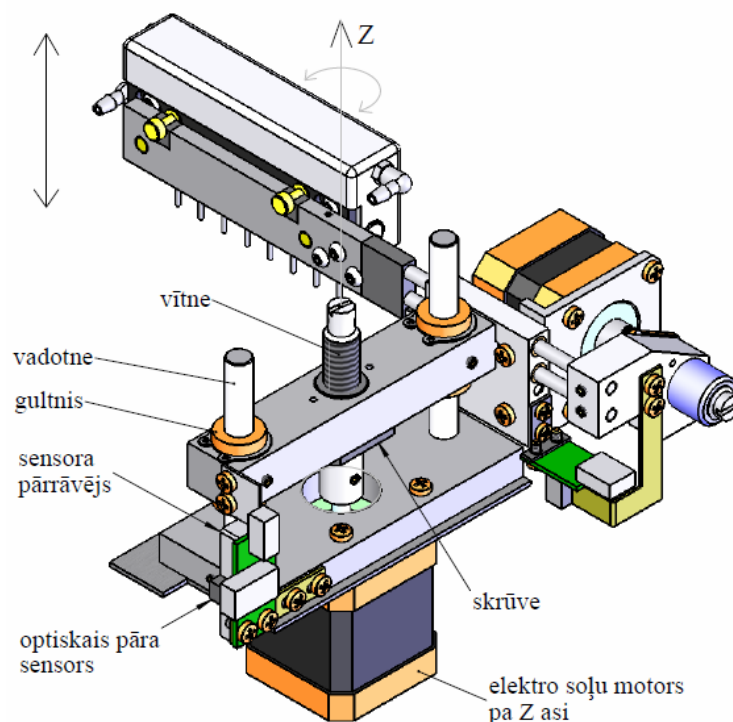
5.38. att. Karietes kustības mehānisms

Attēlā 5.39. kustības shēma pa X asi. Kustību nodrošina soļu motors, kurš griež vītne piedziņu. Arī šai koordinātu sistēmai ir savs darbības sākuma punkts, kuru fiksē optiskais sensors.



5.39. att. X ass kinemātiskā shēma

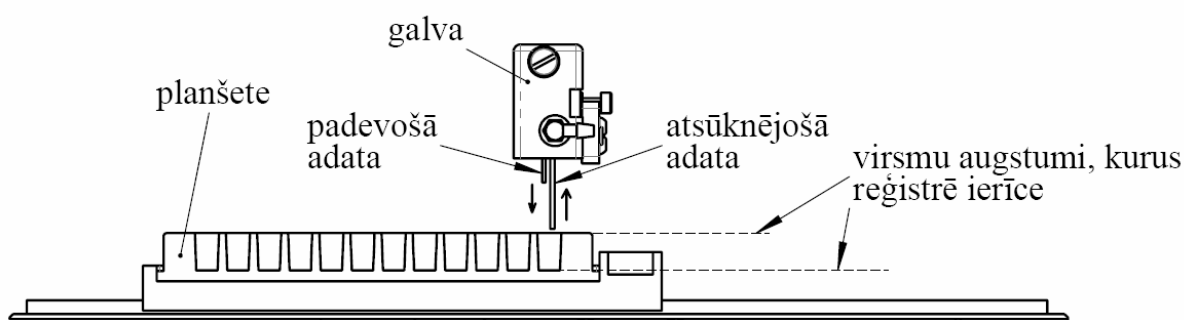
Attēlā 5.40. parāda sistēmas kustība pa Z asi. Arī šeit vertikālā kustība tiek nodrošināta ar vītņes piedziņu un izejošo sākpunktu fiksē optiskais sensors.



5.40. att. X ass kinemātiskā shēma

Šiem visiem mezgliem ir jādarbojas ļoti saskaņoti. Attēlā 5.31. ir redzams kādas kustības veic ierīce: punktveida, aplveida un kvadrātiskas. Jāatgādina, ka X un Y ass komponentes nav savstarpēji saistītas. Un tieši šis faktors dara sarežģītu precīzu vadību un pozicionēšanu. Mazgāšanas palaišanas programma, kā arī visi pārējie iestatījumi darbinās no vadības displeja.

Ir vēl kāds svarīgs faktors ko ierīcei ir jādara – jāreģistrē planšetu augstums un bedrītes dziļums (skatīt 5.41. attēlu).



5.41. att. Mazgātāja bloks

Planšetes izmēru ziņā var atšķirties, tāpēc ierīcei jāzina ar kādas tās ir un to arī dara. Lai nerastos mehāniski bojājumi galvas atsūkņējošās adatas reģistrē un atstāj atmiņā planšetes virsmas augstumu un bedrītes dziļumu. Pēc tā izdarīšanas sākot mazgāšanas ciklu, adatu gali kustās nedaudz augstāk no reģistrētajām virsmā. Tādējādi neaizķerot planšetes augšu un neskrāpējot bedrīšu pamatni, kas ir ļoti svarīgi. Bet kā notiek pati reģistrēšana? Iepriekš attēlos varēja redzēt, ka galva tiek uzlikta uz speciāliem elektrokontaktiem. Tādējādi tiek noslēgta aplveida elektriskā ķēde. Virzoties mazgāšanas galvai uz leju un atduroties pret pirmo šķērslī, kāds no kontaktiem atraujas no pretējā kontakta, un noslēgtā ķēde tiek pārtraukta. Tādā veidā šīs virsmas arī tiek reģistrētas.

5.5. Nodaļas secinājumi

Šajā nodaļā tika aplūkotas četras iekārtas ar dažādiem vadības uzdevumiem, kas konstruētas un izgatavotas uzņēmumā SIA „Biosan”. To pielietojums paredzēts medicīnas laboratorijās analīžu diagnostikas veikšanai. Iekārtām ir sava sarežģītības pakāpe un funkcija.

1. Pirmā no aplūkotajām ierīcēm ir planšetes fluorimetrs. Fluorimetra kinemātiskās vadības shēma bāzējas kustībā pa X un Y asi. Projektējot šo iekārtu tika domāts par iespējami primitīvu konstrukciju. Tika izvēlētas apaļas vadotnes un slēgti gultņi, cenšoties izvairīties no lieliem berzes spēkiem, kas konstrukcijas ekspluatācijā ar laiku varētu pieaugt, tādējādi vadības precizitāte varētu zust. Kā svarīgākais faktors sistēmas vadībā ir tās robežātrumi: sistēmas ieskriešanās līdz uzdotajam ātrumam V_1 , tad maksimāli strauja bremzēšana līdz otram uzdotajam ātrumam V_2 , un tad cikliski pārslēdzoties starp šiem uzdotajiem ātrumiem. Turklāt ejot šo ciklu ir jānodrošina precīza sistēmas vadība: no sākuma punkta pa uz doto trajektoriju jānokļūst gala punktā un tad jāatgriežas uz nulles punktu. Pēc projektēšanas darbiem veiksmīgi tika izgatavots arī pirmais prototips.

2. Nākošā, un viena no svarīgākajām ierīcēm ir biočipu robots. Tā uzdevums ir uz stikla virsmas iespiest punktus. Kāpēc svarīgākajiem? Jo tas ir viens no smalkākajiem un precīzākajiem laboratorijas mehānismiem pasaulē. Robota galvas pārvietojums notiek pa visām trijām X, Y un Z asīm ar precizitāti $\pm 0,01$ mm. Lai nodrošinātu augsto precizitāti projektējot tika izvēlēta vītnes tipa piedziņa, kā arī katram dzinējam klāt pielikta vadības mikroshēma, kas dzinēja soļus sadala vēl uz daudziem soļiem, tādējādi panākot vēlamo rezultātu. Konstruējot iekārtu īpaša vērība tika pievērsta detaļu izmēru pielaidēm. Ļoti

svarīgas bija detaļu paralelītātes un perpendikularitātes, citādi kāda no komponentēm sāktu vienkārši ķīlēt, kas radītu traucējumus dzinēju darbībā.

3. Sava veida interesants un inovatīvs ir arī nākošais aplūkots produkts - daudzkanālu fluorimetrs ALA-1/4. No mehāniskā viedokļa tā darbības princips ir rotācijas kustība un pozicionēšana punktos to izmantojot. Sarežģītību vadībai piešķir optikas kanāls, caur kuru tiek veikti laboratoriskie mērījumi, tāpēc komponentu nostāšanās vajadzīgajos punktos ir ļoti svarīga.

