



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

POLIGRAFINIŲ MAŠINŲ KATEDRA

Konstantin Černych

**FLEKSOGRAFINĖS SPAUSDINIMO MAŠINOS „OMET VARYFLEX 420 FP“
SEKCIJOS PAVAROS DINAMINIO TIKSLUMO TYRIMAS**

**FLEXOGRAPHIC PRINTING PRESS „OMET VARYFLEX 420 FP“ UNIT'S
DRIVE DYNAMICAL PRECISION RESEARCH**

Baigiamasis magistro darbas

Poligrafija, 62108T205

Vilnius, 2006

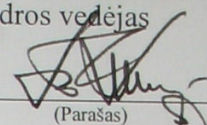
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

POLIGRAFINIŲ MAŠINŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas


(Parašas)

prof. dr. Vytautas Turla

2006.06.07
(Data)

Konstantin Černych

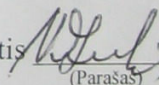
**FLEKSOGRAFINĖS SPAUSDINIMO MAŠINOS „OMET VARYFLEX 420 FP“
SEKCIJOS PAVAROS DINAMINIO TIKSLUMO TYRIMAS**

**FLEXOGRAPHIC PRINTING PRESS „OMET VARYFLEX 420 FP“ UNIT'S
DRIVE DYNAMICAL PRECISION RESEARCH**

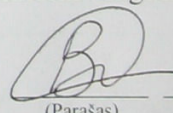
Baigiamasis magistro darbas

Poligrafija, 62108T205

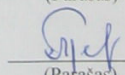
Vadovas: prof. habil. dr. Vytautas Kazimieras Augustaitis


(Parašas) 05.06.30
(Data)

Konsultantas: dr. Vladimir Gičan


(Parašas) 05.06.30
(Data)

Konsultantė: lekt. Angelika Petrėtienė


(Parašas) 06-05-30
(Data)

Vilnius, 2006

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
POLIGRAFINIŲ MAŠINŲ KATEDRA

Technologijos mokslo sritis

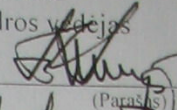
Mechanikos inžinerijos mokslo kryptis

Pramonės inžinerijos studijų kryptis

Poligrafijos studijų programa, valstybinis kodas 62108T205

TVIRTINU

Katedros vedėjas



Uptas Stula
(Vardas, pavardė)

2006.06.05
(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei)

Konstantin Černych
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Fleksografinės spaudos mašinos
Quet Varflex 420 FP sešios pavaros dinaminio
slėgio tyrimas

patvirtinta 2006 01 30 d. dekanų įsakymu Nr. 47me

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2006 m. birželio 1 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Ištyti fleksografinės spaudos mašinos „Quet
Varflex 420 FP“ spaudos sešios pavaros
dinaminį tikslumą sukamųjų ir tiesiųjų papirusų,
didelių dėmių skiriamą užgesėjimo objekto
materijalių modeliui sukurti ir jo atskleidimą
patikrinti. Tyrimas atliktas greičiu: 6000 pavarų, 7000 pavarų
ch-kom; spaudos forma apibūdinantis parametras: kampinis
pakeičiamas ir gautas pasididėjimas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

Dr. V. Gicau, Labas konsultantė A. Petreitiūnė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas

(Paraša)

Prof. habil. dr. V.K. Augustaitis

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

KČ

Konstantin Černych
(Vardas, pavardė)

2006-02-01

(Data)

Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas

Mechanikos fakultetas

Poligrafinių mašinų katedra

ISBN

ISSN

Egz. sk. **3**

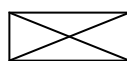
Data **2006-05-17**

Poligrafijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas: **Fleksografinės spausdinimo mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ sekcijos dinaminio tikslumo tyrimas**

Autorius: **Konstantin Černych**

Kalba



Lietuvių



Anglų

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas linijinės sudėties fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spausdinimo sekcijos pavaros modelis. Darbo tikslas yra nagrinėjamos pavaros dinaminio tikslumo tyrimas sukimo virpesių pagrindu. Tačiau pagrindinis dėmėsis yra skiriamas nagrinėjamojo objekto matematiniam modeliui sudaryti, kuris ir leistų tirti sukimo virpesius. Todėl iš pradžių pateiktas išsamus modeliuojamojo objekto aprašymas ir detalizavimas, po to dinaminis modelis ir padarytos prielaidos. Kadangi darbe daugiausia tiriama modeliuojamojo objekto mechaninė pavara, tai elektros pavara yra pateikta supaprastintos formos. Spaudos sekcijos struktūrinis modelis yra sudarytas „MATLAB Simulink“ terpėje. Modeliuojant buvo įrodyta, kad sukurtas matematinis modelis yra adekvatus. Buvo ištirta kaip kinta apibendrintosios koordinatės ir kitos dinaminės charakteristikos paleidžiant mašiną veikti su pastoviu kampiniu pagreičiu ir greičiui pasiekus tam tikrą dydį jis daugiau nekinta. Gautos kai kurių apibendrintųjų koordinačių amplitudinės-dažninės ir fazinės-dažninės charakteristikos. Atlikti modeliavimo bandymai, kuriose buvo keičiami parametrai, apibūdinantys fleksografinės spaudos formos senėjimą. Stebėta kaip senėjimas įtakoja sukimo virpesius. Modeliuojant nustatyta kaip krumpliaračių ciklinės harmoninės paklaidos amplitudės dydis ir guolių pasipriešinimo koeficientai veikia dinamines charakteristikas. Taip pat nustatyta spaudos sekcijos elektros pavaros įtaka apibendrintųjų koordinačių dažninėms charakteristikoms. Gautų rezultatų analizės pagrindu pateikiamos išvados ir rekomendacijos tolesniems tyrimams atlikti. Darbą sudaro 11 dalių: įvadas, tyrimo objektas ir problemos aptarimas, problemos ištyrimo lygis, darbo tikslas ir tyrimo temos pagrindimas, tyrimų objekto detalizavimas ir siūlomos tyrimo metodikos pagrindimas, struktūrinio modelio sudarymas, modeliavimo eiga ir rezultatai, rezultatų analizė ir tolesni tyrimai, išvados, literatūros sąrašas, straipsnis.

Darbo apimtis – 114 puslapių teksto be priedų, 98 iliustracijos, 8 lentelės, 18 bibliografinių šaltinių.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Reikšminiai žodžiai: dinamika, fleksografinės spaudos mašina, modelis, pavara, struktūrinė schema, virpesiai.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of **Mechanics**
Department of **Printing Machines**

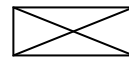
ISBN ISSN
Number of copies: **3**
Date **2006-05-17**

Printing Media studies master's graduation dissertation

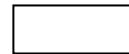
Name: **Flexographic printing press „Omet Varyflex 420 FP“ unit's drive dynamical precision research**

Author: **Konstantin Černych**

Language



English



Lithuanian

Abstract

Master's graduation dissertation research object is the drive of one unit of multisection web-fed flexographic printing press „Omet Varyflex 420 FP“. The main purpose of the work is drive's dynamical precision research, basing on the torsion vibration. But the main attention is concentrated on the research object mathematical model creation. It will be able to investigate torsion vibration. In the beginning there is description of the research object, its dynamical model and assumptions, made while modeling the object. As the main research object is mechanical drive, unit's electric drive is not detailed. Unit's structural model is created using the „MATLAB Simulink“ software. While modeling, it was proved the model is adequate. It was investigated how generalized coordinates and dynamical datums change while the press is switched on and starts to work with constant angular acceleration and when the angular speed reaches particular value, it does not change any more. Amplitude-frequency and phase-frequency responses of some generalized coordinates were got. Changing some parameters flexographic printing plate aging is modeled. It is watched how aging influences torsion vibration. While modeling it was determined how gearwheels cyclic harmonic error's amplitude and beds resistance coefficients influence dynamical datums. It was also determined unit's electric drive influence on generalized coordinates frequency responses. Basing on the analysis of the results, the conclusions are made and the perspective researches are described. The work consists of 11 parts: preface, research object and problem description, the level of investigation of the problem, the purpose of the dissertation and reasoning of the topic, the specification of the research object and reasoning of the research methodology, creating of the structural model, modeling and results, results analysis and perspectives of future researches, conclusions, list of used literature, article.

The size of the dissertation – 114 pages of text without additions, 98 figures, 8 tables, 18 bibliographic origins.

Additions are attached separately.

Keywords: dynamics, flexographic printing press, model, drive, structural diagram, vibration.

TURINYS

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS.....	3
Anotacija.....	4
Abstract.....	5
TURINYS.....	6
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	13
ĮVADAS.....	14
1. TYRIMO OBJEKTAS IR PROBLEMOS APITARIMAS.....	15
1.1. Fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ techninės charakteristikos ir ypatybės.....	15
1.2. Fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spaudos sekcijos aprašymas.....	17
1.3. Spausdinimo sekcijos elektros pavaros.....	27
1.4. Mašinos veikimo aprašymas.....	31
1.4. Problemos aptarimas.....	35
2. PROBLEMOS IŠTYRIMO LYGIS.....	36
2.1. Eksperimentinis ir teorinis lapinės plokščiosios ofsetinės spaudos mašinos sekcijos virpesių tyrimas.....	36
2.2. Elektroniniu būdu valdomos plokščiosios ofsetinės spaudos mašinos sekcijos modelis.....	41
2.3. Išvados.....	44
3. DARBO TIKSLAS IR TYRIMO TEMOS PAGRINDIMAS.....	45
4. TYRIMŲ OBJEKTO DETALIZAVIMAS IR SIŪLomos TYRIMO METODIKOS PAGRINDIMAS.....	46
5. FLEKSOGRAFINĖS SPAUDOS MAŠINOS „OMET VARYFLEX 420 FP“ SPAUSDINIMO SEKCIJOS STRUKTŪRINIO MODELIO SUDARYMAS.....	50
5.1. Sistemos mechaninę dalį aprašančių diferencialinių lygčių sudarymas.....	50
5.1.1. Paruošiamoji dalis.....	50
5.1.2. Sistemos kinetinė bei potencinė energijos ir disipacinė funkcija.....	52
5.1.3. Sistemos pasipriešinimo momentų nustatymas.....	54
5.1.4. Lagranžo antrojo tipo lygčių sudarymas sistemos apibendrintosioms koordinatėms išreikšti.....	55
5.1.5. Lagranžo antrojo tipo lygčių sudarymas sistemos elektros variklių rotorų	

posūkio kampams išreikšti.....	65
5.2. Sistemos mechaninės dalies struktūrinis modelis.....	67
5.3. Sistemos elektros dalies struktūrinis modelis.....	71
5.4. Fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spaudos sekcijos bendras struktūrinis modelis.....	73
5.5. Spaudos sekcijos struktūrinis modelis „MATLAB Simulink“ terpėje.....	74
6. MODELIAVIMO EIGA IR REZULTATAI.....	79
6.1. Modelio pagrindiniai parametrai.....	79
6.2. Sistemos su pagrindiniais parametrais modeliavimas.....	82
6.3. Sistemos su pagrindiniais parametrais elektros pavaros įtaka virpesių dažninėms charakteristikoms.....	91
6.4. Modeliavimas keičiant spausdinimo formą apibūdinančius parametrus.....	96
6.5. Modeliavimas keičiant krumpliaračių ciklinės harmoninės paklaidos amplitudės dydį.....	102
6.6. Sistemos modeliavimas keičiant guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmes.....	103
7. REZULTATŲ ANALIZĖ IR TOLESNI TYRIMAI.....	112
7.1. Rezultatų analizė.....	112
7.2. Tolesni tyrimai ir rekomendacijos.....	114
IŠVADOS.....	116
LITERATŪRA.....	118
STRAIPSNIS.....	119
PRIEDAI.....	128

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. UAB „PakMarkas“ fleksografinės spaudos mašina <i>OMET Varyflex 420 FP</i>	17
1.2 pav. Omet Varyflex 420 spausdinimo sekcijos schema.....	18
1.3 pav. Dažų aparatų keitimas.....	18
1.4 pav. Dažų aparato komponentai.....	19
1.5 pav. Dažų aparato komponentai ir spaudos cilindras.....	19
1.6 pav. Aniloksinio ir duktorinio velenų krumpliaratinė sankaba.....	20
1.7 pav. Elektros variklis ir spaudos aparato dalis.....	21
1.8 pav. Elektros variklis ir jo sukami įrenginiai.....	22
1.9 pav. Forminio cilindro pavara.....	23
1.10 pav. Jutiklio išdėstymas.....	24
1.11 pav. Rodykle pažymėtas pneumatinis cilindras, prispaudžiantis forminį cilindrą prie spaudos ir aniloksinio cilindrų.....	24
1.12 pav. Spaudos ir dažų aparatai.....	25
1.13 pav. Aušinimo cilindras ir vandens tiekimo žarnos.....	25
1.14 pav. Išstumta karštojo oro džiovykla.....	26
1.15 pav. UV džiovykla prie aušinimo cilindro.....	26
1.16 pav. Servopavarų komponentai.....	27
1.17 pav. Servovariklio konstrukcijos pjūvis.....	28
1.18 pav. Servovariklio sukimo momento priklausomybė nuo sukimosi dažnio.....	29
1.19 pav. Servovariklio valdymo schema.....	29
1.20 pav. Servovariklio maitinimo ir valdymo schema.....	30
1.21 pav. Servovariklio grįžtamojo ryšio įrenginys.....	31
1.22 pav. Užspausdintų kontrolinių žymių formos spalvoms sutaptinti.....	31
1.23 pav. Kontrolinės žymės ir jų išdėstymas juostos paviršiuje.....	33
1.24 pav. Firmos „Sick Optic Electronic“ jutiklis KT10WP1115.....	33
1.25 pav. Firmos „TR Electronic GmbH“ jutiklis ZI58S.....	34
2.1.1 pav. Modeliuojamas objektas: dvi plokščiosios ofsetinės spaudos mašinos sekcijos.....	37
2.1.2 pav. Plokščiosios ofsetinės spaudos mašinos dviejų sekcijų modelis virpesiams tirti.....	38
2.2 pav. Kaskadinis grafikas.....	39
2.3 pav. Spaudos sekcijos virpesių savoji forma, gauta taikant fazių atskyrimo techniką. Pavaizduoti šoninių stovo dalių atvirkštinių pusių virpesiai.....	40
2.4 pav. Ritininės ofsetinės spausdinimo mašinos sekcijos pavaros struktūrinė schema.....	42

2.5 pav. Pavyzdžio mechaninės dalies dinaminis modelis.....	43
2.6 pav. Pavyzdžio mechaninės dalies struktūrinis modelis.....	43
2.7 pav. Pavyzdžio koordinatės φ_c amplitudinė-dažninė charakteristika.....	44
4.1 pav. Spaudos sekcijos tyrimo objektai.....	46
4.2 pav. Spaudos sekcijos mechaninės dalies dinaminis modelis sukimo virpesiams tirti.....	47
5.1 pav. Skaiciavimo schema diržinės perdavos potencinei energijai nustatyti.....	52
5.2 pav. Struktūrinis modelis momentui M_{a1} gauti.....	54
5.3 pav. Struktūrinis modelis momentui M_{a2} gauti.....	55
5.4 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_1 gauti.....	56
5.5 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_2 gauti.....	58
5.6 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_3 gauti.....	59
5.7 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_4 gauti.....	60
5.8 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_8 gauti.....	62
5.9 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_{10} gauti.....	64
5.10 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_{11} gauti.....	65
5.11 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_{v1} gauti.....	66
5.12 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_{v2} gauti.....	67
5.13 pav. Fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spaudos sekcijos mechaninės dalies struktūrinė schema (matematinis modelis); joje įvertinamos (5.75) ir (5.82) išraiškos.....	68
5.14 pav. Fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spaudos sekcijos mechaninės dalies struktūrinė schema (matematinis modelis); joje neįvertinamos (5.75) ir (5.82) išraiškos.....	70
5.15 pav. Elektros dalies supaprastinta schema.....	71
5.16 pav. Spaudos sekcijos pavaros pilnas struktūrinis modelis sukimo virpesiams tirti.....	72
5.17 pav. Spaudos sekcijos pavaros bendra Simulink-diagrama.....	74
5.18 pav. Padėties reguliatoriaus Simulink-diagrama.....	75
5.19 pav. Elektros pavaros Simulink-diagrama.....	76
5.20 pav. Greičio reguliatoriaus Simulink-diagrama.....	76
5.21 pav. Srovės kontūro Simulink-diagrama.....	77
5.22 pav. Modeliuojamojo objekto mechaninės dalies Simulink-diagrama.....	78
6.1 pav. Vienetinį laiptinį žadinimą ir sistemos reakciją į jį iliustruojanti	

nagrinėjamojo objekto supaprastinta Simulink-diagrama.....	82
6.2 pav. Sistemos su pagrindiniais parametrais reakcija (posūkio kampų pasikeitimai) į vienetinį laiptinį žadinimą.....	83
6.3 pav. Nagrinėjamojo objekto Simulink-diagrama, naudojama pereinamajam procesui modeliuoti.....	84
6.4 pav. Sistemos su pagrindiniais parametrais kampinių greičių priklausomybės nuo laiko.....	84
6.5 pav. Kampų priklausomybės nuo laiko esant nepakeistiems sistemos pagrindiniams parametrams.....	85
6.6 pav. Sistemos su pagrindiniais parametrais pasipriešinimo momentų, veikiančių elektros variklius, priklausomybės nuo laiko (krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiai lygūs 10 μ m).....	86
6.7 pav. Sistemos su pagrindiniais parametrais variklių įtampų priklausomybės nuo laiko.....	86
6.8 pav. Sistemos su pagrindiniais parametrais variklių srovių priklausomybės nuo laiko (krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiai lygūs 10 μ m).....	87
6.9 pav. Skirtumas tarp nustatomo ir faktinio V2 elektros variklio rotoriaus posūkio kampų.....	88
6.10 pav. Mechaninio posistemio Simulink-diagrama papildyta elementais ADC ir FDC gauti.....	89
6.11 pav. φ_1 , φ_2 ir φ_3 koordinačių amplitudinės-dažninės charakteristikos, kai dažnis neviršija 600 rad/s.....	90
6.12 pav. φ_1 , φ_2 ir φ_3 koordinačių fazinės-dažninės charakteristikos, kai dažnis neviršija 600 rad/s.....	90
6.13 pav. Skausdinimo sekcijos pavaros mechaninės dalies, atjungtos nuo elektros pavaros, Simulink-diagrama.....	82
6.14 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_1 ADC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2).....	93
6.15 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_1 FDC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2).....	93
6.16 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_2 ADC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2).....	94
6.17 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_2 FDC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2).....	94
6.18 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_3 ADC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2).....	95
6.19 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_3 FDC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2).....	95
6.20 pav. Koordinatės φ_1 ADC, gauta esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms.....	97
6.21 pav. Koordinatės φ_1 FDC, gauta esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms.....	98
6.22 pav. Koordinatės φ_2 ADC, gauta esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms.....	99
6.23 pav. Koordinatės φ_2 FDC, gauta esant įvairioms	

standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms.....	100
6.24 pav. Koordinatės φ_3 FDC , gauta esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms.....	100
6.25 pav. Koordinatės φ_3 ADC, gauta esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms.....	101
6.25 pav. Sistemos Simulink-diagrama, naudojama krumpliaračių ciklines harmoninės paklaidos dydžio įtakai dinaminėms charakteristikoms stebėti.....	102
6.26 pav. Pasipriešinimo momentų, veikiančių elektros variklius, priklausomybės nuo laiko, esant nuliniam krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui.....	103
6.27 pav. Variklių srovių priklausomybės nuo laiko, esant nuliniam krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui.....	103
6.28 pav. Pasipriešinimo momentų, veikiančių elektros variklius, priklausomybės nuo laiko, esant $1\ \mu\text{m}$ krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui.....	104
6.29 pav. Variklių srovių priklausomybės nuo laiko, esant $1\ \mu\text{m}$ krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui.....	104
6.30 pav. Pasipriešinimo momentų, veikiančių elektros variklius, priklausomybės nuo laiko, esant $50\ \mu\text{m}$ krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui.....	105
6.31 pav. Variklių srovių priklausomybės nuo laiko, esant $50\ \mu\text{m}$ krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui.....	105
6.32 pav. Simulink-diagrama, naudojama guolių pasipriešinimo koeficientų įtakai sistemos dinaminėms charakteristikoms modeliuoti.....	106
6.33 pav. M_{a1} pasipriešinimo momento priklausomybė nuo spaudos greičio ir guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičiaus.....	108
6.34 pav. Elektros variklio V1 srovės I_{a1} priklausomybė nuo spaudos greičio ir guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičiaus.....	109
6.35 pav. M_{a2} pasipriešinimo momento priklausomybė nuo spaudos greičio ir guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičiaus.....	110
6.36 pav. Elektros variklio V2 srovės I_{a2} priklausomybė nuo spaudos greičio ir guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičiaus.....	111
1 pav. Spausdinimo sekcijos pavaros mechaninės dalies dinaminis modelis sukimo virpesiams tirti.....	120
2 pav. Mechaninio posistemio struktūrinis modelis.....	123
3 pav. Spaudos sekcijos struktūrinis modelis sukimo virpesiams tirti.....	124

4 pav. Koordinatės φ_3 amplitudinė-dažninė charakteristika.....	125
5 pav. Sistemos reakcija (kampo φ_1 pokytis) į vienetinį laiptinį žadinimą.....	126

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. <i>OMET Varyflex 420 FP</i> pagrindinės charakteristikos.....	15
6.1 lentelė. Standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmės modeliavimui.....	96
6.2 lentelė. Guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmės modeliavimui.....	107
6.3 lentelė. Greičio reikšmės modeliavimui.....	107
6.4 lentelė. Pasipriešinimo momento M_{a1} reikšmės (Nm), esant įvairiems spaudos greičiams ir guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmėms.....	108
6.5 lentelė. Elektros variklio V1 srovės I_{a1} reikšmės (A), esant įvairiems spaudos greičiams ir guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmėms.....	109
6.6 lentelė. Pasipriešinimo momento M_{a2} reikšmės (Nm), esant įvairiems spaudos greičiams ir guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmėms.....	110
6.7 lentelė. Elektros variklio V2 srovės I_{a2} reikšmės (A), esant įvairiems spaudos greičiams ir guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmėms.....	111

IVADAS

Pastaruoju metu sukuriami daug spaudos mašinų, valdomų elektroniniu vėlu. Pagrindiniai privalumai, kuriuos suteikia šita valdymo koncepcija yra padidėjęs gamybos lankstumas, galimybė užspausdinti plataus storių diapazono substratus, atspaudo bežingsnio keitimo galimybė ir kt. Elektroninio vėlo valdymo koncepcija yra įgyvendinama mašinose naudojant reguliuojamas elektros pavaras.

Nors elektroninio vėlo koncepcijos taikymas tampa vis platesnis, tačiau apie mašinų, ypač fleksografinės spaudos, valdomų naudojant šią koncepciją, dinamikos tyrimus žinoma labai mažai. Todėl vienas pagrindinių veiksnių, nulėmusių šios darbo temos pasirinkimą, buvo noras gauti daugiau informacijos apie naują fleksografinės spaudos mašiną.

Darbo tyrimo objektas yra linijinės komponuotės fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spaudos sekcijos pavara. Darbo pagrindinis tikslas yra šios mašinos sekcijos pavaros dinaminio tikslumo tyrimas. Tačiau pagrindinis dėmesys yra skiriamas nagrinėjamojo objekto matematiniam modeliui sudaryti, kuris leistų tirti sukimo virpesius. Todėl iš pradžių pateiktas išsamus modeliuojamojo objekto aprašymas ir detalizavimas, po to dinaminis modelis ir padarytos prielaidos. Kadangi darbe daugiausia tiriama modeliuojamojo objekto mechaninė pavara, tai elektros pavara yra pateikta supaprastintos formos.

Spaudos sekcijos struktūrinis modelis yra sudarytas „MATLAB Simulink“ terpėje, kadangi ši programa leidžia taikyti vizualųjį programavimą, palengvinantį struktūrinio modelio sudarymą ir modeliavimo rezultatų gavimą.

Modeliuojant yra įrodyta, kad tiriamosios sistemos matematinį modelį galima laikyti adekvačiu realiai mašinos sekcijos pavarai. Gauti modeliuojamosios pavaros dinaminių charakteristikų grafikai pereinamuoju režimu (mašinos greitejant), pavaizduota fleksografinės spaudos formos senėjimo įtaka sukimo virpesiams, krumpliaračių ciklinės harmoninės paklaidos amplitudės dydžio ir guolių pasipriešinimo koeficientų įtaka dinaminėms charakteristikoms, spausdinimo sekcijos elektros pavaros įtaka apibendrintųjų koordinatų dažninėms charakteristikoms.

Darbo pabaigoje pateikta rezultatų analizė, trumpas tolesnių tyrimų apibūdinimas, išvados ir straipsnis, kurio pagrindu buvo padarytas pranešimas konferencijoje.

Kadangi nagrinėjamoji spaudos mašina yra UAB „PAKMARKAS“, tai norėčiau padėkoti šiai bendrovei už leidimą tirti jų įrangą ir suteiktą informaciją apie fleksografinės spaudos mašiną „Omet Varyflex 420 FP“. Taip pat norėčiau padėkoti p. G.Cerutti iš „OMET NORD GMBH“ už suteiktą informaciją apie „VARYFLEX“ fleksografinių mašinų grupę.

1. TYRIMO OBJEKTAS IR PROBLEMOS APTARIMAS

Šiame darbe tiriama firmos „OMET“ spaudos mašina „Varyflex 420 FP“ spausdinimo sekcijos pavaros dinaminis tikslumas. Tiriamos sukimo virpesių charakteristikos. Iš pradžių pateikiama trumpa minėtos mašinos charakteristika, po to – išsamus spaudos sekcijos aprašymas.

1.1. Fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ techninės charakteristikos ir ypatybės

Fleksografinės spaudos mašina *Omet Varyflex 420 FP* pirmą kartą buvo pristatyta 2001 metais Briuselyje vykusioje *LabelExpo* parodoje [1]. UAB „PakMarkas“ šita mašina buvo sumontuota 2004 metų pirmoje pusėje. Pagrindinės mašinos charakteristikos yra pateiktos 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. *OMET Varyflex 420 FP* pagrindinės charakteristikos [2], [12]

Charakteristikos pavadinimas	Charakteristikos reikšmė
Užspausdinamos juostos plotis	420 mm
Užspausdinamas plotis	410-420 mm (priklausomai nuo konkrečios komponuotės)
Didžiausias spaudos sekcijų kiekis	12 (užsakovui pageidaujant, gali būti ir daugiau)
Išvyniojamo ritinio didžiausias skersmuo	1000 mm
Didžiausias spaudos greitis	200 m/min
Atspaudų ilgis (spaudos žingsnis)	305-838 mm
Didžiausias iškirtimo žingsnis	610 ar 838 mm (priklausomai nuo konkrečios komponuotės)
Užspausdinamos medžiagos	Plėvelės, popierius, lipnus popierius, aliuminio folija
Užspausdinamų medžiagų storiai	12-600 µm
Didžiausias spaudos greitis naudojant rotacinį iškirtimą	150 m/min
Didžiausias užvyniojamo ritinio skersmuo	750 mm
Vienos spausdinimo sekcijos suvartojamas didžiausias elektrinis galingumas	5,4 kW

Mašinos konstrukcijos bendrosios ypatybės [12]:

- stovui naudojamas aukštos kokybės nikeliuotas plienas;
- platus užspausdinamų medžiagų storių diapazonas (12-600 μm); dėl naudojamų servovariklių nėra būtinybės keisti krumpliaračius; juostos įtempimo palaikymo sistema *Multitension*;
- pagaminti mašinos detalės ir moduliai atitinka aukščiausią fleksografinių mašinų gamybos tikslumo klasę (ISO DIN 5);
- aukštas operatyvumas ir efektyvumas (sistema *quick sleeves*) – forminių gilzių keitimas vyksta per itin trumpą laiką (kelios sekundės); iškirtimo/bigavimo/įspaudimo sekcijos yra išimamos iš mašinos ir gali būti pakeičiamos (iškirtimo sekcijos pakeitimas užima vos 50 sekundžių);
- plačiosios sutapdinimo reguliavimo galimybės – automatinis preliminarus sutapdinimas, automatinė išilginio sutapdinimo sistema *Multicolor* (360°), skersinis sutapdinimo reguliavimas $\pm 7.5 \text{ mm}$;
- moduliškumas ir universalumas: konstrukcija leidžia mašinoje įmontuoti papildomų laminavimo, juostos apvertimo, spaudos ant klijuojamų padengtos pusės, plokščiojo ir rotacinio iškirtimo, įspaudimo, karšto dengimo folija ir kitų įrenginių;
- įvairių medžiagų darbo parametrų registracijos sistema leidžia akimirksniu suderinti juostos traukimo sistemą;
- didelio efektyvumo kombinuotosios džiovyklos (UV-džiovyklos ir karšto oro džiovyklos, UV-džiovyklų linijinis galingumas siekia 320 W/cm); uždarnosios rakelinės sistemos; juostos aušinimo cilindrai; UV-dažų pašildymo sistema (ruošiant jas spaudai) ir kt.;
- ergonomiškumas, valdymo paprastumas;
- aukšta spaudos kokybė esant minimaliems reikalavimams spaudėjui;
- programuojama mašinos valdymo elektroninė sistema su daugiafunkčiu displejumi (spaudos darbo parametrų nustatymas, dabartinės mašinos būklės vaizdavimas, mašinos gedimų diagnostika ir kt.).



a



b

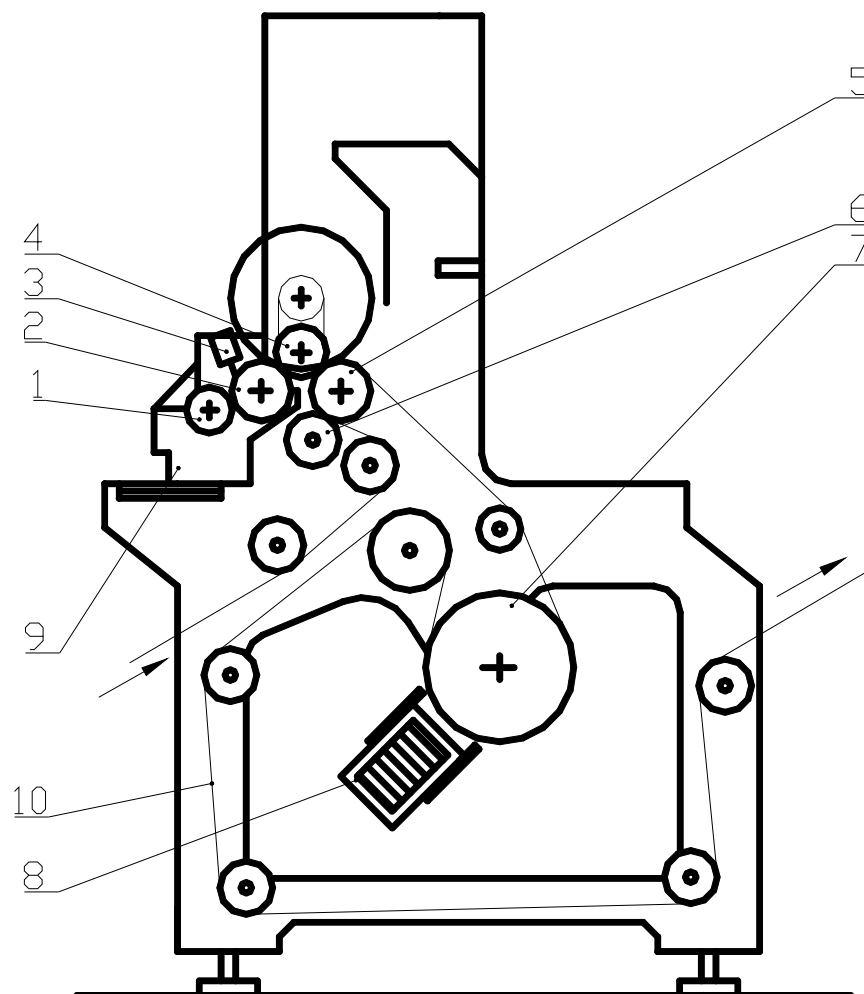
a – vaizdas nuo juostos išvyniojimo mazgo pusės; b – vaizdas nuo užspausdintos juostos vyniojimo mazgo.

1.1 pav. UAB „PakMarkas“ fleksografinės spaudos mašina *OMET Varyflex 420 FP*

1.2. Fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spausdinimo sekcijos aprašymas

Mašinoje yra septynios spausdinimo sekcijos. Kiekvienoje spausdinimo sekcijoje yra dažų aparatas (jis susideda iš duktorinio ir aniloksinio velenų, rakelio ir dažų vonelės), spaudos aparatas (susidedantis iš forminio ir spaudos cilindro, bei guma padengto velenėlio, prispaudžiančio užspausdinamą substratą prie spaudos cilindro), džiovykla (gali būti naudojama arba UV spindulių, arba karštojo oro džiovykla) ir juostos transportavimo velenėliai. Supaprastinta spausdinimo sekcijos schema pateikta 1.2 paveiksle.

Kaip anksčiau buvo minėta, dažų aparatas susideda iš duktorinio ir aniloksinio (rastruoto) velenų, rakelio ir dažų vonelės. Mašinos konstrukcijoje numatyta ruošti dažų aparatus užsakymui, kai vyksta kito užsakymo spauda. Tiesiog mašinos sudėtyje buvo daugiau dažų aparatų, negu sekcijų mašinoje. Gaunamas ekonominis efektas, nes sutaupoma daug laiko. Dažų aparatų išėmimas iš mašinos pavaizduotas 1.3 pav.



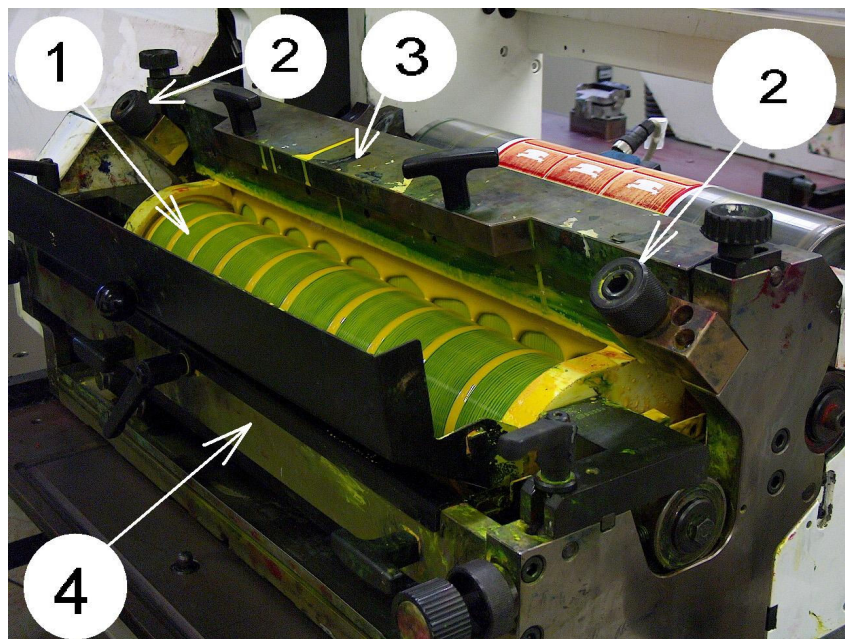
1 - duktorinis velenas; 2 – aniloksinis velenas; 3 – rakelis; 4 – forminis cilindras; 5 - spaudos cilindras; 6 – gumuotas prispaudimo velenas; 7 – aušinimo cilindras; 8 – UV džiovykla; 9 – dažų vonelė; 10 – substratas.