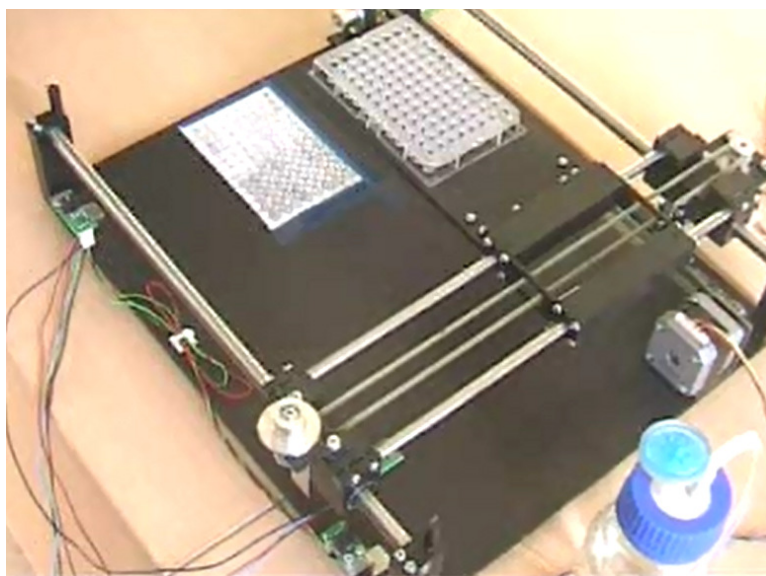
4. Kā pēdējais aplūkots ir mikroplašu mazgātājs 3D-IW8. Šis ir viens no sarežģītākiem un „prasīgākajiem” aparātiem uzņēmumā. Kā tika minēts tā uzdevums ir mazgāt dažāda tipa standarta mikrotilpuma plates. Projektēšanas uz izstrādāšanas darbi prasīja laika ietilpīgus darbus. Iekārta ir sarežģīta no vadības viedokļa, kad divām atsevišķām vadības sistēmām ir jāveic saskaņoti kopīgs uzdevums. Klāt visam sarežģītību piešķir šķidruma precīzā dozēšana, kura konstrukcija ir mainījusies vairākas reizes līdz atrast labākais variants. Kustības nodrošināšanai tik pielietoti gan vītnes tipa mehānismi, gan zobsiksnas piedziņa. Turpretī karies bezkontakta vadīšana bija arī visnotaļ nopietns uzdevums iekārtas vadības procesā, jo precizitāte te arī ļoti stingra prasība. Detaļu materiālu izvēle (apstrādes īpašības un noturība laika gaitā), izmēru „noturēšana”, kinemātiskās shēmas izstrāde un vadības precīzā nodrošināšana arī padara šo iekārtu par ārkārtīgi sarežģītu.

5. Visas šīs iekārtas ir projektētas Solid Works programmatūrā, kas ir ļoti piemērota trīsdimensiju detaļu, rasējumu un kinemātisko shēmu izstrādē. Protams, projektējot iekārtas tiek ņemts vērā ļoti svarīgs faktors – tā izmaksas. Tāpēc izstrādājot iekārtas tiek meklēti optimālie varianti kā sabalansēt nepieciešamības ar iespējām, lai rezultātā iekārtas gala cena būtu optimāla tirgus piedāvājumam.

6. POZICIONĒŠANAS SISTĒMU IZMĒĢINĀŠANA SIA „BIOSAN”

6.1. Planšetes fluorimetra prototips

Jau tika minēts, ka ierīce vēl nav līdz galam izstrādāta. Pagaidām tā ir kā prototips, ar kuru tiek strādāts un veidots vadības algoritms. Kā jau vairums iekārtu, arī šī pirmatnēji konstruēta datorprogrammā. Attēlā 6.1. ir redzams jau prototipa gatavais kinemātikas bloks. Pilnais prototips redzams 5.1. attēlā.



6.1. att. Planšetes fluorimetra prototips

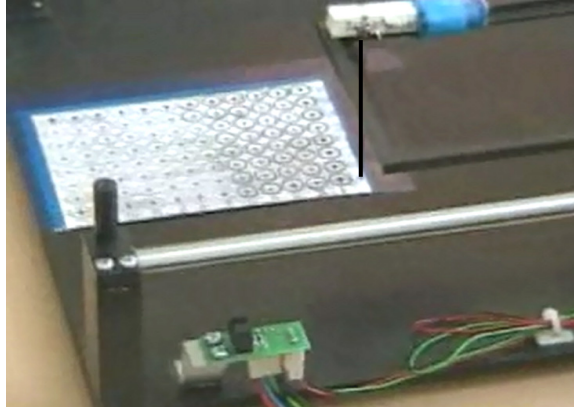
Ierīces vadībai tiek sastādīta datorprogramma, kur arī tiek mainīti visi vadības parametri. Svarīgākais aspekts ir soļu motora (skatīt 6.2. attēlu) vadības optimizācija, jo ļoti būtisks faktors ir ierīces ātrdarbība. Balstoties uz šajā darbā izskatīto un aprakstīto pozicionēšanas sistēmu vadības optimizāciju un sintēzi, tiek arī panākts ierīces darbības vajadzīgais efekts.

Kustības vadības mehāniskā shēma ir aprakstīta 5.1.3. nodaļā, kā arī parādīta vadības shēma ar dieviem ierobežojošajiem ātrumiem.



6.2. att. Piedziņas soļu motors

Attēlā 6.3. ir parādīta ierīces vadība, kurai izveidota eksperimentāla programma. Tā vada ierīces galvu pa imitētu planšeti ar dieviem ierobežojušiem ātrumiem, sākot kustību no nulles punkta, izejot visu ciklu un atgriežoties sākuma punktā.

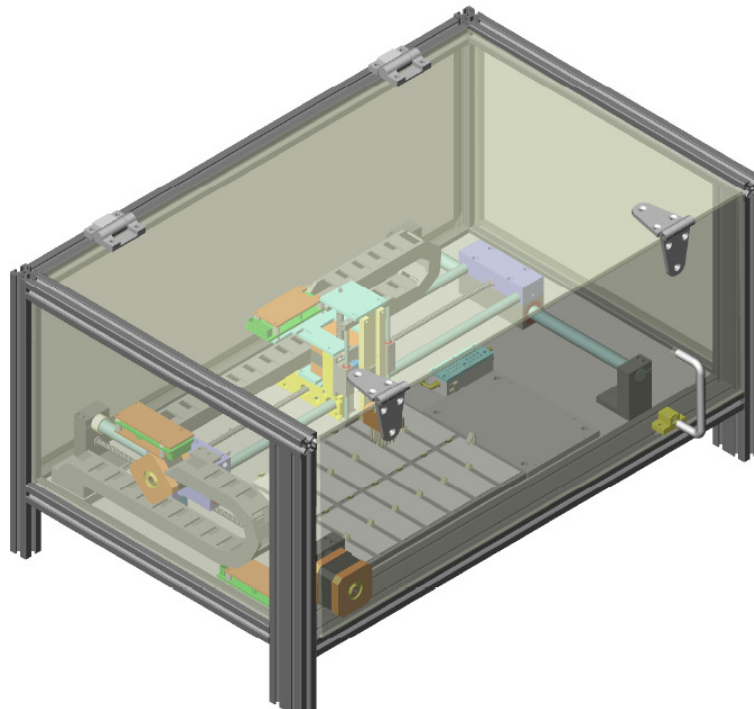


6.3. att. Ierīces eksperimentālā vadība

Skatoties uz ierīces reālu kustību, ir vieglāk izprast nepieciešamās nianšes, kas būtu jāoptimizē tās vadības algoritmā.

6.2. Robota ierīce

Attēlā 6.4. redzama ierīce uzprojektēta Solid Works vidē.



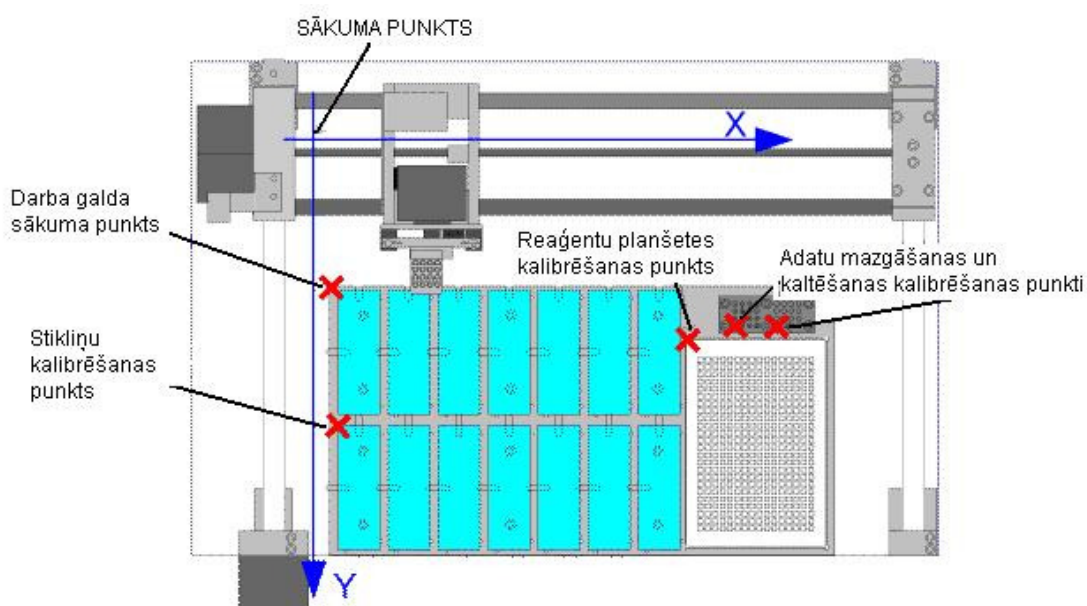
6.4. att. Biočipu robots datora simulācijā

Šī ierīce ir visprecīzākā vadības ziņā no visām aplūkotajām. Lielā precizitātē, iepriekš minēts, tiek panākt ar mikrostepiem.



6.5. att. Biočipu robots

Ierīces vadība notiek ar datora palīdzību. Visa kustība sākas no sākuma jeb nulles punkta. Bet ir viena nianse. Ierīcei ir maināma darba galda virsma. Proti, ir iespēja uzlikt punktus gan uz stikliņa virsmām, gan planšetēs. Bet mainot šīs virsmas var rasties nobīdes, un ierīce veicot ierakstīto vadības algoritmu var kļūdīties. Tāpēc tai ļoti svarīgs process ir kalibrēšana.



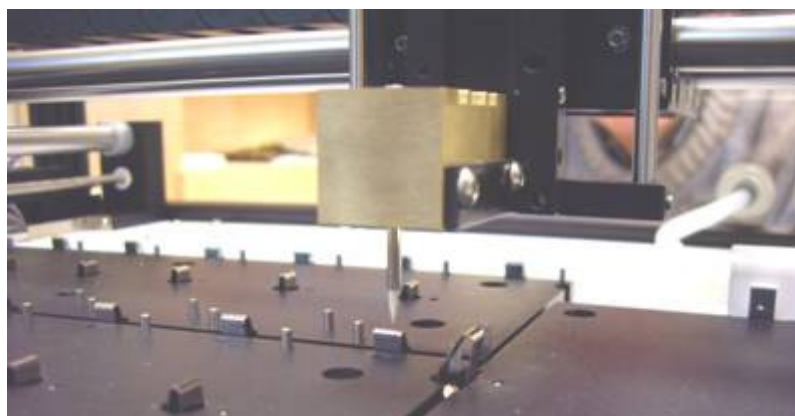
6.6. att. Robota kalibrēšanas punkti

6.6. attēlā parādīti robota kalibrēšanas vietas. Katram atsevišķam robotam ir sava kalibrēšana. Šie punkti ir ļoti svarīgi. Gadījumā ja darba ciklā rodas kāda nobīde, lai nesāktu visu no jauna, ierīce atceras šos nokalibrētos punktus un atjauno darba ciklu paredzētajā režīmā. 6.7. attēlā redzama ierīces kalibrēšana.



6.7. att. Robota kalibrēšanas process

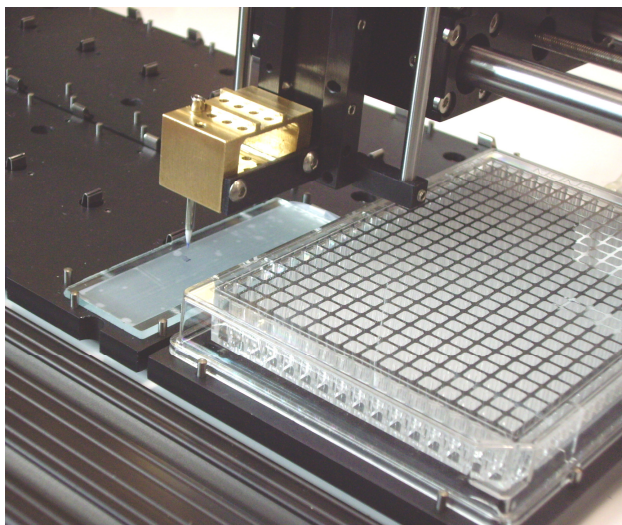
6.6. attēlā parādīti kalibrēšanas punkti no augšas, tas ir, pa X un Y asīm. Bet tā notiek arī augstuma regulēšanai, jeb Z asi.



6.8. att. Robota augstuma kalibrēšana

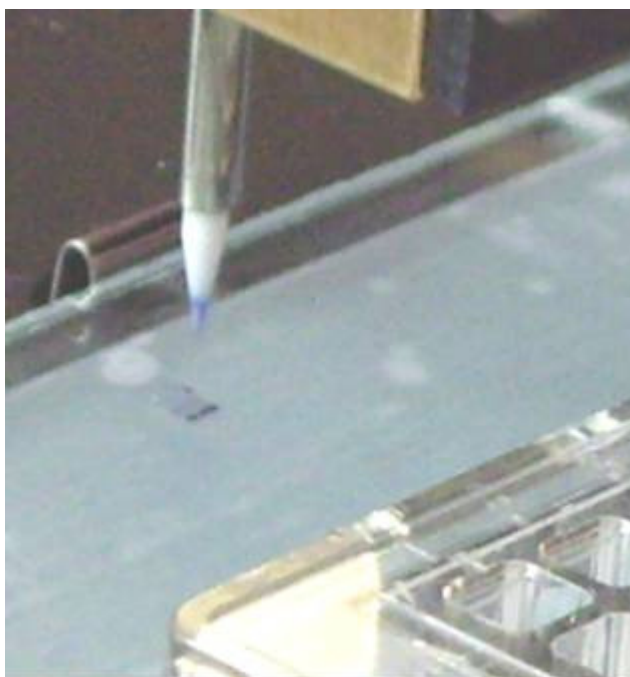
Augstuma regulēšana ir paredzēta laika ietaupīšanai, kā arī izlietotās enerģijas mazināšanai. Ātrdarbība ir viens no ierīces būtiskākajiem faktoriem. Protams, ierīcei varēja būt konstants augstuma regulējums, kas derētu abām darba galda virsmām, bet tas ir lieks soļu motora gājiens, un daudz lieka laika patēriņš. Tāpēc tāda lieta ir ļoti nozīmīga.

Kad kalibrēšana ir beigta tiek veikta robota testēšana uz punktu iespiešanu (6.9. attēls).



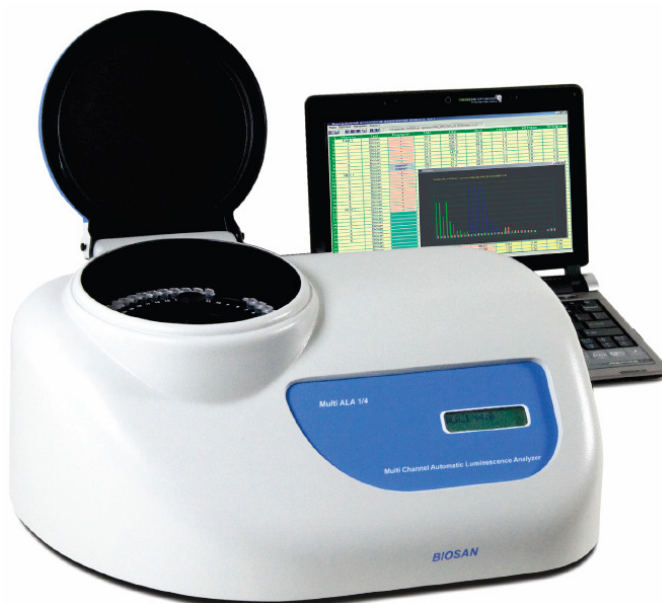
6.9. att. Robota testēšana

6.10. attēlā parādīti uzspiestie punkti tuvplānā. Ierīce ir veiksmīgi izgājusi visas kalibrēšanas un testēšanas darbības, un var tikt droši nosūtīta tālākai tās darbības realizācijai.