1.2 pav. Omet Varyflex 420 spausdinimo sekcijos schema



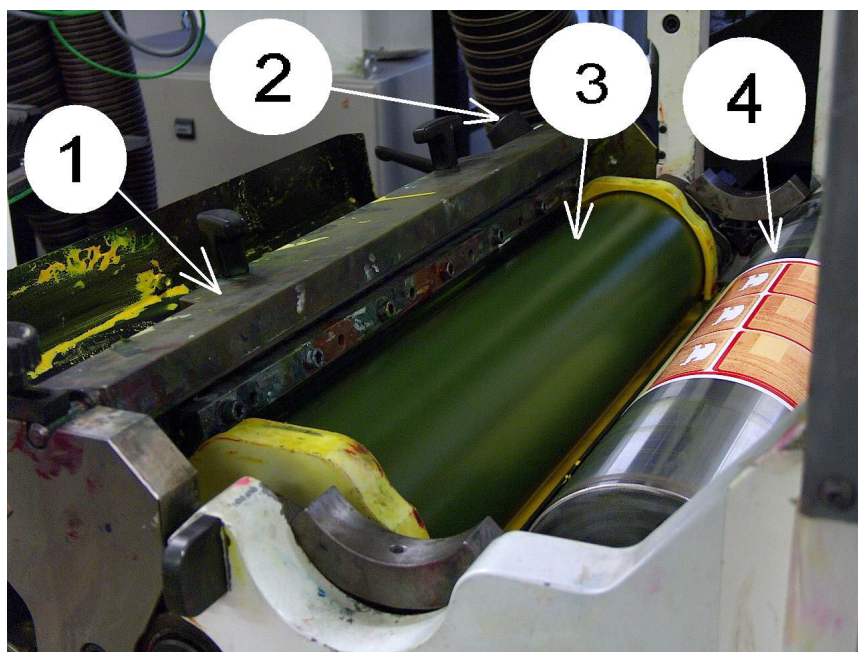
1.3 pav. Dažų aparatų keitimas

Dažų aparato komponentų išdėstymas pavaizduotas 1.4 ir 1.5 pav.



1 – duktorinis velenas; 2 – rakelio prispaudimo prie aniloksinio veleno reguliatorius; 3 – rakelio laikiklis; 4 – dažų vonelė.

1.4 pav. Dažų aparato komponentai



1 – rakelio laikiklis; 2 – rakelio prispaudimo prie aniloksinio veleno reguliatorius; 3 – aniloksinis velenas; 4 – spaudos cilindras.

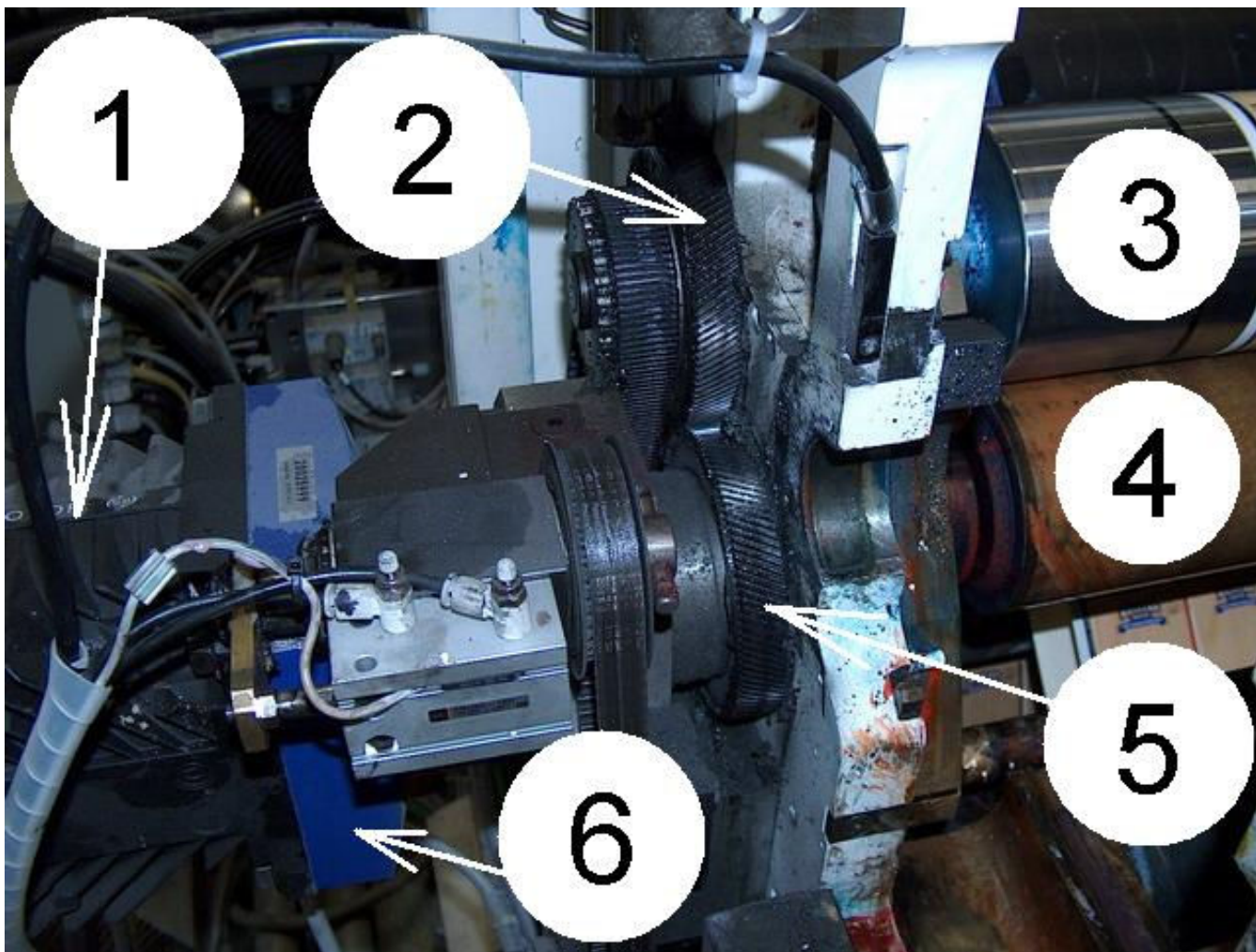
1.5 pav. Dažų aparato komponentai ir spaudos cilindras

Spaudos sekcijoje atskiras elektros variklis suka forminį cilindrą ir atskiras elektros variklis per krumpliaratines perdavas suka duktorinį, aniloksinį, spaudos bei aušinimo cilindrų (1.7, 1.8 pav.). Aniloksinio ir duktorinio cilindrų krumpliaratinė sankaba pavaizduota 1.6 pav. Ant aniloksinio veleno yra užmauti du krumpliaračiai: didesnis ir mažesnis. Sukimo momentas ir judesys yra perduodami aniloksiniam velenui per didesnįjį krumpliaratį, aniloksinis velenas duktoriniam velenui perduoda sukimo judesį per mažesnįjį krumpliaratį. Mažesniojo aniloksinio veleno krumpliaračio ir duktorinio veleno krumpliaračio perdavimo skaičius yra lygus dviem. Taip pat pabrėžtina, kad aniloksinis ir duktorinis velenai savo paviršiais nekontaktuoja, tarp jų yra apie 2 mm tarpelis.



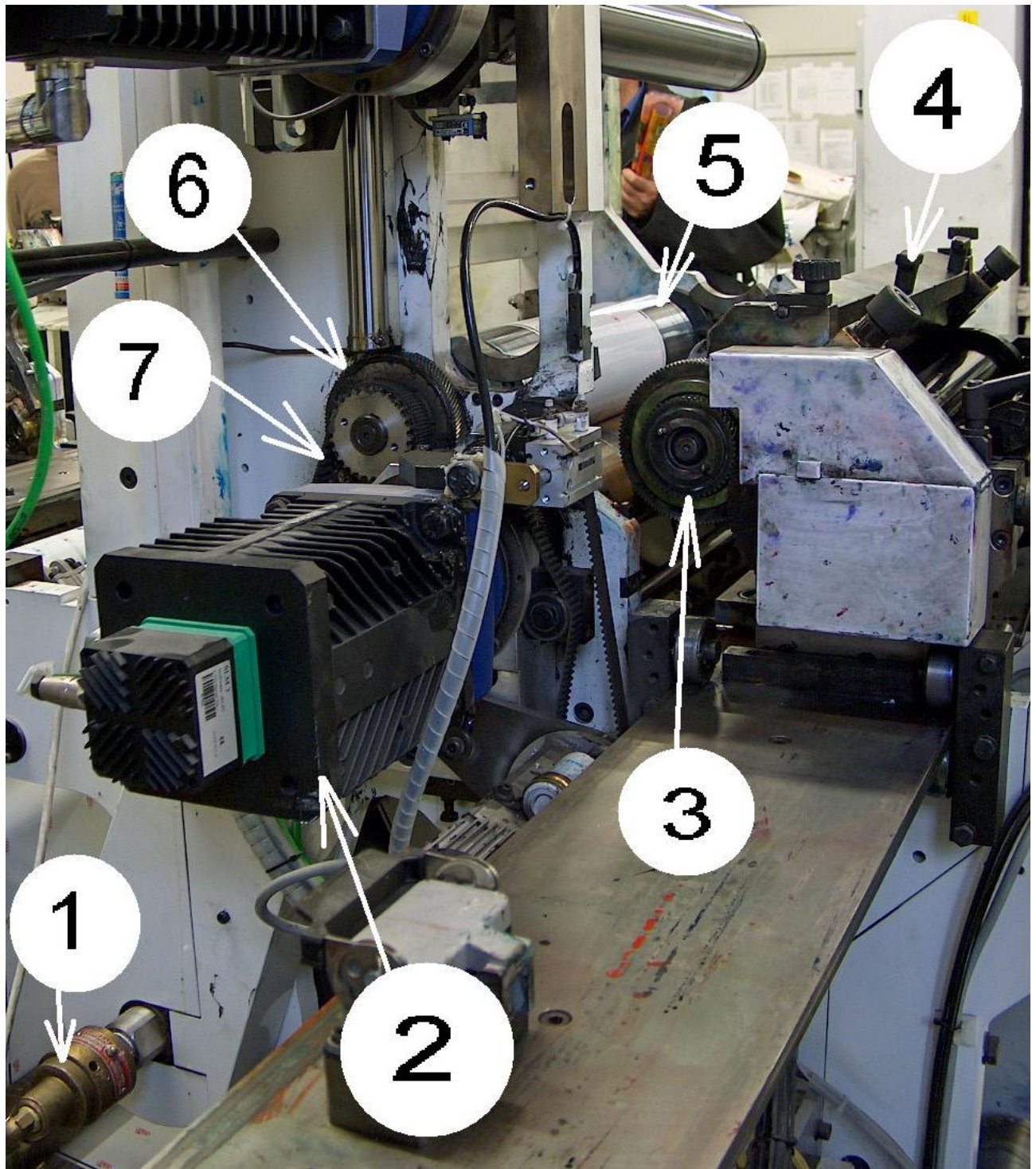
1.6 pav. Aniloksinio ir duktorinio velenų krumpliaratinė sankaba

Spaudos sekcijoje dažų ir spaudos aparatams bei aušinimo cilindrui sukti naudojamas firmos „Control Techniques“ elektros variklis 142SLB300CAPAB. Sukimo judesys įrenginiams yra perduodamas per TP 0255 - MF1 – 5 OG1 - 2A planetinį reduktorių (firma „Alpha Getriebebau GmbH“).



1 - firmos „Control Techniques“ elektros variklis 142SLB300CAPAB; 2 – spaudos cilindro krumpliaratis; 3 – spaudos cilindras; 4 – guma padengtas pagalbinis velenėlis; 5 – krumpliaratis, nuo kurio sukimo judesys perduodamas spaudos cilindrui ir dažų aparatui; 6 - firmos „Alpha Getriebebau GmbH“ planetinis reduktorius TP 0255 - MF1 – 5 OG1 - 2A.

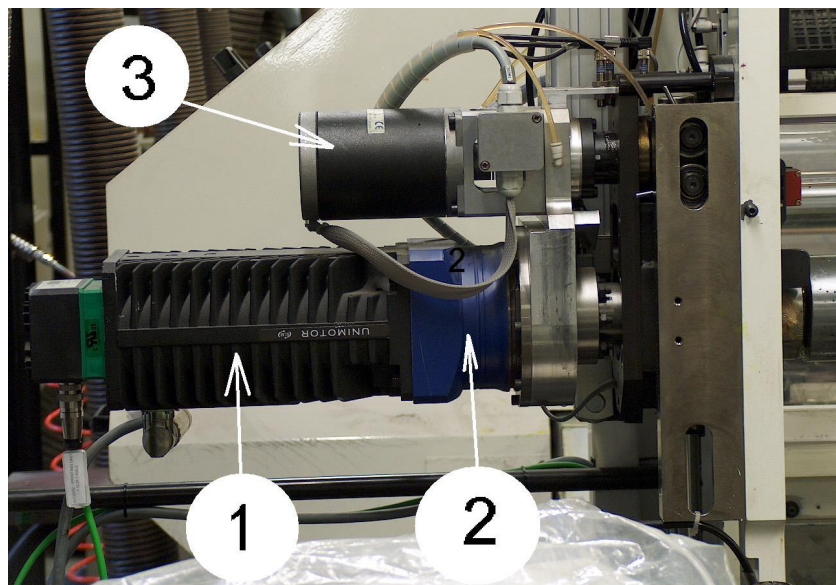
1.7 pav. Elektros variklis ir spaudos aparato dalis



1 – vamzdis vandeniui, aušinančiam aušinimo cilindrą; 2 – firmos „Control Techniques“ elektros variklis 142SLB300CAPAB; 3 – aniloksinio veleno krumpliaratis; 4 – dažų aparatas; 5 – spaudos cilindras; 6 – spaudos cilindro krumpliaratis; 7 – diržinė perdava, per kurią sukamas aušinimo cilindras.

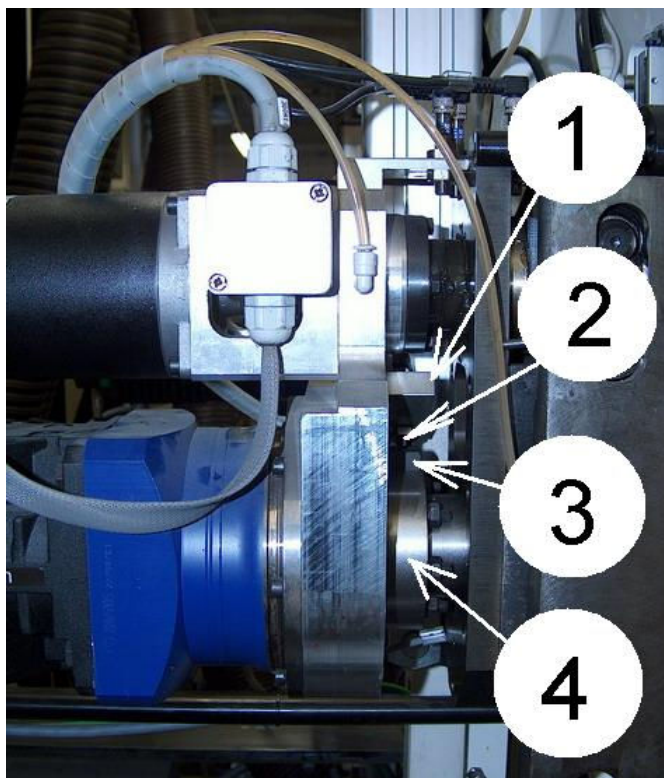
1.8 pav. Elektros variklis ir jo sukami įrenginiai

Forminio cilindro pavara pavaizduota 1.9 paveiksle. Forminio cilindro pavaroje yra du elektros varikliai: firmos „Control Techniques“ elektros variklis 115SLC300CAPAB, sukantis forminį cilindrą, ir firmos „Mae SPA Offanengo (CR)“ elektros variklis SY 3450 035A3, skirtas per specialią perdavą forminio cilindro padėčiai išilgai sukimosi ašies reguliuoti. Sukimasis nuo elektros variklio perduodamas spaudos cilindrui per firmos „Alpha Gettruebbau GmbH“ planetinį reduktorių TP 0255 - MF1 – 5 OG1 - 2A. Forminio cilindro pavaros tikslumui pagerinti joje yra 2 jutikliai (grįžtamojo ryšio įrenginiai), kurių vienas yra įmontuotas elektros variklyje (atskiras blokelis ant variklio ašies 1.9 pav.) ir kitas įmontuotas ant veleno, išeinančio iš reduktoriaus (1.10 pav.), šitas jutiklis duoda vieną impulsą per vieną veleno apsisukimą.



1 – firmos „Control Techniques“ elektros variklis 115SLC300CAPAB; 2 - firmos „Alpha Gettruebbau GmbH“ planetinis reduktorius TP 0255 - MF1 – 5 OG1 - 2A; 3 – firmos „Mae SPA Offanengo (CR)“ elektros variklis SY 3450 035A3.

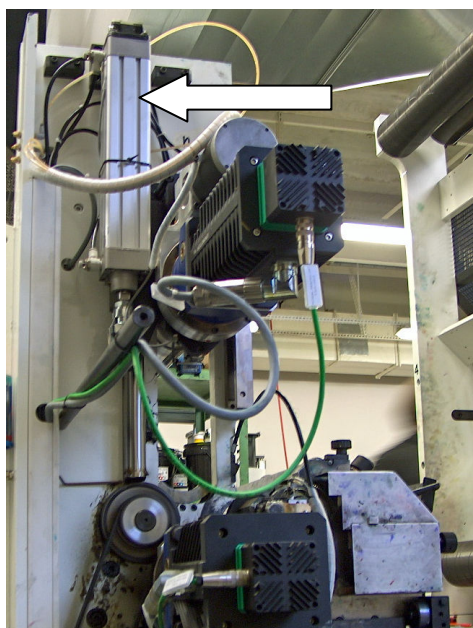
1.9 pav. Forminio cilindro pavara



1 – nejudanti plokštelė, kurioje įmontuotas jutiklis; 2 – jutiklis; 3 – speciali plokštelė, į kurią reaguoja jutiklis; 4 – sukamas žiedas, kuriame įmontuota speciali plokštelė.