6.10. att. Uzspiestie punkti tuvplānā

6.3. Fluorimetrs ALA-1/4



6.11. att. Fluorimetrs ALA-1/4

Nodaļā 5.3. ir jau izklāstīta ierīces darbība un struktūra. Tātad tās vadība ar datora palīdzību. Ierīce ir veiksmīgi izstrādāta un iet sērijveida ražošanā. Kā iepriekš minēts, tai ir pielāgoti divu veidu rotoru (skatīt 6.12. un 6.13. attēlu): priekš 48 mēģenēm ar tilpumu 0.2 ml un 36 mēģenēm 0.5 ml.



6.12. att. Rotors R-48/0.2



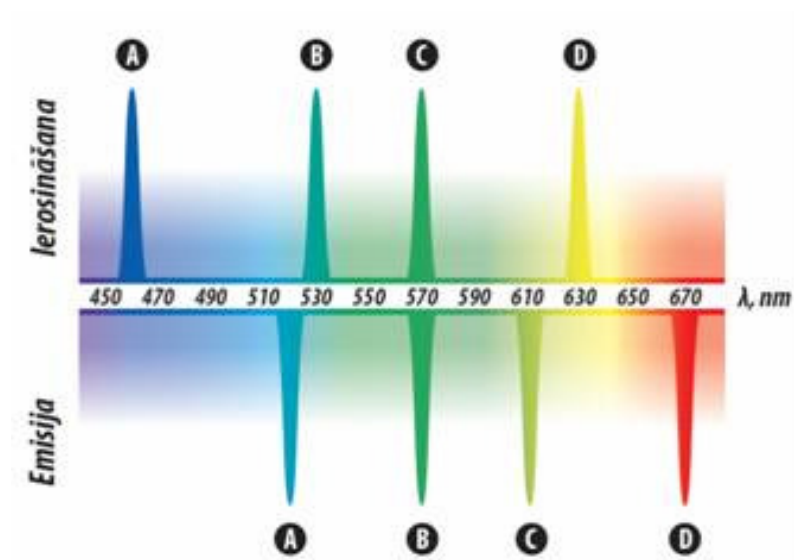
6.13. att. Rotors R-36/0.5

Tāpat tika minēts arī par dažādiem mērīšanas viļņa garumiem. Viens ir ierosmes viļņa garums, otrs emisijas, jeb uztverošais viļņa garums. Gaismas filtri ir augstas kvalitātes stikliņi, kas sev cauri laiž tikai noteiktu gaismas viļņa garumu, jeb noteiktu gaismas krāsu (6.14. attēls).

Izstarošanas un pieņemšanas gaismas spektri parādīti 6.15. attēlā.



6.14. att. Gaismas filtri



6.15. att. ALA-1/4 Ierosinošo/Emisijas viļņu garumu grafiks

Eksporta un inovācijas balva 2010.

Ir jāatzīmē kāds ļoti būtisks fakts. Tieši šī ierīce 2010. gadā izpelnījās lielu slavu ar savu inovatīvi, kas arī saņēma nozīmīgu balvu. Zemāk daļa citējuma no publicētā raksta [22]: Konkursa rezultāti ir atspoguļoti 1. pielikumā [23].

„Ekonomikas ministrijas un Latvijas Investīciju un attīstības aģentūras rīkotajā konkursā "Eksporta un inovācijas balva 2010" eksportspējīgākā komersanta kategorijā mazo uzņēmumu grupā 1. vietu ieguvis uzņēmums "Biosan", kas konkursā piedalījās ar unikālu pašu izstrādātu produktu – daudzkanālu luminiscences analizatoru "ALA – 1/4". Ar šīs laboratorijas ierīces palīdzību iespējams konstatēt dažādu infekciju esamību cilvēka organismā, tai skaitā arī vairākas seksuāli transmisīvās infekcijas.

Ar šīs laboratorijas ierīces palīdzību iespējams konstatēt dažādu infekciju esamību cilvēka organismā, tai skaitā arī vairākas seksuāli transmisīvās infekcijas.

Jaunā ierīce ļauj aizstāt līdz šim klasiski izmantoto infekciju analīzes metodi – elektroforēzi, kas ir darbietilpīga, turklāt apkārtējai videi kaitējoša. Tā kā jaunā ierīce ļauj veikt analīzes parauga izpēti slēgtā mēģenē, tiek novērsta apkārtējās vides inficēšanās iespēja, padarot analīzes procesu videi nekaitīgu. Tāpat, izmantojot "ALA – 1/4", iespējams veikt analīzi par 2-3 stundām ātrāk nekā līdz šim, turklāt, kas īpaši svarīgi, - samazināt laboratorijā nepieciešamo iekārtu skaitu, līdz ar to 2-2,5 reizes samazinot izmaksas.

Ierīce izstrādāta sadarbībā ar Krievijas epidemiologiem, kas nodarbojas ar reaģentu komplektu izstrādi dažādām cilvēku infekciju slimībām, savukārt pašu ierīci izstrādājuši "Biosan" pētījumu un attīstības departamenta bioloģijas, fizikas, optikas, elektronikas u.c. jomu speciālisti. 2007. gadā pēc medicīniskā sertifikāta saņemšanas analizators ieviests Latvijas, Krievijas, Ukrainas, Kazahstānas un citu bijušo NVS valstu tirgos."

6.4. Inteliwasher 3D-IW8



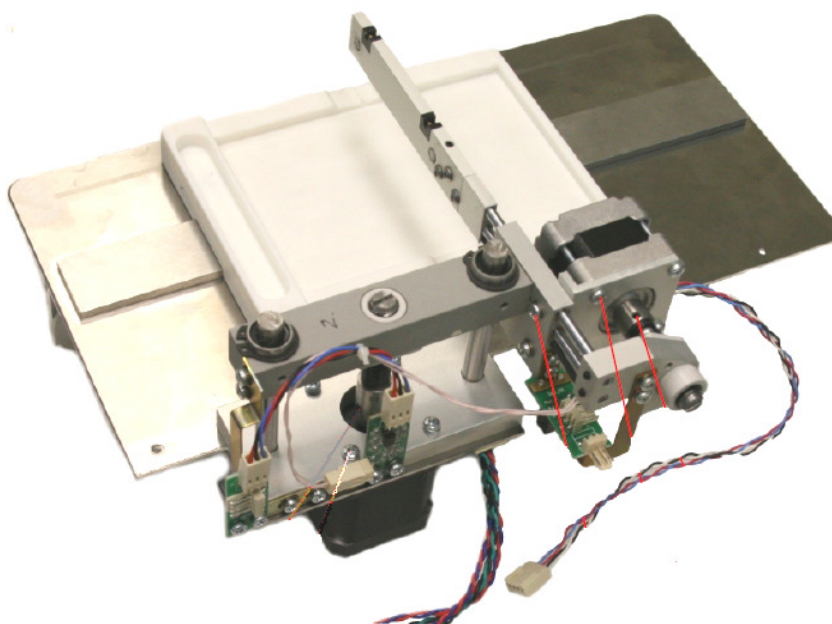
6.16. att. Mikroplašu mazgātājs

Ierīces uzbūve, tās galvenie uzdevumi, vadība un pozicionēšanas īpatnības ir jau aprakstītas 5.4. nodaļā. Attēlos 6.16. un 6.17. ir redzams jau gatavs izgatavots aparāts, kuram jāveic testēšana.

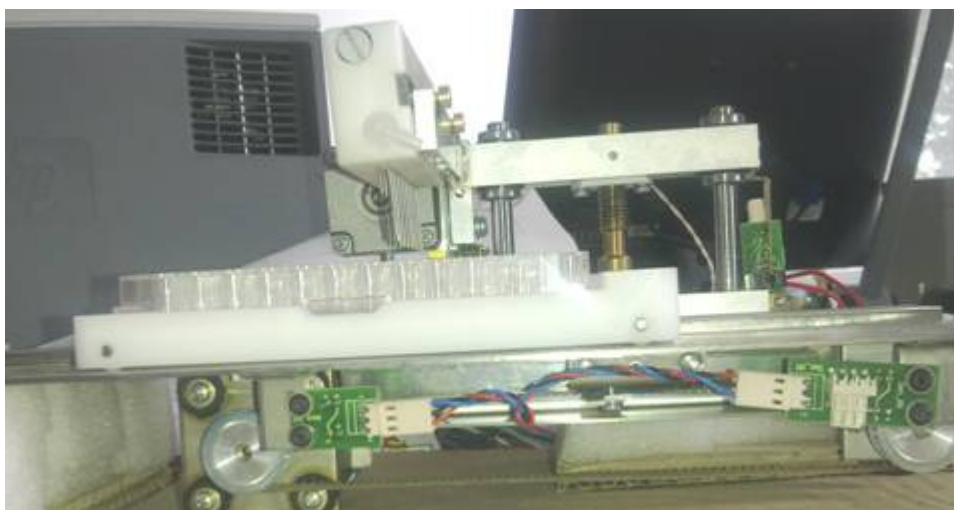


6.17. att. Mikroplašu mazgātājs

Kā jau minēts, ierīcei ir sarežģīta vadība. Specifika ir tur, ka X un Y ass komponentes ir savstarpēji nesaistītas. Un arī to piedziņas veids atšķiras, pa Y asi to veic zobsiksnas, bet pa X asi vītnes mehānisms. Un tām abām kopām ir jāveido sinhrona darbība. No konstrukcijas viedokļa vissarežģītākais mazgāšanas bloka mehānisms (6.18. un 6.19. attēls). Tā montāžai ir jābūt ļoti precīzai.

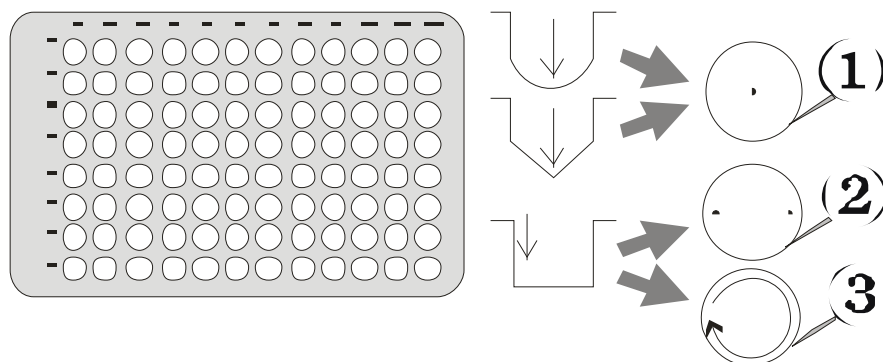


6.18. att. Washer mazgāšanas bloks



6.19. att. Washer mazgāšanas bloks sānkatā

Optimizējot ierīci un veicot tās darbības pārbaudes, ne viss bija labi kā tam vajadzēja būt. 5.4.1. nodaļā ir aprakstīti aspirācijas veidi, kas jāveic ierīcei. Attēlā 6.20. parādīti nosūkšanas. Sarežģītākais ir trešais ar aplveida kustību. Ierīces vadība ir ierakstīta procesorā, kurš sūta tālākās darbības un soļu motoriem.



6.20. att. Imūnplates nosūkšanas veidi

Šai aplveida kustībai arī tika veikts eksperiments. Kā tas notika? Vajadzēja panākt to, lai washer veiktās kustības būtu redzamas un paliekošas. Šim nolūkam tika izmantots parasts zīmulis, kurš tika piestiprināts pie mazgāšanas galvas un ar galu uz leju viegli piespiests pie papīra, uz kura, simulējot nosūkšanas ciklu, ierīce zīmēja aplveida kustības. Un eksperiments parādīja ierīces darbības nobīdes (skatīt 6.21. attēlu).



6.21. att. Ierīces eksperiments ar nobīdēm

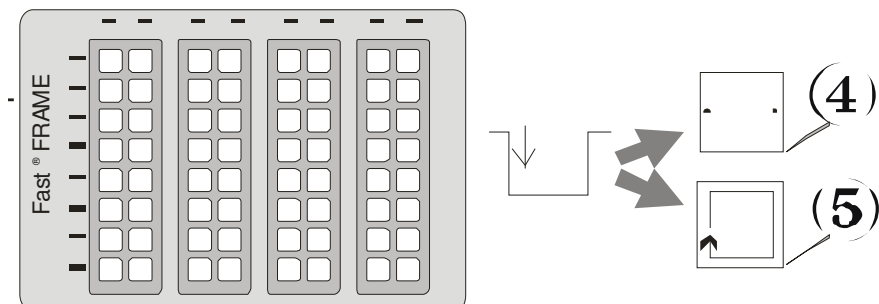
Sākotnēji bija grūti izprasts nobīdes iemeslus, jo kustībai vajadzēja būt pilnīgi apaļai. Pēc vairāku eksperimentu veikšanas, tika konstatēts kāds fakts. Kariete, kurā atrodas planšete un, kas braukā pa dara galdu, bija balstīta uz plastmasas ritenīšiem. Plastmasas plastiskums un stingums radīja papildus rites un berzes pretestību. Šis faktors arī radīja neparedzētās nobīdes.

Kā risinājums bija plastmasa ritenīšus nomainīt uz slēgta, nerūsējošā tērauda tipa gultņiem. Berzes pretestība būtiski samazinājās. To parāda eksperimenta veikšanas rezultāti (skatīt 6.22. attēlu). Tieši sārmainā vide un rūsas iespējamība bija par labu plastmasa ritenīšiem. Bet nu izdevās piemeklēt gultņus, kas spēj izturēt sārmainas un agresīvas vides.



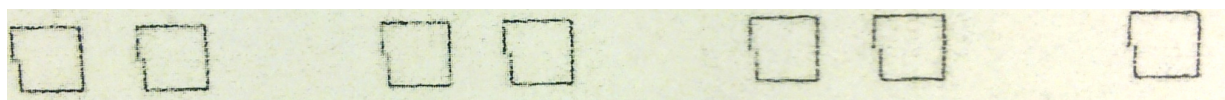
6.22. att. Ierīces eksperiments ar gultņu tipa ritenīšiem

Tāds pats tipa eksperiments tika arī veikts ar Fast frame tipa planšeti(6.23. attēls).



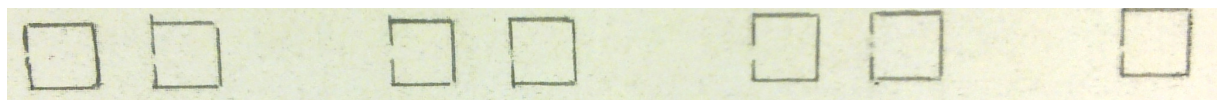
6.23. att. Fast frame nosūkšanas veidi

Un rezultāts arī bija ar nobīdi (6.24. attēls)



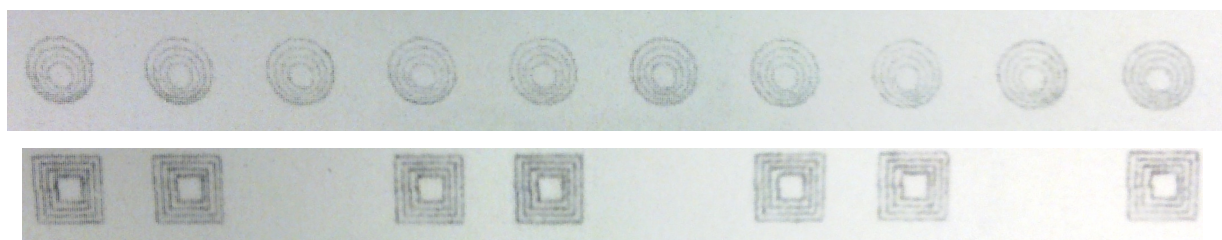
6.24. att. Ierīces eksperiments ar nobīdēm

Pēc ritenīšu nomaiņas rezultāts bija acīm redzams.



6.25. att. Ierīces eksperiments ar gultņu tipa ritenīšiem

Beigās tika veikta padziļināta ierīces vadības pārbaude. Tika mainīti cikla parametri, mazās riņķa rādiuss un kvadrāta izmēri. Rezultāts redzams 6.26. attēlā.



6.26. att. Ierīces padziļinātā vadības eksperimentēšana

6.5. Nodaļas secinājumi

Pēc ierīču izgatavošanas sākas to interesantākā daļa: darbības uzsākšana un optimālās vadības meklēšana un uzstādīšana.