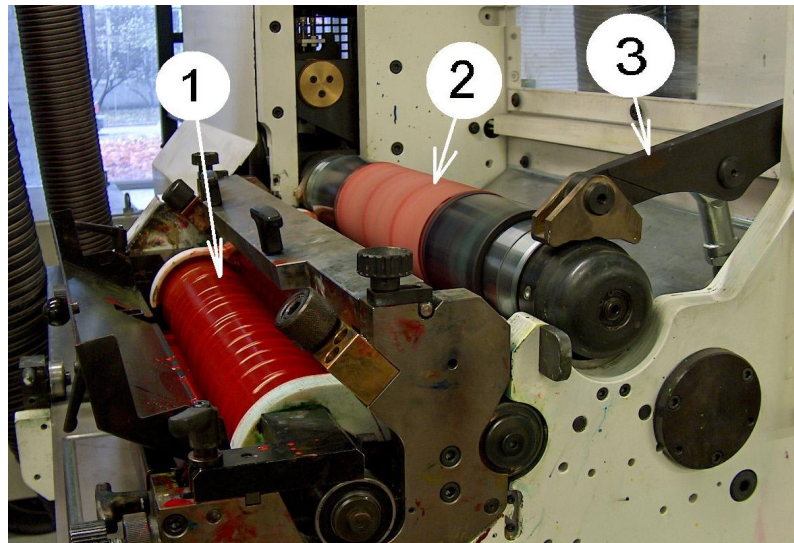
1.10 pav. Jutiklio mazgas

Pažymėtina, kad forminį cilindą prie spaudos ir aniloksinio cilindų prispaudžia pneumatinis cilindras (1.11 pav.)



1.11 pav. pneumatinis cilindras (pažymėtas rodykle), prispaudžiantis forminį cilindą prie spaudos ir aniloksinio cilindų.

Šis pneumatinis cilindras prispaudžia forminį cilindą prie kitų cilindų tik iš vienos pusės, o iš kitos pusės tą cilindą prispaudžia speciali svirtis (1.12 pav.)

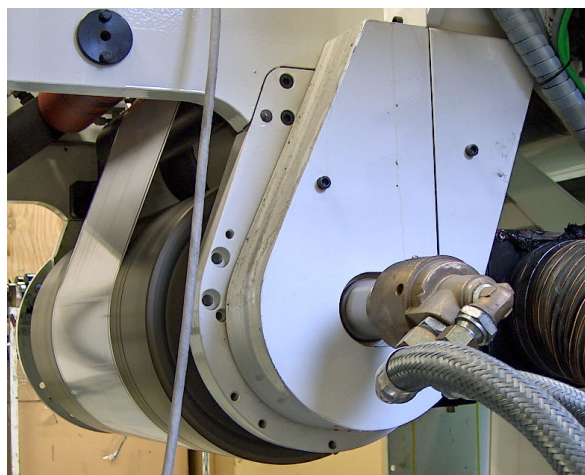


1 – dažų aparatas; 2 – forminis cilindras; 3 – forminį cilindą spaudos metu prispaudžianti svirtis.

1.12 pav. Spaudos ir dažų aparatai

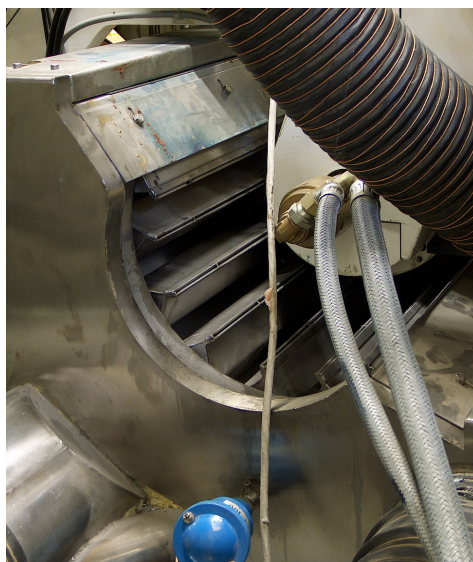
Taip pat kiekvienoje spaudos sekcijoje yra specialusis elektros varikliukas, kurio paskirtis yra tokia: kai mašina sustabdoma, aniloksinis ir duktorinis velenai turi suktis, kad dažai nepriliptų prie jų paviršių, be to, jie sukdamiesi dažų vonelėje geriau išmaišo dažus. Šis varikliukas pateiktas 1.8 paveiksle, jis pritvirtintas prie mašinos stovo šiek tiek žemiau elektros variklio, sukančio spaudos, aniloksinį, duktorinį ir aušinimo cilindrų spausdinant.

Kitas svarbus mazgas, esantis spaudos sekcijoje, yra džiovykla. Juosta, transportuojama per džiovyklą, gaubia aušinimo cilindą (1.13 pav.).

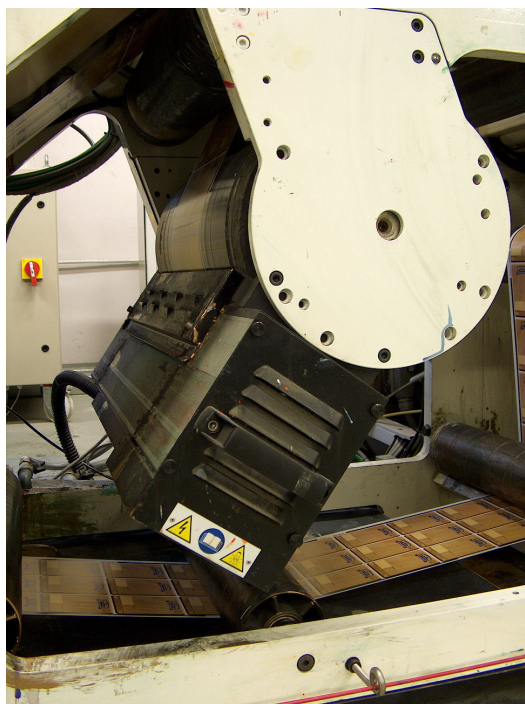


1.13 pav. Aušinimo cilindras ir vandens tiekimo žarnos

Mašinoje keturiose spaudos sekcijose įrengtos po dvi džiovyklos, o likusiose trijose – po vieną džiovyklą. Esminė mašinos paskirtis – spauda UV dažais, todėl visose spaudos sekcijose įrengtos UV džiovyklos ir tik keturiose – ir UV ir karšto oro džiovyklos. 1.14 paveiksle parodyta karšto oro džiovykla, o 1.15 paveiksle – UV džiovykla.



1.14 pav. Išstumta karštojo oro džiovykla: matyti plyšiai, per kuriuos pučiamas karštas oras



1.15 pav. UV džiovykla prie aušinimo cilindro

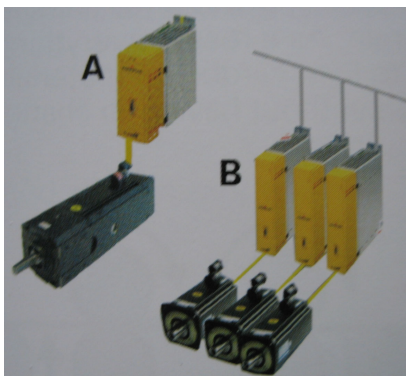
Kaip matyti 1.2 paveiksle spaudos sekcijoje dar yra kitų velenėlių. Šie velenėliai atlieka juostos transportavimo funkciją, kai kurių jų paviršiai nėra lygūs, o su specialiais grioveliais, skirtais juostai lyginti, kad ji į spaudos sekcijas eitų be raukšlių.

1.3. Spausdinimo sekcijos elektros pavaros

Kiekvienoje spaudos sekcijoje yra dvi valdomos elektros pavaros: forminio cilindro pavara ir dažų aparato, forminio ir aušinimo cilindro pavara. Mechaninės pavaros gauna sukimo judesį iš sinchroninių bešepėčių elektros variklių, vadinamų servovarikliais. Sekcijos veikimui suprasti toliau bus apžvelgtos servopavaros.

Elektros variklis, servoinverteris, juos jungiantys specialūs laidai ir mechaninės perdavos (ar jų elementai) sudaro mazgą, pavaizduotą 1.16 A paveiksle. Naudojant specialią programinę įrangą, šis mazgas sudaro autonominį pavaros modulį. Šie moduliai, sujungti į tinklą sistemos šyna, kaip pavaizduota 1.16 B paveiksle, sudaro spaudos mašinos elementus, sukuriančius tam tikrų parametrų sukimosi judesius [3].

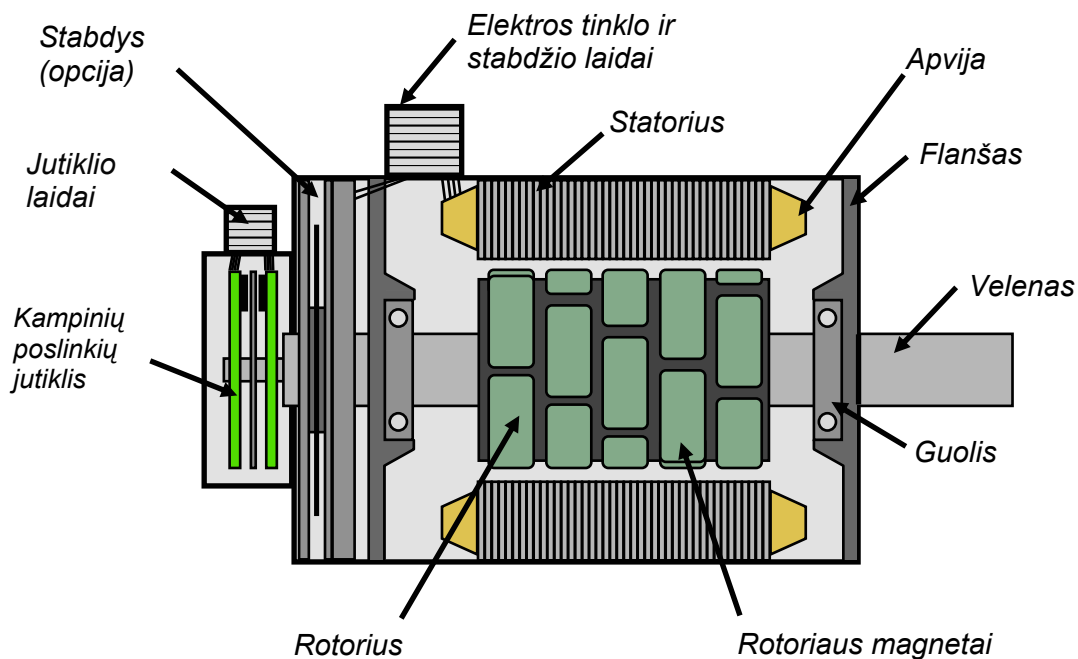
Vienas pagrindinių pavaros elementų yra trifazis kintamosios srovės elektros variklis. Šie varikliai vadinami priežiūros nereikalaujančiais varikliais, nes juose nėra dykančių detalių, pavyzdžiui, šepėčių ar komutatorių.



A – autonominis pavaros modulis; B – autonominiai pavaros moduliai, sujungti į tinklą sistemos šyna.

1.16 pav. Servopavarų komponentai [3]

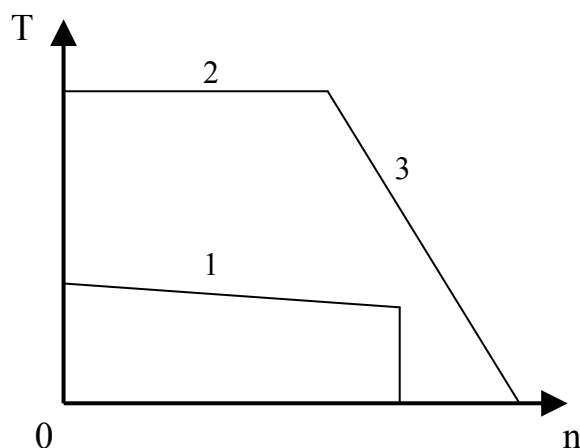
Servovariklio elektromagnetinė sistema (1.17 pav.) susideda iš magnetinį srautą sukuriančių nuolatinių magnetų, užfiksuotų variklio rotoruje, ir statoriaus apvijų [13].



1.17 pav. Servovariklio konstrukcijos pjūvis [14]

Būtent kintamosios srovės sinchroninių elektros variklių naudojimą servopavarose lemia tai, kad variklių sukuriamas sukimo momentas praktiškai mažai priklauso nuo variklio rotoriaus sukimosi dažnio. Variklio mechaninių charakteristikų tarpusavio priklausomybė pavaizduota 1.18 paveiksle.

Šiame paveiksle kreivė 1 riboja variklio stabilaus darbo zoną, kurioje sukimosi greičio ir sukuriamo momento reikšmės tarpusavyje tiesiškai priklauso. Parenkant variklį, stengiamasi, kad jo darbo charakteristikos kistų pagal 1 tiesę (žr. 1.18 pav.), tai yra, kad jo didžiausias sukimosi greitis būtų šiek tiek didesnis už mašinos didžiausią spaudos greitį. Variklis pasižymi geromis dinaminėmis savybėmis. 2 tiesė parodo variklio sukuriamo sukimo momento didžiausią reikšmę. 3 tiesė parodo variklio didžiausias sukimosi greičio reikšmes. Zona, esanti tarp kreivių 1, 2 ir 3, vadinama variklio nestabilaus darbo zona. Variklis labai išsyla.

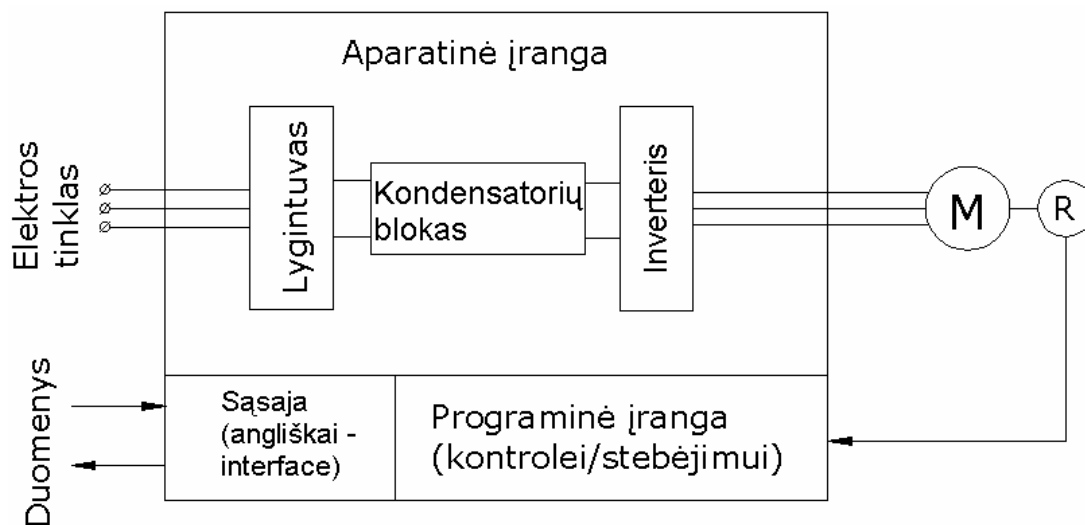


T – variklio sukuriamas sukimo momentas, Nm; n – variklio rotoriaus sukimosi dažnis, aps/min; 1 – variklio stabilaus darbo zoną ribojanti kreivė; 2 ir 3 – variklio nestabilaus darbo zoną ribojančios kreivės.

1.18 pav. Servovariklio sukimo momento priklausomybė nuo sukimosi dažnio [4]

Kiekvienas servovariklis turi grįžtamojo ryšio įrenginį. Šie jutikliai gali būti įvairių tipų, priklausomai nuo pavaroje naudojamo elektros variklio ir pavarai keliamų tikslumo reikalavimų. Spaudos mašinos sekcijose naudojamų servovariklių jutiklių skiriamoji geba yra 1024 ciklai per vieną apsisukimą, tai su naudojama programine įranga leidžia gauti 4194304 impulsų per vieną variklio veleno apsisukimą.

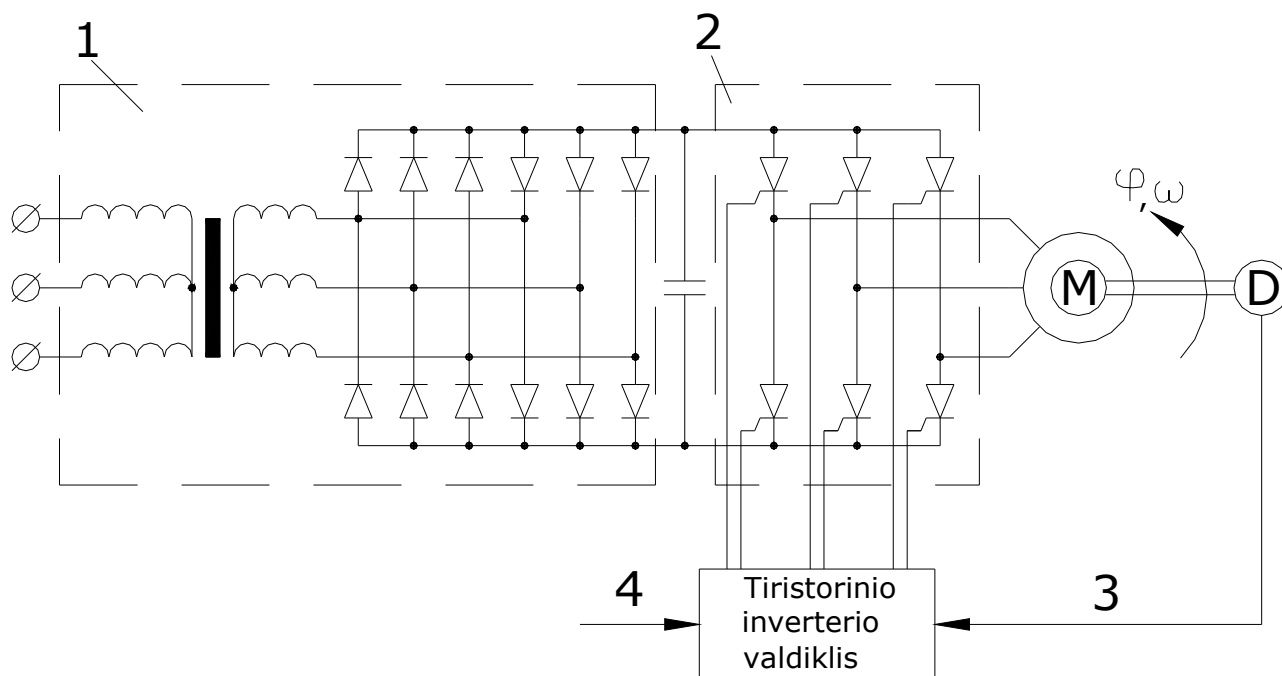
Servovarikliai valdomi inverterių, kuriuos valdo pavaros valdikliai (angliškai – *controllers*). Programinė įranga, esanti pavaros valdiklyje yra svarbus faktorius, lemiantis visos pavaros kokybę, nes aukštos kokybės programinė įranga leidžia subalansuoti nepasiekiamas mašinos detales. Bendroji elektros variklio valdymo schema pavaizduota 1.19 paveiksle.



M – servovariklis; R – grįžtamojo ryšio įrenginys.

1.19 pav. Servovariklio valdymo schema

Elektros srovės lygintuvai, esantys įėjime, tiekia išlygintą nuolatinę pastoviosios įtampos elektros srovę kondensatoriams. Kondensatoriai akumuliuoja elektros energiją ir tiekia ją variklių inverteriams, maitinantiems elektros variklius. Inverterio pagrindinė funkcija yra tam tikro dažnio ir įtampos elektros srovės tiekimas servovarikliui. Paprasčiausia (klasikinė) elektros servovariklio maitinimo ir valdymo schema pateikta 1.20 pav.

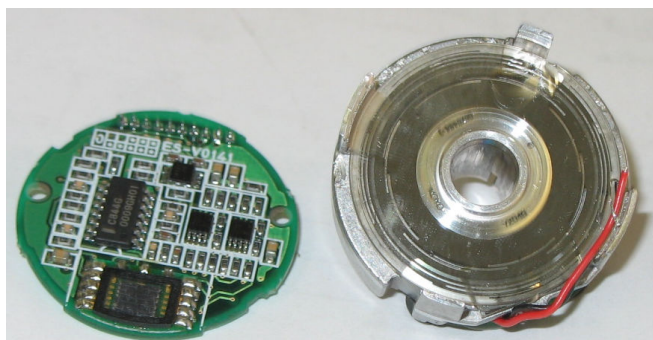


1 – elektros srovės lygintuvas; 2 – tiristorinis inverteris; 3 – signalai, einantys iš grįžamojo ryšio jutiklio (D) į tiristorinio inverterio valdiklį; 4 – signalai (duomenys) iš centrinio kompiuterio; M - elektros servovariklis; D – grįžamojo ryšio įrenginys.

1.20 pav. Servovariklio maitinimo ir valdymo schema

Elektros srovė iš tinklo patenka į lyginimo bloką (lygintuvą), kuriame yra transformatorius ir diodinis lyginimo blokas (tiltelis). Reikiamos įtampos nuolatinė srovė po lyginimo patenka į tiristorinį inverterį, iš kurio jau tam tikro dažnio (dažniausiai 50 Hz) ir fazės elektros srovė maitina servovariklį. Pabrėžtina, kad į tiristorinio inverterio valdiklį signalai siunčiami iš dviejų šaltinių: variklio grįžamojo ryšio įrenginio (jutiklio) ir iš centrinio kompiuterio. Jutiklis (D) reikalingas faktiniam variklio rotoriaus sukimosi dažniui ir pasisukimo kampui stebėti. Tiristorinio inverterio valdiklis lygina iš jutiklio ir centrinio kompiuterio atėjusius signalus ir atitinkamai keičia inverterio funkcionavimo parametrus.

Kampinių poslinkių jutiklis susideda iš specialaus stiklo disko su šviesą praleidžiančiomis išpjovomis ir optoelektronikos įtaisų, peršviečiančių šį diską (1.21 pav.).



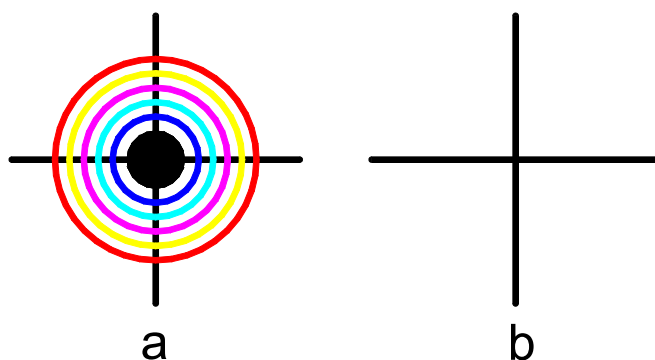
1.21 pav. Servovariklio grįžtamojo ryšio įrenginys (išardytas)

Programinė įranga ir elektronikos komponentai apima elektros variklio mechaninių charakteristikų kontrolę ir reguliavimą, kitų procesų stebėjimą ir informacijos (gautų duomenų) analizę.

1.4. Mašinos veikimo aprašymas

Šiame skyriuje bus aprašytas mašinos veikimas. Veikimą čia reikėtų suprasti kaip mašinos funkcionavimą, kada gaminama kokybiška produkcija. Kadangi kokybė yra labai plati sąvoka, tai čia bus išnagrinėti spalvų sutapdinimo, juostos įtempimo ir mašinos valdymo klausimai. Šie klausimai yra labai susiję tarpusavyje.

Spalvų sutapdinimas vyksta pagal specialiąsias žymes, kurių forma priklauso nuo substrato. Jeigu užspausdinamos polimerinės vienasluoksnės plėvelės, pvz., polipropilenas ar polietilenas, tai naudojamos „taikinio“ formos kontrolinės žymės (1.22a pav.). Užspausdinant storesnius pagrindus – tokius kaip popierius ar lipdukų popierius, naudojamos „kryžių“ formos kontrolinės žymės (1.22b pav.)



1.22 pav. Užspausdintų kontrolinių žymių formos spalvoms sutaptinti

Įvairių formų žymių naudojimas pagrįstas tuo, kad plėvelės gali praslysti, todėl pagal „taikinio“ formos žymas galima nustatyti slydimo kryptį ir apytikslį didumą. Be to plėvelių slydimui sumažinti ar apskritai jam panaikinti kiekvienoje spaudos sekcijoje yra speciali priemonė – guminis velenėlis, prispaudžiantis juosta prie spaudos cilindro. Žinoma, kad užspausdinant popierių tokių problemų nekyla ir guminio prispaudimo velenėlio galima nenaudoti. Kadangi nėra slydimo – tai ir kontrolinės žymės yra „kryžių“ formos. Slydimą galima būtų paaiškinti substrato paviršiaus lygumu: kadangi plėvelių paviršiai yra labai lygūs, tai jos praslysta ant cilindrų. Popieriaus paviršius nėra lygus, jis „kabinasi“ už cilindrus ir taip yra pasiekiamas geresnis sutapdinimo tikslumas.

Šios žymės yra nuskaitomos vaizdo kameros ir vaizdas yra siunčiamas į monitorių. Spaudėjas, matantis rezultatą, koreguoja spalvų sutapdinimą.

Pažymėtina, kad forminiai cilindrai dėl to, kad yra sukami atskirų elektros variklių, gali prasisukti 360 laipsnių kampu. Kai forminis cilindras prasisuka, jo greitis aniloksinio veleno atžvilgiu yra mažesnis arba didesnis, bet prasisukimas vyksta taip lėtai, kad formai ar plėvelei nėra jokios įtakos.

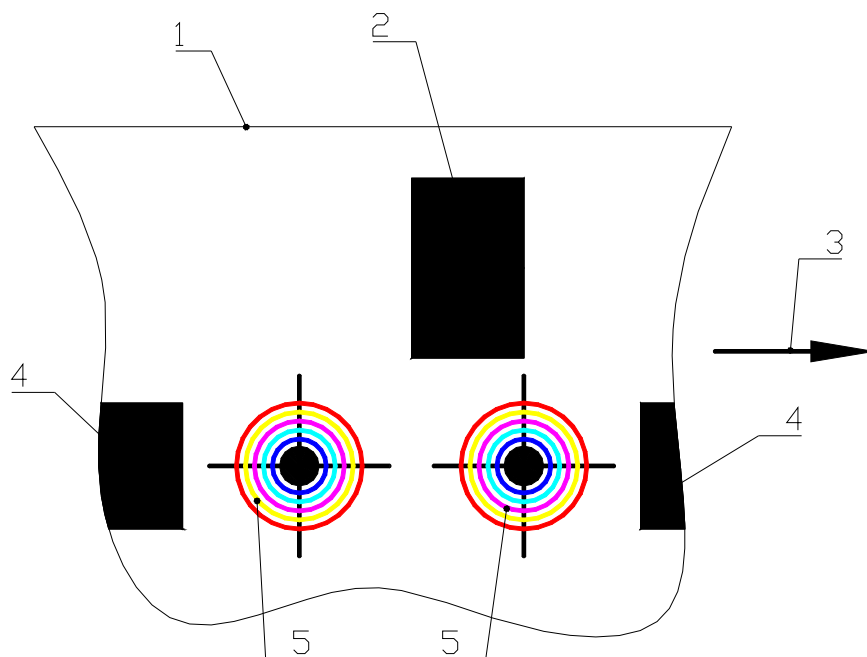
Be žymų, pagal kurias sutapdinamos spalvos, dar ant substrato spausdinamos rastrinės skalės. Tokios skalės spausdinamos kiekvienoje sekcijoje, pagal jas nustatoma dažų dengimo kokybė. Fleksografijoje užtepamų ant substrato dažų kiekis priklauso nuo:

1. dažų, duktorinio ir aniloksinio velenų, spaudos formos ir pačio substrato paviršinės įtempties (ji turi nuolat didėti);
2. aniloksinio veleno liniatūros;
3. slėgio tarp forminio ir spaudos cilindrų.

Kadangi paviršinės įtempties pakeisti negalima, tai užtepamų dažų kiekiui pakeisti dažniausiai naudoja 2-jį ir 3-jį būdus.

Dar prieš darant spaudos formas, reikia žinoti koku eiliškumu tos formos bus „įdėtos“ į mašiną. Gaminant formas ant kiekvienos iš jų padaromos specialiosios žymės (nespausdinamos), pagal kurias kiekviena formą klijuojama ant forminės gilzės, kuri po to bus užmauta ant forminio veleno. Vėliau derinant mašinos kompiuteris žino kur yra formų pradžios. Kai gilzė su užklijuota ant jos forma yra užmauta ant forminio veleno, dar prieš spausdinant, mašinos kompiuteris siunčia komandas forminių cilindrų elektros varikliams, kad kiekvienas jų pasisuktų atitinkamu pradiniu faziniu kampu, į vadinamąją nulinę poziciją. Todėl vėliau, pradedant spausdinti, derinimas yra lengvesnis, dažniausiai kelių milimetrų ribose. Derinimo greitis 10 m/min.

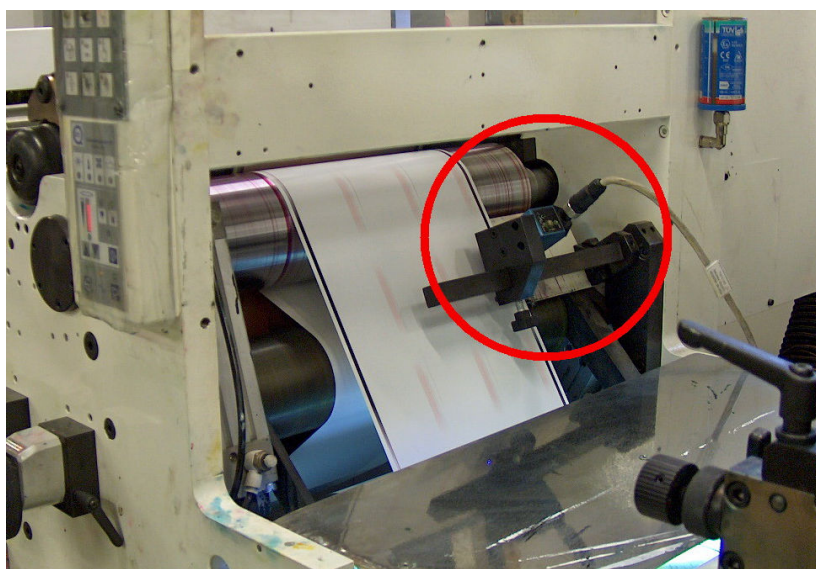
Jeigu užspausdinamos plėvelės, tai juoda spalva yra užspausdinama pirmoje sekcijoje. Juodos spalvos formoje yra speciali žymė – stačiakampio formos. Ji spausdinama prie „taikinio“ formos kontrolinių žymų. 1.23 paveiksle pavaizduota jau pro visas spaudos sekcijas praėjusi juosta.



1 – juostos kraštas; 2 – stačiakampio formos žymė; 3 – juostos judėjimo kryptis;
4 – papildomos žymės; 5 – taikinio formos žymės;

1.23 pav. Kontrolinės žymės ir jų išdėstymas juostos paviršiuje

Šitos juodos žymos yra nuskaitomos kiekvienoje spaudos sekcijose esančiais specialiais jutikliais. Pirmoje sekcijoje tokio jutiklio nėra. Naudojami firmos „Sick Optic Electronic“ jutikliai KT10WP1115 (1.24 pav.).



1.24 pav. Firmos „Sick Optic Electronic“ jutiklis KT10WP1115 (apibrauktas)

Tai fotoelektrinis jutiklis, jis padeda reguliuoti dažų sutapdinimą kai mašina dirba automatinio režimu. Šitas jutiklis skenuoja stačiakampio formos juodas žymes ir skenavimo duomenis siunčia į mašinos valdymo kompiuterį. Jeigu nustatoma, kad žymė „vėluoja“ ar „skuba“, tada šios sekcijos, kurioje jutiklis įmontuotas, forminio veleno elektros variklis prasisuka atgal arba į priekį. Pagrindinė nesutapdinimo priežastis yra plėvelės išsitempimas.

Jeigu užspausdinamas popierius ar lipdukų popierius, tada galima nenaudoti juodų žymių, nes popierius nesideformuoja tiek, kiek deformuojasi plėvelės, dėl to sutapdintos spalvos stabiliai užspausdinamos per visą tiražą.

Ne mažiau svarbus faktorius, įtakojantis spaudos kokybę yra substrato tempimas. „Omet Varyflex 420 FP“ mašinoje tempimas yra atliekamas kelių įrenginių. Prieš pradėdant spausdinti į mašinos valdymo kompiuterį įvedami duomenys apie substratą: substrato tipas (pvz., popierius, polipropilenas ir t.t.), substrato parametrai (pagrindiniai gramatūra (ar storis) ir plotis). Kompiuteris pagal užduotą programą parenka optimalų tempimo dydį. Juostos traukimo ir tempimo matavimo elementai yra šie:

1. juostos išvyniojimo mazgas:
 - 1.1. ašiniai pneumatiniai stabdžiai;
 - 1.2. du „šokinėjantys“ (plaukiojantys) velenėliai;
 - 1.3. juostos traukimo mechanizmas;
2. pospaudinio apdorojimo mazgas:
 - 2.1. juostos įtempimų matavimo įrenginiai (prieš ir po pirmos iškirtimo sekcijos);
 - 2.2. juostos traukimo įrenginiai (prieš ir po pirmos iškirtimo sekcijos);
 - 2.3. suklys, ant kurio vyniojama užspausdinta juosta.

Juostos įtempimai mašinos pradžioje turi būti šiek-tiek mažesni, už įtempimus mašinos pabaigoje, nes juosta privalo būti įtemptoje būsenoje, kad gauti kokybišką spaudą.

Ant paskutiniojoje spaudos sekcijoje esančio spaudos cilindro ašies uždėtas firmos „TR Electronic GmbH“ jutiklis ZI58S. Jis reikalingas spaudos greičiui matuoti (kontroliuoti) (1.25 pav.).



1.25 pav. Firmos „TR Electronic GmbH“ jutiklis ZI58S.

Juostos įtempiai matuojami prieš iš po iškirtimo mazgo, nes iškirtimo mazge vyksta sudėtingi procesai – juostos skerspjūvis pasikeičia (sumažėja) ir veikiant toms pačioms traukimo jėgoms, juosta gali nutrukti. Todėl pospaudinio apdorojimo mazge juostos įtempimai matuojami keliose vietose. Ir juosta traukiama keliose vietose skirtinga traukimo jėga.

1.5. Problemos aptarimas

Kaip buvo minėta anksčiau, darbe bus modeliuojama spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ sekcijos pavara. Pagrindinį susidomėjimą šia problema sukelia tai, kad mašina yra šiuolaikiška ir valdoma naudojant „elektroninio“ veleno koncepciją. Tačiau kokia nauja įranga bebūtų, idealios kokybės atspaudai vis tiek negaunami. Susipažinus su mašina, matyti, kad jos konstrukcijoje yra elementų, turinčių įtakos atspaudų kokybei. Darbe bus nagrinėjami mašinos konstrukcijos sukelti sukimo virpesiai: tai gali būti velenų mušimai, pasipriešinimo momentų netolygus kitimas ir kitos priežastys, nes dažniausiai dėl jų atsiranda spalvų nesutapdinimo problema. Susipažinus su modeliuojamuoju objektu (spaudos mašinos sekcija) matyti, kad jame yra mechaninių perdavų, ypač krumpliaratinių, kurios žinomos kaip sukimo virpesių vienas iš šaltinių.

Taigi pagrindinė problema yra sukimo virpesiai, kurių charakteristikos šiame darbe ir bus tiriamos.

2. PROBLEMOS IŠTYRIMO LYGIS

Darbe yra nagrinėjamas linijinės komponuotės fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spausdinimo sekcijos pavaros dinaminis tikslumas. Ypatingas dėmesys sutelktas į sukimo virpesius ir jų charakteristikas, kadangi šitie virpesiai labiausiai lemia spalvų sutapdinimo tikslumą ir atspaudų kokybę.

Žinoma, kad projektuojant poligrafinę įrangą, ypač spaudos mašinas, firmos atlieka: analizinius ir eksperimentinius tyrimus, įrangos kokybei ištirti ar surasti būdų tai kokybei pagerinti. Tačiau dažniausiai tyrimų eiga ir rezultatai neviešinami iš esmės dėl to, kad jais nepasinaudotų konkurentai, todėl šiame skyrelyje pateikta bendro pobūdžio informacija apie ištirtus objektus ir tyrimo metodus.