1. Planšetes fluorimetrs tika izstrādāts prototipa līmenī, kas diemžēl tālāk vēl nav nonācis lielāka apjoma ražošanā finansējuma dēļ. Darbojoties pie ierīces vadības, uzsvars tika balstīts uz tās ātrdarbības optimizēšanu, kas balstās uz soļu dzinēju darbības vadību. Tika aprakstīta vadības programma, kas ļāva eksperimentēt ierīces uzvedību. Fluorimetra vadība notiek caur datoru.

2. Biočipu robots – precīzākais no aplūkotajiem. Bet, lai vadība izdotos pēc nepieciešamiem kritērijiem, ir ļoti svarīga konstrukcijas pareiza salikšana. Tāpēc pirms iekārtas eksperimentēšanas ir rūpīgi jāpārbauda konstrukcijas brīvgaite, vai nav lieku berzes spēku. Kā viens no svarīgākajiem faktoriem robota darbības uzsākšanā ir tā kalibrēšana, kas notiek katram eksemplāram individuāli. Šī iekārta sevi labi parādīja tās vadībā, ātrdarbībā un precizitātē, tāpēc tas ir veiksmīgi nonācis sērijveida ražošanā, kur tā pārdošana notiek dažādās pasaules valstīs (ieskaitot ASV).

3. Visnotaļ veiksmīga precīzas darbības ierīces ir izdevusies fluorimetrs ALA-1/4, kura vadības princips balstās uz rotējošos komponentu darbības. Ierīces vērtību parāda ne tikai tas, ka tas veiksmīgi iegājis ārvalstu tirgos, bet arī tas, ka tas ir ieguvis Latvijas eksporta un inovācijas balvu 2010.

4. Kā viena no darba ietilpīgākajām ierīcēm tās pilnveidošanas ziņā ir mikroplašu mazgātājs Inteliwasher 3D-IW8. Sarežģītības bija gan pareizas konstrukcijas pilnveidošanā, gan precīzas vadības uzstādījumos. Lielas problēmas sagādāja šķidruma dozēšanas mehānisms, kas sākotnēji bija atsevišķs mehāniskais mezgls ar dozējošu pumpi un skrūves tipa piedziņu. Taču precīzās dozēšanas dēļ ilgtermiņa gaitā bija lieli berzes spēki skrūves mezglā, kas noveda pie dzinēja darbības traucējumiem. Kā risinājums tikai izvēlēts citāda veida šķidruma dozēšanas princips (elektromagnētiskais vārsts). Tāpat konstrukcijā tika konstatētas vadības nobīdes, kas bija saistītas ar berzes un elastības spēkiem. Bet pāri visam ierīce tika veiksmīgi pilnveidota – optimizēta tā konstrukcija un izstrādās tās vadības algoritms.

7. KOPĒJIE SECINĀJUMI

1. Uz SIA „Biosan” biočipu projektēšanas bāzes un RTU Mehānikas institūtā izstrādātās optimālās sintēzes teorijas pamata radīta jauna, inversa metode pozicionēšanas sistēmu optimālai projektēšanai. Metodē sākotnēji teorētiski izpēta pamat sistēmas vadību, pēc tam uz tās bāzes sintezē sensoru un aktuātoru darbību reālās atgriezenisko saišu sistēmās.
2. Vienkāršāko lēnas gaitas ne trieciena sistēmu pozicionēšanas optimizācijas jomā pilnveidota metode izpildmehānismu (aktuātoru) vadības optimizācijai ar spēka ierosmi. Metodes pamatā ir optimālās spēka vadības atrašanas algoritms, kas ievēro fāzu koordinātu ierobežojumus.
3. Ātrgaitas mehāniskās sistēmās ar sadursmēm izstrādāta jauna metode pozicionēšanas sistēmu vadības optimizācijai ar impulsu ierosmēm. Vadības impulsiem ievēroti ierobežojumi uz impulsu lielumiem un to sekošanas laika intervāliem.
4. Izstrādāta jauna metode pozicionēšanas sistēmu optimizācijā ar jauktu (spēka un impulsa) ierosmi pie kustības ar gadījuma parametriem. Galvenā metodes īpašība ir tā, ka ir divas principiāli atšķirīgas vadības: viena vadība tiek ģenerēta ar spēka ierosmēm, otra vadība tiek realizēta ar sadursmēm pret citiem objektiem. Papildus vadības efektivitāte pārbaudīta, modelējot sistēmas ar gadījuma ierosmēm.
5. Uz programmas MathCad bāzes izstrādātas 6 vadības uzdevumu sintēzes programmas, kuras pielietojamas inženieru sintēzes uzdevumu aprēķinos, realizējot atgriezeniskās saites ar sensoru, aktuātoru un vadības datora palīdzību.
6. Teorētiski sintezētas jaunu biočipu robotizētu izpildmehānismu (aktuātoru) vadības iekārtas, uz kuru bāzes iespējams radīt jaunas ātrdarbīgas pozicionēšanas iekārtas.
7. Ar Solid Works programmatūru izprojektēti un nodoti ražošanā reāli vadības mehānismi un robotizētas iekārtas, kas pārbaudīti eksperimentāli, un, kuri darbojas ASV un citās valstīs. Katra iekārta atšķiras ar savu struktūru un vadības specifiku. Bet visām ir kopīgi uzstādījumi – ātrdarbība un precizitāte. Strādājot pie šo faktoru attīstīšanas un optimizēšanas, ir veiksmīgi izgatavotas iekārtas, kas veic tām uzstādītas funkcijas laboratoriju telpās. Šīs iekārtas ir:

- planšetes fluorimetrs;
- biočipu robots;
- daudzkanālu fluorimetrs ALA-1/4;
- mikroplašu mazgātājs 3D-IW8.

8. Bet atskatoties uz šo no cita skatu punkta, ir prieks par atsevišķu iestāžu uzdrīkstēšanos darboties šādās specifiskās jomās. Tas parāda to, ka Latvijā kaut kas notiek ne tikai pārdošanas jomā, bet arī tādu inovatīvu un sarežģītu iekārtu izgudrošanā un ražošanā. Tas nes Latvijas vārdu pasaulē un parāda to, ka arī mēs esam nopietna valsts, kas inovācijas ziņā spēj būt priekšā daudzām, jo daudzām valstīm.

8. PIELIKUMI

1. pielikums

Robotizētu iekārtu vadības citējamo materiālu apskats:

Mazumdar, A., Fittery, A., Ubellacker, W., Asada, H., “An Agile Ball-Shaped Underwater Robot for Direct Inspection of Nuclear Reactors and Other Water-filled Infrastructure,” *Accepted for publication in the Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, to be presented May 2013.

Parietti, F., and Asada, H., “Dynamic Analysis and State Estimation for Wearable Robotic Limbs Subject to Human-Induced Disturbances”, accepted for publication in the *2013 IEEE Int. Conference on Robotics and Automation*.

Mazumdar, A., Fittery, A., Lozano, M., Asada, H., “Active Yaw Stabilization for Smooth Highly Maneuverable Underwater Vehicles,” *Proc. Of the 2012 ASME Dynamic Systems and Controls Conference*, Oct. 2012.

Davenport, C., Parietti, F., and Asada, H., “Design and biomechanical analysis of supernumerary robotic limbs”, *Proc. Of The 2012 ASME Dynamic Systems and Control Conference and 2012 Motion Vibration Conference*, Ft. Lauderdale, Florida, Oct. 17-19, 2012.

Tsukahara, S., Torres, J., Neal, D., Asada, H.H., “Design Method for Buckling Amplified Piezoelectric Actuator Using Flexure Joint and Its Application to An Energy Efficient Brake System,” *Proc. Of DSCC 2012*, Oct. 17-19, 2012, Ft. Lauderdale, FL.

Llorens-Bonilla, B., Parietti, F., and Asada, H., “Demonstration-based control of supernumerary robotic limbs,” in *Proc. IEEE Int. Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2012.

Fittery, A., Mazumdar, A., Lozano, M., Asada, H., “Omni-Egg: A Smooth, Spheroidal, Appendage Free Underwater Robot capable of 5 DOF Motions,” *Proc. Of the 2012 IEEE /MTS Oceans Conference*, Oct. 2012. (Equally contributing first and second authors).

A. Mazumdar, A. Fittery, M. Lozano and Asada, H., “A Compact, Maneuverable, Underwater Robot for Direct Inspection of Nuclear Power Piping Systems”, *Proc. Of 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 2012.