Nors darbe bus nagrinėjama fleksografinės spaudos mašinos sekcija, naudinga būtų sužinoti ir apie lapinės plokščiosios ofsetinės spaudos mašinos sekcijos virpesių tyrimą. Fleksografinės ir ofsetinės spaudos mašinų sekcijos turi konstrukcinių panašumų, todėl jų funkcionavimui tirti galima taikyti tuos pačius tyrimo metodus.

2.1. Eksperimentinis ir teorinis lapinės plokščiosios ofsetinės spaudos mašinos sekcijos virpesių tyrimas [5]

Spausdinimo mašinos pavarą virpesių požiūriu reikia nagrinėti kaip sistemą, turinčią daug virpesių formų. Virpesiai, sukeliama kintamų sukimo momentų ar jėgų, lemia spaudos kokybę, mašinos elementų naudojimo laiką ir triukšmo lygį. Virpesiams sumažinti dažniausiai taikomi šie būdai:

- žadinimo mažinimas;
- dinaminį charakteristikų gerinimas;
- tinkamų virpesių slopinimo sistemų parinkimas.

Kiekvienu konkrečiu atveju virpesių tipo ir jų charakteristikų nustatymas yra būtina sąlyga jų galimoms pasekmėms nagrinėti. Virpesiams tirti taikomi šie metodai:

1. Analizinis-kompiuterinis:
 - skaičiavimas taikant diferencialines lygtis;
 - modeliavimas.
2. Eksperimentinis.

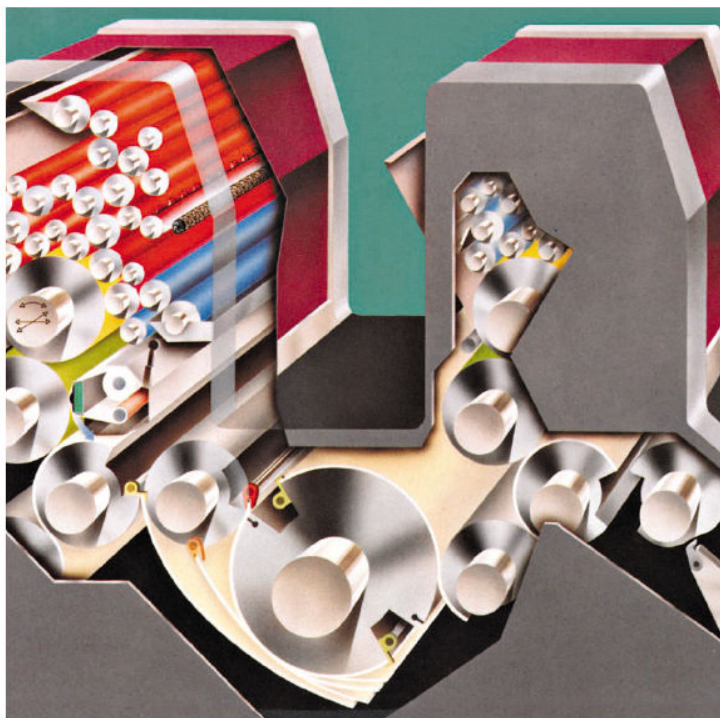
Pirmieji virpesių tyrimai atliekami konstruojant mašiną (kai dar braižomi brėžiniai). Šiame etape nustatomi virpesių tipai ir atliekamas matematinis modeliavimas. Lapinėse plokščiosios ofsetinės spaudos

mašinose didelis dėmesys skiriamas sukimo virpesiams tirti. Žinoma, kad visų cilindrų sukimui sinchronizuoti naudojamos krumpliaratinės perdavos, kurios yra vienas iš sukimo virpesių šaltinių.

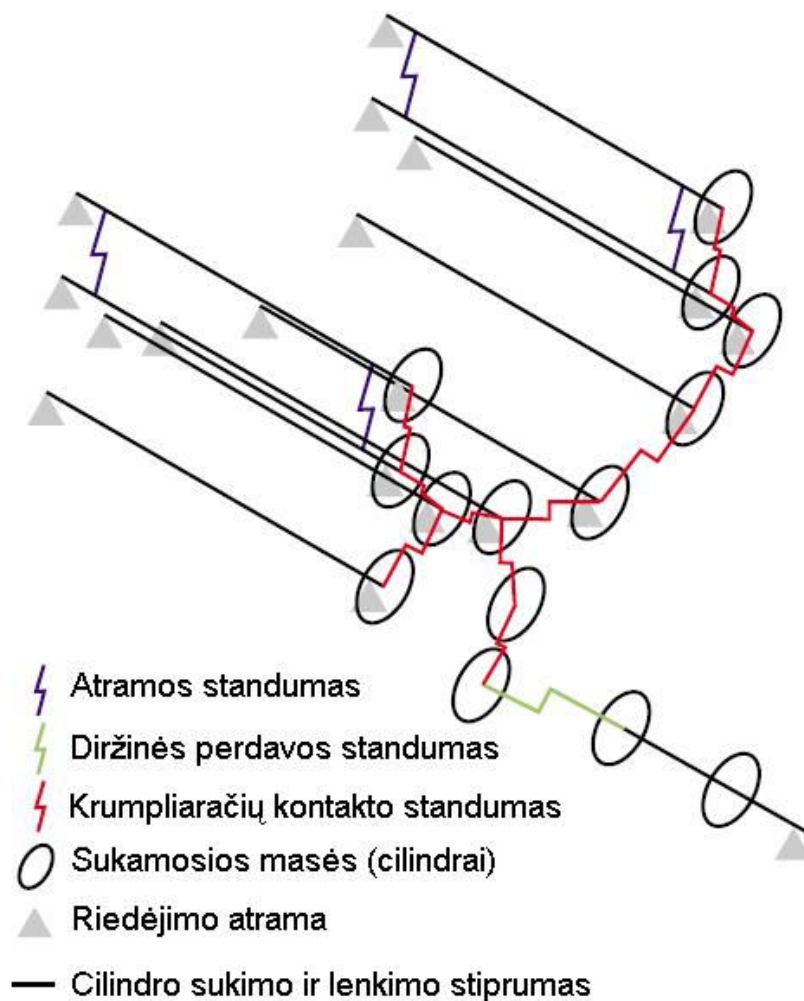
Modelyje, skirtame sukimo virpesių saviems dažniams ir formoms nustatyti, turi būti įvertinti ne tik sukimo, bet ir lenkimo virpesiai, nes lenkimo įtempiai yra pakankamai dideli. Dviejų spaudos sekcijų modelio virpesiams tirti struktūra pavaizduota 2.1.1 paveiksle.

Modelio parametrai, tokie kaip masės, inercijos momentai, standumo ir slopinimo koeficientai ir kt. gali būti nustatyti teoriškai ar eksperimentiškai. Standumo ir slopinimo koeficientų eksperimentinis nustatymas leidžia gauti tikslesnį modelį. Modeliavimas ir skaičiavimas dažniausiai vykdomi naudojant komercines simuliacijos programas (pavyzdžiui, firmos „The MathWorks“ programa „Matlab“ ar firmos „Maplesoft“ programa „Maple“). Modeliui, pavaizduotam 2.1.1 ir 2.1.2 paveiksluose, tirti buvo naudotas baigtinių elementų metodas, įvertinantis laisvės laipsnius, atsirandančius dėl elementų sukimo ir slinkimo judesių. Šis metodas leidžia nustatyti virpesių savuosius dažnius ir savąsias formas, pavaros dinamines charakteristikas.

Pavyzdžiui, sukimo virpesių skaičiavimas leidžia nustatyti spaudos mašinos pavaros pirmąjį savąjį dažnį, kai spaudos mašinos priekinės pusės cilindrai virpa priešingoje fazėje negu užpakalinės pusės cilindrai (popieriaus transportavimo kryptimi). Mašinos centre yra virpesių mazgas. Šios savosios formos dažnis turi būti pakankamai didelis, kad spausdinimas nesukeltų virpesių.



2.1.1 pav. Modeliuojamas objektas: dvi plokščiosios ofsetinės spaudos mašinos sekcijos

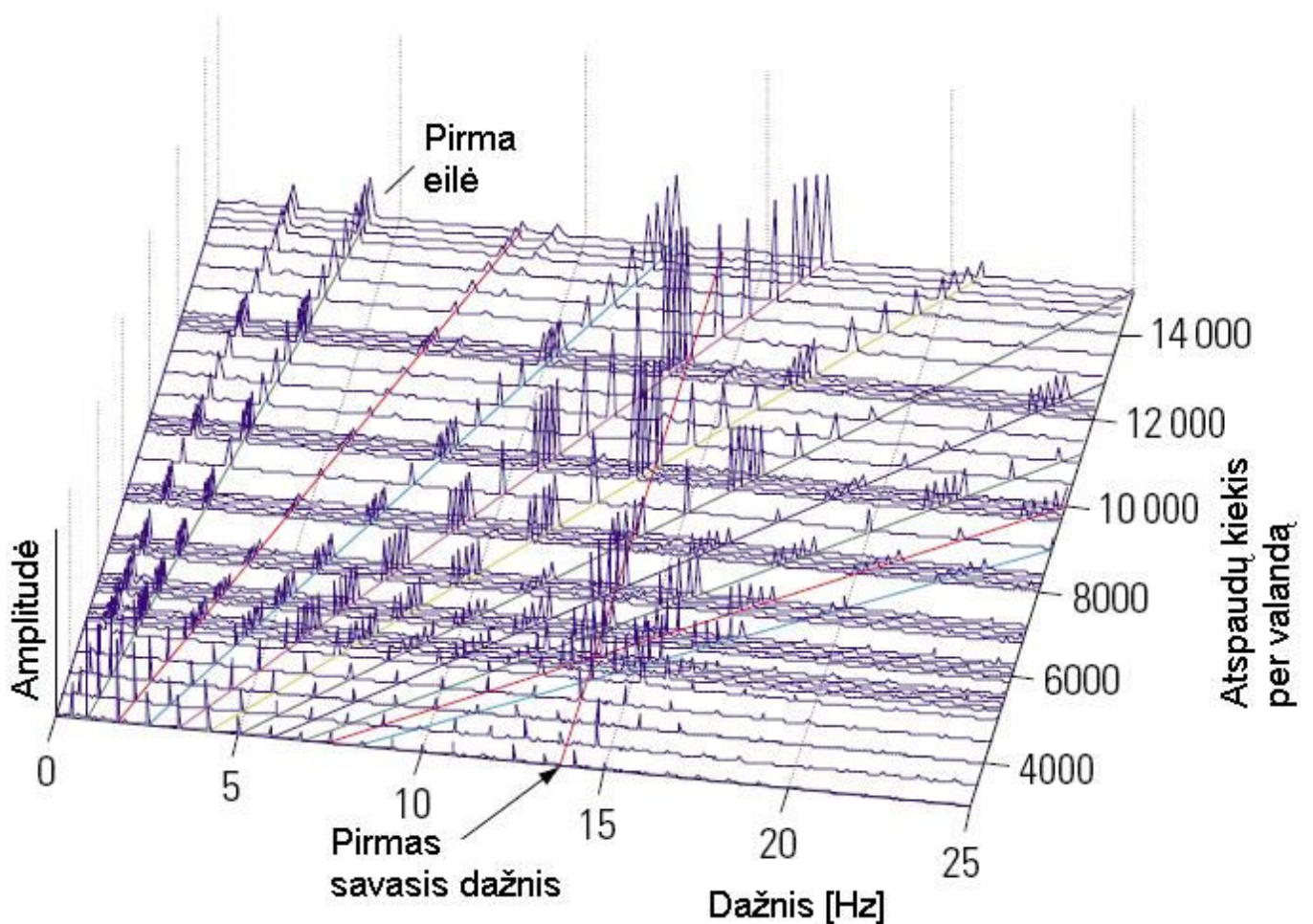


2.1.2 pav. Plokščiosios ofsetinės spaudos mašinos dviejų sekcijų supaprastintas dinaminis modelis virpesiams tirti

Antroji savoji virpesių forma jau turi du virpesių mazgus, esant didesniajam savajam dažniui. Jautrumo analizė, kurioje visi svarbūs modelio parametrai yra keičiami apibrėžtomis ribomis, parodo, kuri mašinos struktūros modifikacija turi didžiausią įtaką virpesių elgsenai.

Kita vertus, savųjų formų ir dažnių skaičiavimas įmanomas teoriškai modeliuojant mašinos veikimą, tačiau čia reikia įvertinti mašinos elementų dilimą. Tam modelyje vertinamos išorinės jėgos ir jėgų momentai. Modelio elementų pasisukimai ir naujos padėties yra nustatomos naudojant kampinio padidėjimo metodą. Modelio sudėtingumas ir daugybė galimų pasislinkimų riboja realius skaičiavimus.

Eksperimentai taikomi virpesiams tikrovėje ištirti ir modeliui. Tam ant velenų kakliukų ir kitose vietose tvirtinami specialūs jutikliai. Esant įvairiems spausdinimo greičiams, absoliutūs ir diferenciniai pasisukimo kampų dydžiai yra vienu metu matuojami. Tyrimų signalai gali būti vaizduojami, vadinamajame kaskadiniame grafike (2.2 pav.).



2.2 pav. Kaskadinis grafikas

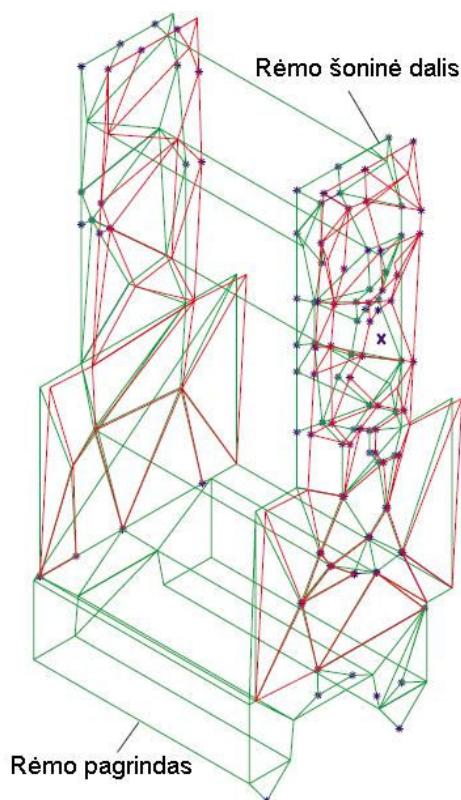
Reikšmingos signalų dalys išsidėsto integralinėmis eilėmis, tai reiškia, kad santykiniai susisukimai nuo apsisukimo iki apsisukimo nekinta, dėl to pasiekiamas aukštas susisukimo atkuriamumas, tuo pačiu pažymėtina, kad tikimybė sulaukti šablonavimo efekto yra labai maža. Didėjant spaudos greičiui didėja ir amplitudės. Tai galima paaiškinti padidėjusia kinetinės energijos reikšme. Pirmasis savasis dažnis gali būti nustatytas iš diagramos, kai esant tam tikro dažnio reikšmei, nepriklausomai nuo spaudos greičio dydžio, yra pastebimas virpesių amplitudžių padidėjimas.

Modeliuojant, matematiškai nagrinėjama mašinos konstrukcija, kuri yra žadinama veikiant spaudos mašinai. Eksperimentinės analizės pagrindinis skirtumas yra tas, kad čia yra ir dirbtinis, ir realus (dažniausiai atsitiktinis) žadinimas. Matematinis modeliavimas parodo, kaip veikia sistema esant įprastoms darbo sąlygoms, tai galima pavaizduoti kaip linijinės sistemos vidinių virpesių formų kombinacijas. Matematinė analizė leidžia gauti sistemos savąsias virpesių formas. Tai yra didžiulis šio metodo privalumas, nes konstrukcija gali būti pakeista, siekiant sumažinti virpesius. Skiriami du procesai virpesių savosioms formoms nustatyti: fazinis rezonansas ir fazių atskyrimas.

Esant faziniam rezonansui savosios virpesių formos yra atskiriamos eksperimentuojant. Sudėtinguose virpesių tyrimo testuose konstrukcija žadinama savuoju dažniu nuo kelių šaltinių. Žadinimas yra sinusinis, žadinimo fazės yra tiksliai parinktos. Tai leidžia tiesiogiai nustatyti savąją virpesių formą norimose konstrukcijos vietose.

Fazių atskyrimo technika naudojama gerokai dažniau. Taikant šį metodą, savosios formos yra atskiriamos matematiškai. Ši technika taikoma modalinėje analizėje.

Eksperimente spaudos mašinos sekcijos stovas yra žadinamas (veikiamas įvairių dažnių ir amplitudžių apkrovų) įvairiuose taškuose. Žadinimo šaltinis – elektrodinaminis vibratorius, sukuriantis pagal sinuso dėsnį kintančią apkrovą su reguliuojamais parametrais (dažnis, amplitudė). Rėme sukuriama tampriosios bangos yra vienu metu registruojamos keliose vietose. Remiantis skaičiavimais, atliktais naudojant perdavimo funkcijas tarp vibratoriaus ir virpesių registravimo vietų, buvo nustatyti modaliniai parametrai, kuriuos nusako virpėjimo kreivių reikšmės. Čia buvo panaudotas matematinis savųjų formų atskyrimas. Dažnai savoms virpesių formoms pavaizduoti naudojama kompiuterinė animacija, kurioje labai padidintos virpesių amplitudės. 2.3 paveiksle pavaizduota sekcijos stovo virpesių savoji forma.



x – virpesių žadinimo vieta; ● – sukeltų virpesių registravimo vietos.

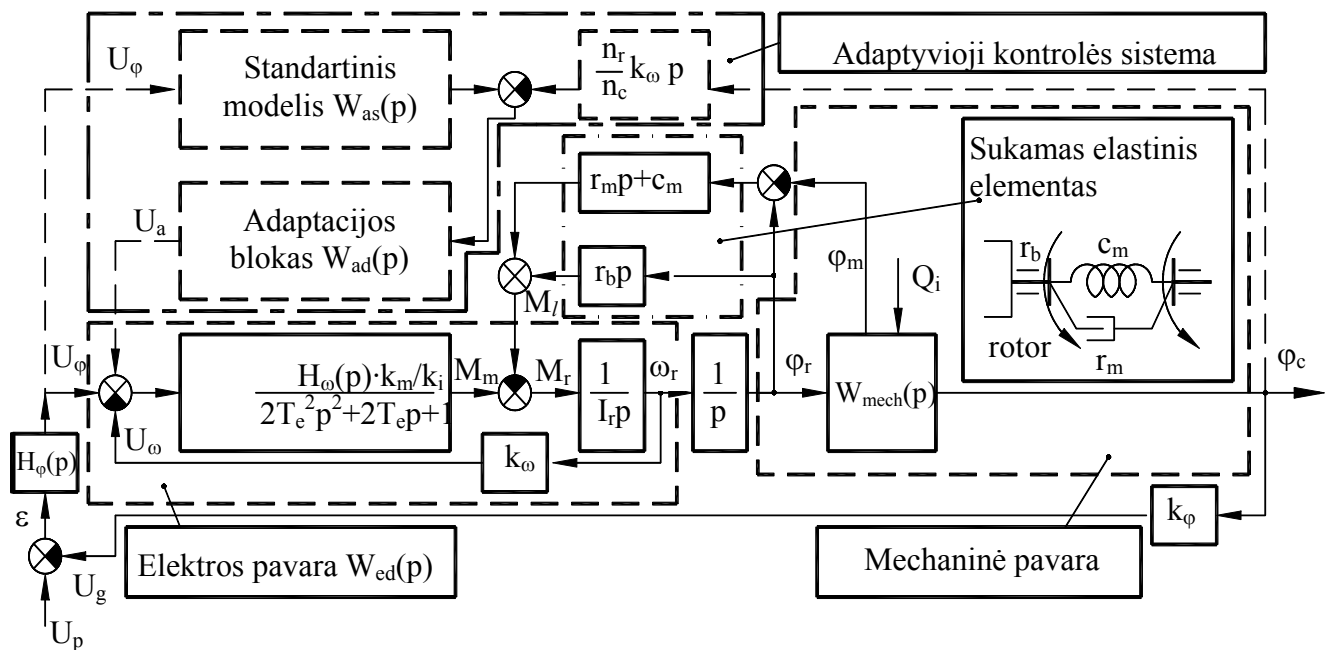
2.3 pav. Spaudos sekcijos virpesių savoji forma, gauta taikant fazių atskyrimo techniką. Pavaizduoti šoninių stovo dalių atvirkštinių pusių virpesiai

Iš tokių eksperimento rezultatų sprendžiama apie konstrukcijos sustandinimą. Esant reikalui, konstrukcija yra sustandinama ir vėl tiriama. Savųjų virpesių formos nustatymo etapai gali vykti tol, kol eksperimento pabaigoje nebus gauta tokia savųjų virpesių forma, kurios parametrai neviršys tam tikrų ribinių parametrų.

2.2. Elektroniniu būdu valdomos plokščiosios ofsetinės spaudos mašinos sekcijos modelis [6]

Šiandien dažniausiai naudojamos spaudos mašinos, susidedančios iš kelių, sumontuotų į liniją, sekcijų. Norint užtikrinti aukštą atspaudų kokybę ir aukštą sekcijų tarpusavio sinchronizacijos lygį, vis dažniau taikomos daugiavariklės elektromechaninės pavaros. Jų veikimo sinchronizacija atliekama elektroniniu būdu, naudojant „elektroninio“ veleno principus. Dinaminių charakteristikų dydžius lemia elektromechaninių pavarų techniniai duomenys.

Tyrimo tikslas yra sukurti ir ištirti matematinį modelį vietinės elektromechaninės pavaros dinaminių charakteristikų tikslumui tirti naudojant analitinį kompiuterio skaičiavimais paremtą metodą, tinkantį pavaros veikimui mažų pokyčių zonoje tirti. Iš esmės modelis sukurtas procesams pavaros mechaninėje dalyje tirti, todėl reiškiniai, vykstantys elektros dalyje, nedetalizuojami. Pagrindinė pavaros struktūrinė schema pateikta 2.4 paveiksle automatinio reguliavimo sistemos pavidalo. Sistemos įėjimo signalas yra valdymo signalas U_p ir išėjimo signalas yra ofsetinio cilindro pasisukimo kampas φ_c . Pavaros elektros ir mechaninių dalių posistemiai (jų perdavimo funkcijos $W_{ed}(p)$ ir $W_{mech}(p)$; trikdžiai, veikiantys mechaninę dalį, pažymėti Q_i) apibraukti brūkšnine linija. Adaptyvioji veleno greičio korekcijos sistema reikalinga pavaros valdymo kokybei pagerinti ir pavaros mechaninės dalies elastingose grandyse atsirandančių smūgių poveikiui sumažinti.



2.4 pav. Ritinės ofsetinės spaudos mašinos spausdinimo sekcijos pavaros struktūrinė schema

Naudojami šie simboliai: $p = \frac{d}{dt}$ - diferencijavimo operatorius; k_i, k_ω - pavaros elektros dalies srovės ir greičio reguliavimo kontūrų grįžtamojo ryšio koeficientai; T_e - galios stiprintuvo laiko konstanta; n_r, n_c - variklio rotoriaus ir ofsetinio cilindro vidutiniai sukimosi greičiai; ω_r, φ_r - rotoriaus kampinis sukimosi dažnis ir posūkio kampas; k_m - variklio magnetinės sistemos perdavimo koeficientas; M_l - apkrovos momentas; $H_\varphi(p)$ - padėties jutiklio perdavimo funkcija.

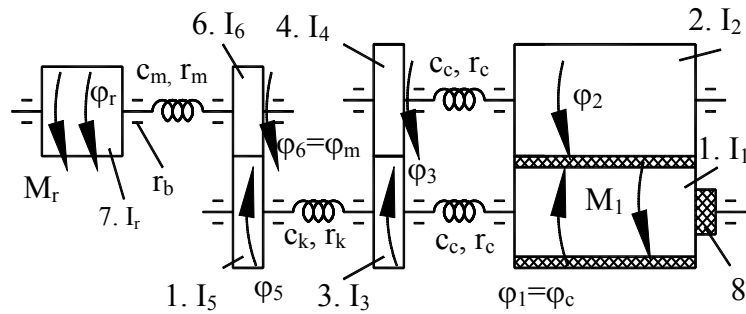
Pavaros mechaninė dalis gali būti tiesinė ar netiesinė. Variklio apkrovos momentui M_l nustatyti iš jo išskiriamas tiesinis elastinis slopinimo elementas, aprašomas standumo c_m ir slopinimo r_m koeficientais (taip pat gali būti vertinamas ir rotoriaus guolių slopinimo koeficientas r_b). Toks elementas turi jungti variklio rotorių su likusiais mechaniniais elementais.

Mechaninės dalies matematinis modelis sukurtas Lagranžo lygčių ir perdavimo funkcijų pagrindu. Valdoma koordinatė φ_c su didžiausiu galimu tikslumu turi kisti priklausomai nuo suteikiamo valdymo signalo U_p . Todėl signalui φ_c matuoti konstrukcijoje yra numatytas keitiklis, sukuriantis signalą $U_g = k_\varphi \cdot \varphi_c$. Pavaros tikslumui pagerinti gali būti naudojama greičio $\dot{\varphi}_c$ korekcijos sistema, veikianti adaptyvios kontrolės pagrindu. Viena pagrindinių šios kontrolės sistemos elementų yra keitiklis, turintis perdavimo funkciją $H_{ad}(p)$.

Pavyzdys:

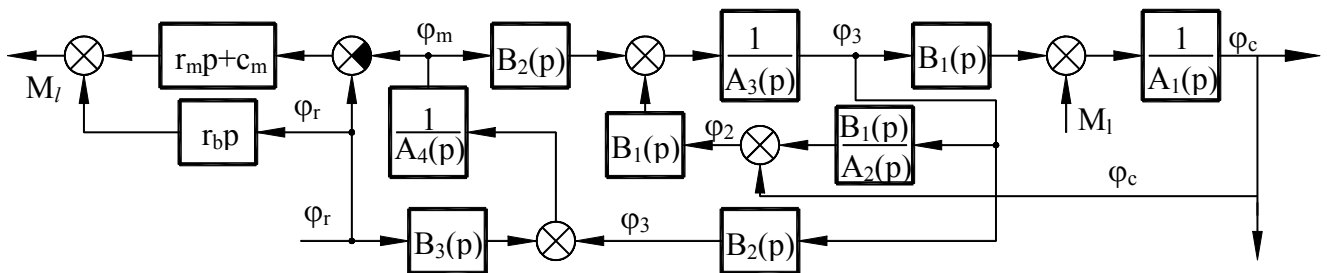
2.4 pav. parodytos struktūrinės schemos praktiniam taikymui pavaizduoti, parodytas jos naudojimas 2.5 pav. parodytai pavarai (elektrinė dalis neparodyta). Mechaninė sistema susideda iš forminio cilindro 1 ir ofsetinio cilindro 2, sukamų krumpliaračiais 3 ir 4, kuriems sukimo judesys perduodamas nuo elektros variklio per krumpliaratinę perdavą, susidedančią iš krumpliaračių 5 ir 6.

Nagrinėjami tik sukimo poslinkiai. Pavaros padėtį aprašo penkios apibendrintosios koordinatės: $\varphi_c, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_m, \varphi_r$ ($\varphi_3 = \varphi_4; \varphi_5 = i\varphi_6; i = R_6 / R_5$). Paveiksle pavaizduoti sukamieji elastiniai slopinimo elementai yra įvertinami. Simbolių reikšmės: I – sukamųjų kūnų inercijos momentai jų sukimo ašiu atžvilgiu; c, r – elastinių elementų standumo ir pasipriešinimo koeficientai. Fotoimpulsinis jutiklis 8 pritvirtintas prie cilindro 1 matuoja pasisukimo kampą φ_c . Cilindrą 1 veikia pasipriešinimo momentas $M_1(t)$.



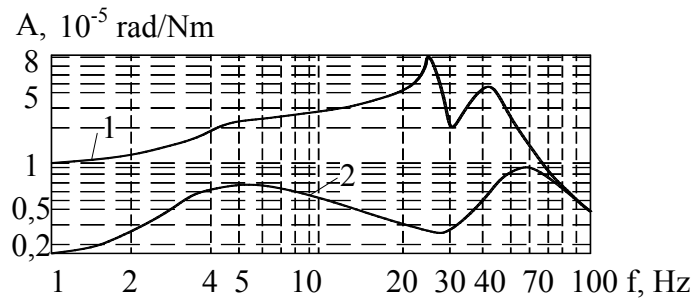
2.5 pav. Pavyzdžio mechaninės dalies dinaminis modelis

Naudojant Lagranžo lygtis ir įvedus diferencijavimo operatorių $p = \frac{d}{dt}$, gaunama algebrinių lygčių sistema, kurios pagrindu sukurta pavaros mechaninės dalies struktūrinė schema (2.6 pav.).



$$A_1(p) = I_1 p^2 + r_c p + c_c; \quad A_2(p) = I_2 p^2 + r_c p + c_c; \quad A_3(p) = (I_3 + I_4) p^2 + (r_k + 2r_c) p + c_k + 2c_c; \\ A_4(p) = (I_6 + i^2 I_5) p^2 + (r_m + i^2 r_k) p + c_m + i^2 c_k; \quad B_1(p) = r_c p + c_c; \quad B_2(p) = r_k p + c_k; \quad B_3(p) = r_m p + c_m$$

2.6 pav. Pavyzdžio mechaninės dalies struktūrinis modelis



2.7 pav. Pavyzdžio koordinatės φ_c amplitudinė-dažninė charakteristika, gauta be adaptyviosios korekcijos (1) ir su adaptyviąja korekcija (2).

2.7 paveiksle pavaizduota koordinatės φ_c amplitudinė-dažninė priklausomybė, gauta pagal struktūrinę schemą, pavaizduotą 2.4 paveiksle, pavyzdžio dinaminį modelį (2.5 pav.) ir naudojant MATLAB programinę įrangą. Skaičiuojant buvo padaryta prielaida, kad momentas $M_1 = M_0 \sin(\nu \cdot t)$.

2.3. Išvados

Spaudos mašinų pavarų dinaminiam tikslumui tirti taikomi įvairūs būdai. Populiariausi yra matematinis-kompiuterinis ir eksperimentinis būdai. Šie metodai turi savo privalumų ir trūkumų, todėl taikomi atsižvelgiant į tam tikros situacijos tikslingumą.

3. DARBO TIKSLAS IR TYRIMO TEMOS PAGRINDIMAS

Darbo tikslas yra ištirti fleksografinės spausdinimo mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spausdinimo sekcijos pavaros dinaminį tikslumą sukimo virpesių pagrindu, didelį dėmesį skiriant nagrinėjamojo objekto matematiniam modeliui sudaryti ir jo adekvatumui patikrinti.

Tyrimą atlikti:

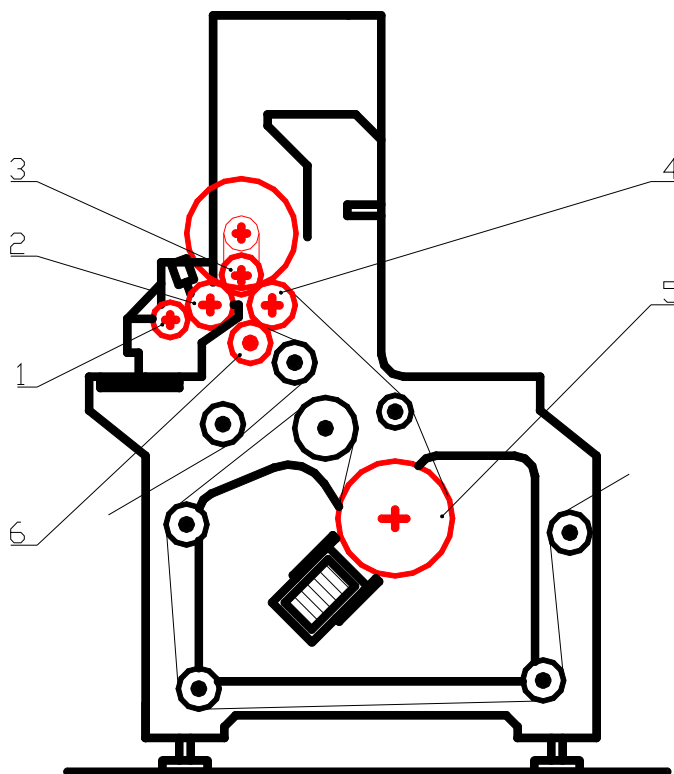
1. modeliuojant sistemą su pagrindiniais parametrais;
2. nustatant elektros pavaros įtaką virpesių charakteristikoms;
3. keičiant spausdinimo formą apibūdinančius parametrus;
4. keičiant krumpliaračių ciklinės harmoninės paklaidos amplitudės dydį;
5. keičiant guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmes.

Tyrimo tema buvo parinkta atsižvelgiant į šiuos veiksnius:

1. noras ištirti naują (taip pat ir Lietuvos Respublikos rinkoje) mašiną;
2. kadangi dažniausiai yra tiriamos ofsetinės spaudos mašinos, tai šiuo tyrimu norėta atkreipti dėmesį į fleksografinės spaudos techniką ir jos ypatumus;
3. kaip buvo minėta anksčiau, poligrafinės įrangos gamintojų tyrimai dėl tam tikrų priežasčių yra neviešinami, todėl šis tyrimas yra siekis gauti daugiau informacijos dominančiais klausimais.

4. TYRIMŲ OBJEKTO DETALIZAVIMAS IR SIŪLOMOS TYRIMO METODIKOS PAGRINDIMAS

Nors tyrimo objektas yra visa minėtos mašinos spausdinimo sekcijos pavara, tačiau toje sekcijoje daugiausiai dėmesio yra skiriama dažų bei spaudos aparatams ir aušinimo cilindrui. Todėl tiriamus objektus galima išskirti (4.1 pav.).

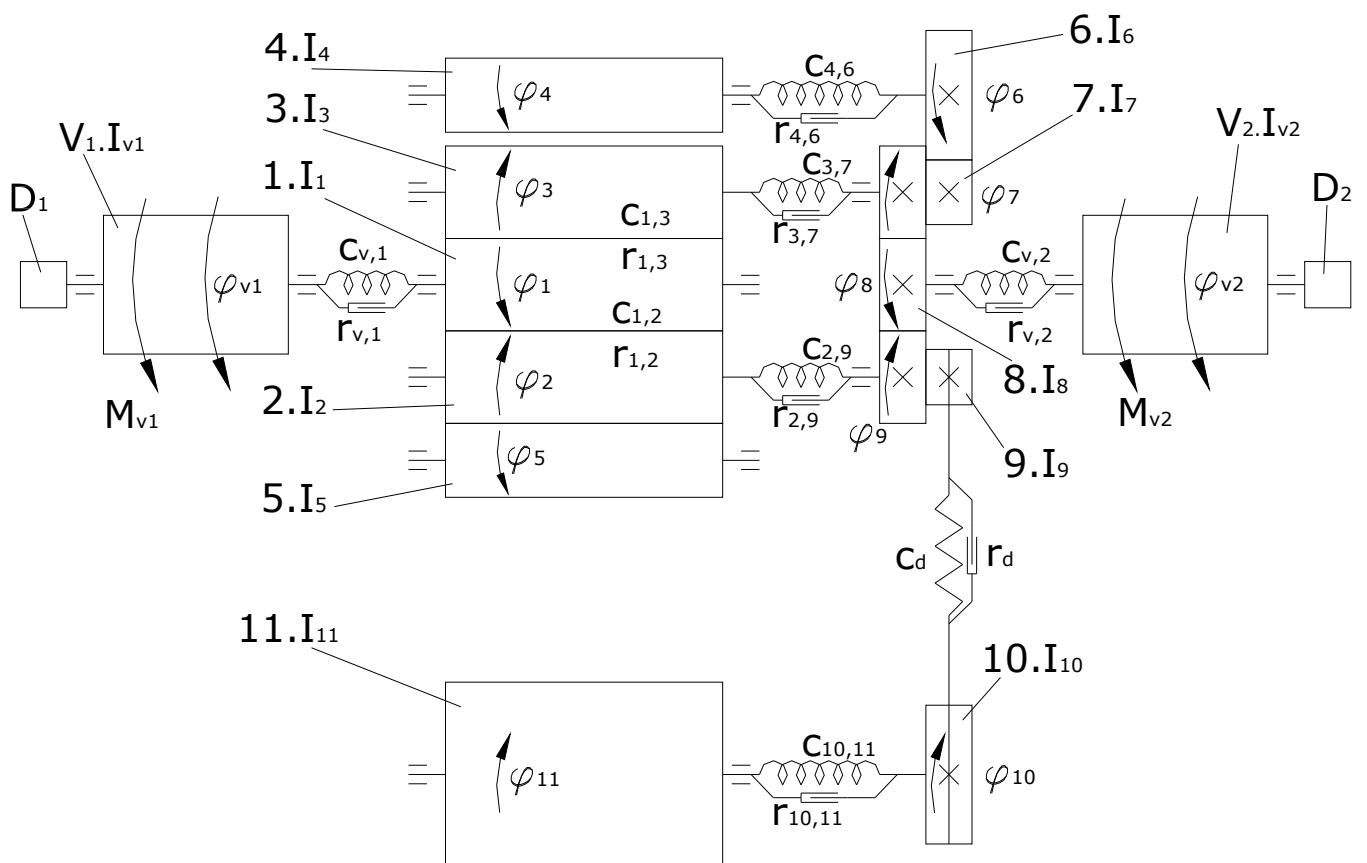


1 – duktoriaus velenas; 2 – aniloksinis velenas; 3 – forminis cilindras; 4 – spaudos cilindras; 5 – aušinimo cilindras; 6 – juostos prispaudimo velenas.