Barragán, P., Tsukahara, S., and Asada, H., “Design of Energy-Saving PZT Drive Amplifiers For Mobile And Wearable Physical Assists”, accepted for publication in *Proc. Of 2011 ASME Dynamic Systems and Control Conference*, Oct. 31-Nov.2, 2011.

Mazumdar, A., and Asada, H., “A Compact Underwater Vehicle Using High-Bandwidth Coanda-Effect Valves for Low Speed Precision Maneuvering in Cluttered Environments”, accepted for publication in *Proc. Of 2011 IEEE Int. Conference on Robotics and Automation*, May 2011.

Karasic, G., and Asada, H., "Flip-and-Slide Magnetic Paired Robots for Aircraft Manufacturing and Maintenance", accepted for publication in Proc. of 2011 IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, May 2011.

Valdivia y Alvarado, P., Chin, S., Larson, W., Mazumdar, A., Youcef-Toumi, K., "A soft body under-actuated approach to multi degree of freedom biomimetic robots: A stingray example," *Proc. of the 2010 IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, Sept. 2010.

Neal, D., and Asada, H., "Dynamic Performance of Nonlinear 100x Displacement Amplification Piezoelectric Actuator," Proc. of 2010 ASME Dynamic Systems and Control Conference, WeBT1.5, September 2010.

Secord, T.W., and Asada, H., "Scaling Analysis for Large Stroke Piezoelectric Actuators," Proc. of IFAC Symposium on Mechatronic Systems, pp. 131 – 136, September 2010. Won the Best Paper Award.

Odhner, L., and Asada, H., "Kalman Filter for Inhomogeneous Population Markov Chains with Application to Stochastic Recruitment Control of Muscle Actuators", Proc. of 2010 American Control Conference, pp. 4774 – 4781, July 2010.

Neal, D., and Asada, H., "Phased-Array Piezoelectric Actuators Using a Buckling Mechanism Having Large Displacement Amplification and Nonlinear Stiffness," Proc. of 2010 IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp. 1661 – 1667, May 2010.

Mazumdar, A., and Asada, H., "Mag-Foot: A Steel Bridge Inspection Robot", Proc. of 2009 IEEE/ RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1691-1696, Oct. 2009.

Mazumdar, A., and Asada, H., "Optimal Control of a Magnetically Suspended Under Actuated Robot for Swing-Up Motion", Proc. of ASME 2009 Dynamic Systems and Controls Conference, vol 2, pp. 755-762, Oct. 2009.

Secord, T.W., Mazumdar, A., and Asada, H., "Piezoelectric Device for Tunable Resonance Actuation and Energy Harvesting," IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, September 2009.

Secord, T.W. and Asada, H., "A Variable Stiffness PZT Cellular Actuator with Tunable Resonance for Cyclic Motion Tasks," Proceedings of the IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp. 176-181, May 2009.

Secord, T.W., Ueda, J., and Asada, H., "Cellular Muscle Actuators with Variable Resonant Frequencies," Proceedings of Robotics: Science and Systems, June 2009.

Neal, D., and Asada, H., "Design of Cellular Piezoelectric Actuators with High Blocking Force and High Strain", Proc. of 2008 ASME Dynamic Systems and Control Conference, MoBT4.5, October 2008.

Odhner, L., and Asada, H., "Co-contraction Equilibrium Point Control of Artificial Muscles Using Recruitment of Many Motor Units", Proc. of IEEE RAS / EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), October 2008.

Wood, L., Ueda, J., and Asada, H., “Broadcast Feedback with Hysteresis Loop Control of Stochastically Behaving Cellular Units with Application to Cellular Shape Memory Alloy Actuators”, Proc. of 2008 ASME Dynamic Systems and Control Conference, MoBT4.4, October 2008.

Menon, M., and Asada, H., “Design of a Semi-Passive Heavy-Duty Mobile Robotic System for Automated Assembly Inside an Aircraft Body”, Proc. of 2008 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), September 2008.

Odhner, L., and Asada, H., “Stochastic Recruitment: Controlling State Distribution among Swarms of Hybrid Agents”, Proc. 2008 American Control Conference, pp. 4226-4231, June 2008.

Mazumdar, A., Valdivia, P., Youcef-Toumi, K., “Maneuverability of a Robotic Tuna with Compliant Body,” *Proc. of 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May. 2008.

Odhner, L., Ueda, J., and Asada, H., “Stochastic Optimal Control Laws for Cellular Artificial Muscles”, Proc. of 2008 IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, May 2008.

Rosmarin, J., and Asada, H., “Synergistic Design of a Humanoid Hand with Hybrid DC Motor – SMA Array Actuators”, Proc. of 2008 IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp. 773-779, May 2008.

Ueda, J., Secord, T.W., and Asada, H., “Static Lumped Parameter Model for Nested PZT Cellular Actuators with Exponential Strain Amplification Mechanisms,” *Proceedings of the IEEE Int. Conference on Robotics and Automation*, pp. 3582 – 3587, May 2008.

Brown, C., and Asada, H., “Inter-Finger Coordination and Posture Synergies in Robot Hands via Mechanical Implementation of Principal Component Analysis”, Proc. of 2007 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, ThA2.1, October 2007.

Ueda, J., Secord, T., and Asada, H., “Design of PZT Cellular Actuators with Power-Law Strain Amplification”, Proc. of 2007 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, TuD4.1, pp. 1160 – 1165, October 2007.

Wood, L., and Asada, H., “Low Variance Adaptive Filter for Cancelling Motion Artifact in Wearable Photoplethysmogram Sensor Signals”, Proc. of 29-th Annual Int. Conference of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.652-655, August 2007.

Cho, K.J., and Asada, H.H., “Dimensionality reduction of cellular actuator arrays using the concept of synergy for driving a robotic hand,” Proc. of the IEEE International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, pp.2718-2721, New York, Aug. 2006.

Eksporta un inovācijas balvas 2010 uzvarētāji:

Latvijas Republikas Ekonomikas Ministrija

<http://www.em.gov.lv/em/2nd/?id=31274&cat=>

MINISTRIJA

DARBĪBAS JOMAS

ES FONDI

EIROPAS SAVIENĪBA

PAKALPOJUMI

EIRO IEVIEŠAN.

VALSTS ATBALSTS

Uzņēmējdarbības veicināšana
Nodarbināto apmācības
Uzņēmējdarbības uzsākšana
Inovācijas veicināšana
Aizdevumi un garantijas
Tūrisma veicināšana
Mājokļu energoefektivitāte
Enerģētika
Valsts galvojumi
Norvēģijas finanšu instruments
2009.- 2014.g.

SVARĪGI

Reemigrācijas plāns
Nacionālā industriālā politika
Patēriņa cenu monitorings
Publiskas personas
komercdarbība
Tirdzniecības ierobežojumi
Informācija eksportētājiem
Tautsaimniecības attīstība
Dzīvo siltāk!
Būvkomersantu reģistrs
Pārvaldnieku reģistrs
Vasaras laiks
Tūrisma aģentu un operatoru
datubāze

INTERAKTĪVĀS IESPĒJAS

Ministra kalendārs
Ministra Twitter profils
Valsts sekretāra Twitter profils
EM Twitter profils
EM Youtube kanāls
Dzīvo siltāk! Twitter profils
Dzīvo siltāk! Youtube kanāls
EM novērtējuma anketa
EM Emuārs
E - iesniegums
Kontakti
Saites

» [Sākumlapa](#) » [Preses relīzes](#)

Preses relīzes

Paziņoti konkursa Eksporta un inovācijas balva 2010 uzvarētāji
14.12.2010

Š.g. 9. decembrī jau sesto gadu pēc kārtas LR Ekonomikas ministrija sadarbībā ar Latvijas Investīciju un attīstības aģentūru (LIAA) apbalvoja veiksmīgākos un inovatīvākos Latvijas uzņēmumus dažādās kategorijās:

1. "Eksporta čempions";
2. "Eksportspējīgākais komersants" lielo/vidējo komercsabiedrību grupā;
3. "Eksportspējīgākais komersants" mazo komercsabiedrību grupā;
4. "Importa aizstājējprodukts";
5. "Inovatīvākais produkts";
6. "Rūpnieciskais dizains".



Ministrs Artis Kampars ar Ekonomikas ministrijas un Latvijas Investīciju un attīstības aģentūras rīkotā konkursa "Eksporta un inovācijas balva" 2010.gada laureātiem (Rīga, 2010.gada 9.decembris) Autors: Toms Kalniņš, Latvijas Valsts prezidenta kanceleja

Pirmo divu vietu ieguvējiem katrā kategorijā būs iespēja bez maksas piedalīties komersantu delegācijas sastāvā augstāko amatpersonu ārvalstu vizītēs, LIAA organizētajās tirdzniecības misijās vai individuālos darījuma braucienos. Pirmo trīs vietu ieguvēji katrā kategorijā un eksporta čempions varēs izmantot speciāli šim konkursam izveidoto zīmi (kvalitātes standarta zīmi) uz produktiem un informatīvajiem materiāliem. Informācija par VISIEM konkursa dalībniekiem tiks ievietota LIAA mājas lapā ar tiešsaisti uz uzņēmuma mājas lapu un publicēta speciālajos eksporta mārketinga materiālos.

Konkursa „Eksporta un inovācijas balva” mērķis ir sekmēt Latvijas komersantu konkurētspēju Latvijas un ārvalstu tirgos, veicināt produktu eksporta apjoma un kvalitātes pieaugumu, produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanu, kā arī sekmēt inovāciju, izvērtējot komersantu rezultātus un atzinīgi novērtējot sekmīgākos komersantus un to produktus. Konkurss notiek jau sesto gadu un tā patrons ir Latvijas Valsts prezidents Valdis Zatlers.



Renovēto daudzdzīvokļu māju e-karte

ES daudzgadu budžets 2014-2020



Ārvalstu vizišu kalendārs 2013.gadam

es.gov.lv
Latvija Eiropas Savienībā



European Enterprise Promotion Awards



GADA LABĀKĀ BŪVE LATVIJĀ



Kategorijā „Eksportspējīgākais komersants” lielo un vidējo komercsabiedrību grupā

1. vieta – **AS „Valmieras Stikla šķiedra”**
2. vieta – **AS „Balticovo”**
3. vieta – **SIA „TTS-Avio” Atzinība:**

- SIA „Brīvais vilnis.”
- SIA „NP Foods”
- SIA „S.B.C.”



Kategorijā „Eksportspējīgākais komersants” mazo komercsabiedrību grupā

1. vieta – **SIA „Biosan”**
2. vieta – **SIA „Babantia Latvia”**
3. vieta – **SIA „UnitedPress Tipogrāfija” Atzinība:**

- SIA „Ameri”
- SIA „Attirance”
- SIA „Bucher Shuerling Baltic”
- SIA „Saldus Pārtikas kombināts”



Kategorijā „Inovativākais produkts”

1. vieta – **SIA „Baltic Scientific Instruments”** (Rentģenfluorescences analizators CON-X 02)
2. vieta – **SIA „Autonams”** (Transportlīdzekļu aizsardzības sistēma "Skybrake Touch / VLC 5501")
3. vieta – **SIA „Jaunpagasts Plus”** (Lopbarības proteīna koncentrāts "Baltiprot - 50")

Atzinība:

- SIA „E Forma” (Interaktīvā burtu ābece latviešu valodā)
- SIA Rīgas Zinātniski eksperimentālais centrs „AVIATEST LNK” (Stends lidmašīnas SuperJet 100 spārna kreisā pusatvēziņa resursu izmēģinājumiem)
- SIA „Telemetrica” (Ielu apgaismojuma vadības sistēma)



Kategorijā „Importa aizstājējprodukts”

1. vieta – **SIA „Silvanols”** (Medikaments „Faringo Spray”)
2. vieta – **SIA „Dinex Latvia”** (Transportlīdzekļu izplūdes sistēmas un to sastāvdaļas)
3. vieta – **SIA „DARO Cēsis”** (Sukādes „Hortus”)

Atzinība:

- SIA „Baltās nakts”(Kliju spilventiņi "DIKLI")

- SIA „BIKO-LAT” (Kokskaidu granulas)



Kategorijā „Rūpnieciskais dizains”

1. vieta –SIA „PAA” (Izlietne "Claro")
2. vieta –SIA „VARIS Toys” (Koka rotaļlieta „VARIS labirints")
3. vieta –SIA „Angel Glass Design” (Stikla un kristāla trauku kolekcijas „Northern Lights”, „Black&White” un „Mirror-Mirror")

Atzinība:

- SIA „Advaita Team” (Akupresūras paklājiņš „Pranamat Eco")
- SIA „Ekokosmētika” (Cukura vasks „Norden Cosmetics")
- ZS „Kalna Smīdes 1” (Medus izlase „Honey Duet”, „Honeymoon Duet” un „Cesis Duet")
- SIA „Munio” (Sojas vaska sveces)
- SIA „Rauzas kompānija” (Mēbeļu kolekcija „MINT")



„Eksporta čempions” 2010

AS „Grindeks”

[Fotogalerija.](#)

Sadaļā informācija pēdējo reizi atjaunota 07.03.2013

Izstrādāts: Tikls.net

LR Ekonomikas ministrija, 2010
Informācijas pārpublicēšanas gadījumā atsauce uz Ekonomikas ministriju oblig

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. E. Lavendelis: Synthesis of optimal vibro machines. Zinatne, Riga, (1970). (krieviski).
2. E. Lavendelis and J. Viba: Individuality of Optimal Synthesis of vibro impact systems. Book: Vibrotechnics". Kaunas. Vol. 3 (20), (1973). (krieviski).
3. J. Viba: Optimization and synthesis of vibro impact systems. Zinatne, Riga, (1988). (krieviski).
4. E. Lavendelis and J. Viba: Methods of optimal synthesis of strongly non – linear (impact) systems. Scientific Proceedings of Riga Technical University. Mechanics. Volume 24. Riga (2007).
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Lev_Pontryagin. (2008).
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Pontryagin%27smaximum_principle. (2008).
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Hamiltonian_%28control_theory%29. (2007).
8. V.G. Boltyanskii, R.V. Gamkrelidze and L. S. Pontryagin: On the Theory of Optimum Processes (In Russian), *Dokl. AN SSSR*, 110, No. 1, 7-10 (1956).
9. L. S. Pontryagin, V.G. Boltyanskii, R.V. Gamkrelidze and E.F. Mischenko: (Fizmatgiz). *The Mathematical Theory of Optimal Processes*, Moscow (1961).
10. L.S. Pontryagin, V.G. Boltyanskii, R.V. Gamkrelidze, and E.F. Mishchenko: *The Mathematical Theory of Optimal Processes*, Wiley-Interscience, New York. (1962).
11. V. G. Boltyanskii: *Mathematical Methods of Optimal Control*, Nauka, Moscow. (1966).
12. V.G. Boltyanskii: Mathematical methods of optimal control: Authorized translation from the Russian. Translator K.N. Tirogoff. Balskrishnan-Neustadt series. New York. Holt, Rinehart and Winston. (1971).
13. E.B. Lee and L. Markus: *Foundations of Optimal Control Theory*, Moscow: Nauka, (1972). (krieviski) .
14. Sonneborn, L., and F. Van Vleck (1965): *The Bang-Bang Principle for Linear Control Systems*, SIAM J. Control 2, 151-159.
15. Akinfiyev T., Panovko G., Viba J. Start stop drives with adaptive control. Scientific Proceedings of Riga Technical University. Mechanics. Volume 7. – Riga: RTU (2002).
16. Craciun S.I., Ardelean I., Csibi V. Considerations regarding of mechatronics systems for positioning in non-destructive testing. U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 73. - Romania (2011).

17. Janocha H.. Adaptronics and Smart Structures: Basics, Materials, Design, and Applications. - Berlin: Springer - Verlag Berlin Heidelberg (1999).
18. V.P. Chistov, V.I. Bondarenko, V.A. Svatoslavski: Optimal Control of Electrical Drives. „Energy”, Moscow. (krieviski).
19. Biochip robot: <http://www.labnext.com/>.
20. Fluorometer: <http://www.biosan.lv/lat/index.php?page=ala-1-4>.
21. 3D-IW8, Inteliwasher: <http://www.biosan.lv/lat/index.php?page=w-8>.
22. http://www.delfi.lv/bizness/biznesa_vide/izstrada-unikal-laboratorijas-ierici-infekciju-petisanai.d?id=35640871.
23. Eksporta un inovācijas balvas 2010 uzvarētāji:
<http://www.em.gov.lv/em/2nd/?id=31274&cat=621>.
24. Robotizētu iekārtu vadības citējamo materiālu apskats:
<http://darbelofflab.mit.edu/?q=node/20>.