4.1 pav. Spaudos sekcijos tyrimo objektai (pažymėti raudona spalva)

Būtent šie velenai yra išskirti iš visų sekcijos velenų, nes dauguma jų yra sukami per krumpliaratines perdavas ar veikiant trinčiai. Lagranžo antrojo tipo lygtims, aprašančioms nagrinėjamąjį modeliuojamąjį objektą, sudaryti, reikia turėti nagrinėjamos spaudos sekcijos pavaros dinaminį modelį. Sukimo virpesiams tirti sudarytas dinaminis modelis, susidedantis iš bemasių elastinių ir slopinimo elementų ir kietų kūnų (4.2 pav.).

Pažymėtina, kad kuriamas linearizuotas modelis su pastoviais parametrais.



I – inercijos momentas; φ – pasisukimo kampas; r – pasipriešinimo koeficientas; c – standumo koeficientas; M – sukimo momentas; D – grįžtamojo ryšio įrenginys; V_1 – elektros variklis forminiam cilindrui sukti; V_2 – elektros variklis kitiems cilindrų sukti; 1 – forminis cilindras; 2 – spaudos cilindras; 3 – aniloksinis velenas; 4 – duktorinis velenas; 5 – juostos prispaudimo velenas; 6 – duktorinio veleno krumpliariatis; 7 – krumpliaračių blokas ant aniloksinio veleno ašies; 8 – krumpliariatis, perduodantis sukimo judesį visiems cilindrų ir velenams, išskyrus forminį; 9 – krumpliaračio ir krumplinio diržo perdavos skriemulio blokas; 10 – krumplinio diržo perdavos skriemulys; 11 – juostos aušinimo cilindras.

4.2 pav. Spaudos sekcijos mechaninės dalies dinaminis modelis sukimo virpesiams tirti

PASTABA: 4.2 paveiksle nepavaizduoti pasipriešinimo koeficientai guoliuose (g) ir visus dinaminio modelio elementus veikiantys pasipriešinimo momentai (M), bet sudarant sistemą aprašančias diferencialines lygtis, pasipriešinimo koeficientai ir momentai yra įvertinami.

Velenų virpesiams tirti bus sudarytos lygčių sistemos Lagranžo antrojo tipo lygties pagrindu:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i(t); \quad (4.1)$$

čia: T – kinetinė energija; Φ – disipacinė funkcija; Π – potencinė energija; $Q_i(t)$ – išorinė i-toji apibendrintoji jėga, veikianti i-tąją apibendrintąją koordinatę; q_i – i-toji apibendrintoji koordinatė; $\dot{q}_i$ – i-tasis apibendrintas greitis.

Kinetinės energijos išraiška:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} I_i \dot{\varphi}_i^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} I_i \omega_i^2; \quad (4.2)$$

čia: I_i – i-tojo elemento inercijos momentas; $\dot{\varphi}_i^2 = \omega_i^2$ – kampinis sukimosi greitis.

Disipacinės funkcijos išraiška:

$$\Phi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} r_i \dot{\Delta}_i^2 = \frac{1}{2} \{ r_{1,2} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2)^2 + \dots + r_{(n-1),n} (\dot{\varphi}_{n-1} - \dot{\varphi}_n)^2 \}; \quad (4.3)$$

čia: r_i – i-tasis pasipriešinimo koeficientas; $\dot{\Delta}_i$ – kampinių greičių skirtumas.

Potencinė energija:

$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} c_i \Delta_i^2 = \frac{1}{2} \{ c_{1,2} (\varphi_1 - \varphi_2)^2 + \dots + c_{(n-1),n} (\varphi_{n-1} - \varphi_n)^2 \}; \quad (4.4)$$

čia: c_i – i-tasis standumo koeficientas; Δ_i^2 – i-tasis apsisukimo kampų skirtumas.

Tokia pat tyrimo metodika buvo naudota tiriant elektroniniu būdu valdomą plokščiosios ofsetinės spaudos ritininės mašinos sekcijos modelį [6]. Šiuo atveju bus sukurtas tiriamųjų objektų matematinis modelis. Modelis bus sukurtas naudojant programos MATLAB paketą SIMULINK, leidžiantį tirti (modeliuoti laike) dinaminių sistemų veikimą. Programos sudarymas ir sistemos charakteristikų įvedimas gali būti vykdomas dialogo režimu, surenkant ekrane sistemą iš esamų elementariųjų grandžių. Toks skaičiavimo programų sukūrimas vadinamas vizualiuoju programavimu [14].

Vienas šios metodikos taikymo privalumų yra tas, kad metodika yra jau naudojama ir yra sėkmingų jos taikymo pavyzdžių.

Sudarant modelį buvo padarytos šios prielaidos:

1. užspausdinamo substrato juosta nevertinama, nes vertinant juostą tyrimas tampa sudėtingesnis, rezultatų tikslumas pagerėja maždaug 5%;
2. sistema laikoma tiesine su pastoviais parametrais;
3. krumpliaračių kontaktinis standumas nevertinamas;
4. modelio elektros dalis yra pateikta supaprastintoje formoje, kadangi šio tyrimo pagrindinė užduotis yra spaudos sekcijos mechaninės dalies sukimo virpesių tyrimas;
5. laikoma, kad cilindrai 2 ir 5 (žr. 4.2 pav.) sukasi be praslydimo;
6. pasipriešinimo koeficientai variklių guoliuose lygūs nuliui, nes praktiškai jų įtaka beveik nepastebima [6];
7. laikoma, kad spaudos forma yra ištisinė.

5. FLEKSOGRAFINĖS SPAUDOS MAŠINOS „OMET VARYFLEX 420 FP“ SPAUSDINIMO SEKCIJOS STRUKTŪRINIO MODELIO SUDARYMAS

Virpesiams tirti turi būti sudarytas spaudos sekcijos struktūrinis modelis, kuris sudaromas pagal nagrinėjamą sistemą aprašančias diferencialines lygtis. Todėl iš pradžių yra pateiktas diferencialinių lygčių sudarymas ir po to struktūriniai modeliai.

5.1. Sistemos mechaninę dalį aprašančių diferencialinių lygčių sudarymas

5.1.1. Paruošiamoji dalis

Atsižvelgiant į dinaminį modelį, pavaizduotą 4.2 paveiksle, priimama, kad pagrindinės (apibendrintosios) koordinatės, kurių pasikeitimai ir bus nustatomi, yra šie kampai: φ_{v1} , φ_{v2} , φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_4 , φ_8 , φ_{10} , φ_{11} .

Perdavimo skaičiai: $i_{10,9} = 2,5$, $i_{6,7} = 2$, kiti perdavimo skaičiai lygūs vienam.

Krumpliaračių paklaidų įvertinimas:

Kadangi krumpliaračių gamybos ar montavimo paklaidos yra viena iš virpesius sukeliančių priežasčių, ji turi būti įvertinta. Paklaidos įvertinamos šiomis lygybėmis:

$$\varphi_8 R_8 = \varphi_7 R'_7 + \Delta_{8,7}(\varphi_7); \quad (5.1)$$

$$\varphi_6 R_6 = \varphi_7 R''_7 + \Delta_{7,6}(\varphi_7); \quad (5.2)$$

$$\varphi_8 R_8 = \varphi_9 R_9 + \Delta_{8,9}(\varphi_9), \text{ čia} \quad (5.3)$$

φ_6 - krumpliaračio 6 (žr. 4.2 pav.) pasisukimo kampas; φ_7 - krumpliaračių bloko 7 (žr. 4.2 pav.) pasisukimo kampas; φ_8 - krumpliaračio 8 (žr. 4.2 pav.) pasisukimo kampas; R_6 - krumpliaračio 6 (žr. 4.2 pav.) dalijamasis skersmuo; R'_7 - krumpliaračių bloko 7 (žr. 4.2 pav.) didesniojo krumpliaračio dalijamasis skersmuo; R''_7 - krumpliaračių bloko 7 (žr. 4.2 pav.) mažesniojo krumpliaračio dalijamasis skersmuo; R_8 - krumpliaračio 8 (žr. 4.2 pav.) dalijamasis skersmuo; R_9 - krumpliaračio 9 (žr. 4.2 pav.) dalijamasis skersmuo; $\Delta_{7,6}(\varphi_7)$ - krumpliaračių bloko 7 (žr. 4.2 pav.) mažesniojo krumpliaračio paklaida, priklausanti nuo pasisukimo kampo φ_7 ; $\Delta_{8,7}(\varphi_7)$ - krumpliaračių bloko 7 (žr. 4.2 pav.) didesniojo

krumpliaračio paklaida, priklausanti nuo pasisukimo kampo φ_7 ; $\Delta_{8,9}(\varphi_9)$ - krumpliaračio bloko ir skriemulio bloko 9 (žr. 4.2 pav.) krumpliaračio paklaida, priklausanti nuo pasisukimo kampo φ_9 .

Krumpliaračių paklaidos yra periodiškos ir jų dydžiai kinta pagal harmoninį dėsnį.

(5.1), (5.2) ir (5.3) formules galima perrašyti išreiškiant visus kampus per kampą φ_8 :

$$\varphi_7 = \frac{R_8}{R'_7} \varphi_8 - \frac{\Delta_{8,7}(\varphi_7)}{R'_7}; \quad (5.4)$$

$$\varphi_6 = \frac{R''_7}{R_6} \varphi_7 + \frac{\Delta_{7,6}(\varphi_7)}{R_6} = \left[\frac{R''_7}{R_6} \left(\frac{R_8}{R'_7} \varphi_8 - \frac{\Delta_{8,7}(\varphi_7)}{R'_7} \right) \right] + \frac{\Delta_{7,6}(\varphi_7)}{R_6}; \quad (5.5)$$

$$\varphi_9 = \frac{R_8}{R_9} \varphi_8 - \frac{\Delta_{8,9}(\varphi_9)}{R_9}. \quad (5.6)$$

I (5.4)-(5.6) formules galima įvesti tokius žymėjimus:

$$i_{8,7} = \frac{R_8}{R'_7} - \text{krumpliaračių bloko 7 didesniojo krumpliaračio ir krumpliaračio 8 perdavimo skaičius};$$

$$i_{6,8} = \frac{R''_7}{R_6} \cdot \frac{R_8}{R'_7} - \text{perdavimo skaičius nuo 6-ojo krumpliaračio 8-ajam};$$

$$i_{8,9} = \frac{R_8}{R_9} - \text{8-ojo ir 9-ojo krumpliaračių perdavimo skaičius};$$

$$\alpha_{8,7} = \frac{\Delta_{8,7}(\varphi_7)}{R'_7}; \quad \alpha_{6,8} = \frac{R''_7}{R_6} \cdot \frac{\Delta_{8,7}(\varphi_7)}{R'_7} - \frac{\Delta_{7,6}(\varphi_7)}{R_6}; \quad \alpha_{8,9} = \frac{\Delta_{8,9}(\varphi_9)}{R_9}.$$

Tada kampų φ_6 , φ_7 , φ_9 išraiškos bus tokios:

$$\varphi_6 = i_{6,8} \varphi_8 - \alpha_{6,8}; \quad (5.7)$$

$$\varphi_7 = i_{8,7} \varphi_8 - \alpha_{8,7}; \quad (5.8)$$

$$\varphi_9 = i_{8,9} \varphi_8 - \alpha_{8,9}. \quad (5.9)$$

Kadangi laikoma, kad tarp spaudo cilindras ir juostos prispaudimo velenas sukasi be slydimo, todėl galima parašyti: $\varphi_5 R_5 = \varphi_2 R_2$. Iš čia: $\varphi_2 = \frac{R_5}{R_2} \varphi_5 = i_{2,5} \varphi_5$.

5.1.2. Sistemos kinetinė bei potencinė energijos ir disipacinė funkcija

Kinetinė energija:

Sistemos kinetinės energijos išraiška, atsižvelgiant į (4.2) išraišką, bus tokia:

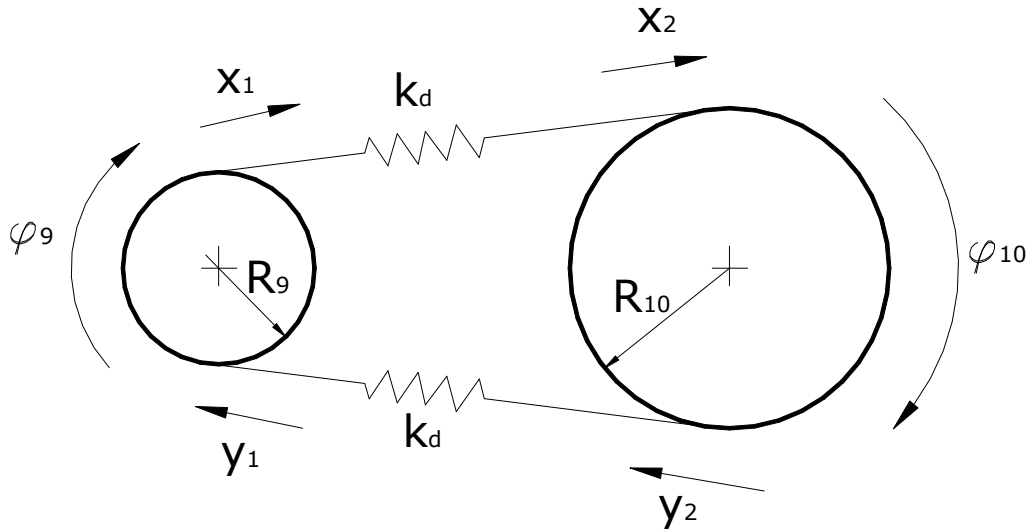
$$T = \frac{1}{2} [I_{v1} \dot{\varphi}_{v1}^2 + I_1 \dot{\varphi}_1^2 + I_2 \dot{\varphi}_2^2 + I_3 \dot{\varphi}_3^2 + I_4 \dot{\varphi}_4^2 + I_5 \dot{\varphi}_5^2 + I_6 \dot{\varphi}_6^2 + I_7 \dot{\varphi}_7^2 + I_8 \dot{\varphi}_8^2 + I_9 \dot{\varphi}_9^2 + I_{10} \dot{\varphi}_{10}^2 + I_{11} \dot{\varphi}_{11}^2 + I_{v2} \dot{\varphi}_{v2}^2]. \quad (5.10)$$

Pritaikius (5.7)-(5.9) formules, (5.10) formulę galima perrašyti taip:

$$T = \frac{1}{2} (I_{v1} \dot{\varphi}_{v1}^2 + I_1 \dot{\varphi}_1^2 + I_3 \dot{\varphi}_3^2 + I_4 \dot{\varphi}_4^2 + (I_2 + i_{2,5}^2 I_5) \dot{\varphi}_2^2 + I_6 (i_{6,8} \dot{\varphi}_8 - \dot{\alpha}_{6,8})^2 + I_7 (i_{8,7} \dot{\varphi}_8 - \dot{\alpha}_{8,7})^2 + I_8 \dot{\varphi}_8^2 + I_9 (i_{8,9} \dot{\varphi}_8 - \dot{\alpha}_{8,9})^2 + I_{10} \dot{\varphi}_{10}^2 + I_{11} \dot{\varphi}_{11}^2 + I_{v2} \dot{\varphi}_{v2}^2). \quad (5.11)$$

Potencinė energija:

Pirmiausia randama diržinės perdavos potencinę energiją. Tam naudojama tokia skaičiavimo schema (5.1 pav.):



φ_9, φ_{10} - skriemulių pasisukimo kampai; x_1, x_2, y_1, y_2 - diržo galų poslinkiai; k_d - diržo standumo koeficientas; R_9, R_{10} - skriemulių skersmenys.

5.1 pav. Skaičiavimo schema diržinės perdavos potencinei energijai nustatyti

Diržinės perdavos potencinė energija skaičiuojama taip:

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{2} [k_d (x_2 - x_1)^2 + k_d (y_2 - y_1)^2] = \frac{1}{2} [k_d (R_{10} \varphi_{10} - R_9 \varphi_9)^2 + k_d (R_{10} \varphi_{10} - R_9 \varphi_9)^2] = \\ &= \frac{1}{2} [(R_{10} \varphi_{10} - R_9 \varphi_9)^2 2k_d] = \frac{1}{2} \left[2k_d R_9^2 \left(\frac{R_{10}}{R_9} \varphi_{10} - \varphi_9 \right)^2 \right]. \end{aligned} \quad (5.12)$$

Panaudojus (5.9) formulę ir įvedus tokius žymėjimus:

$$i_{10,9} = \frac{R_{10}}{R_9} - \text{diržinės perdavos perdavimo skaičius};$$

$$c_d = 2k_d R_9^2 - \text{diržo standumo koeficientas, redukuotas prie mažesniojo skriemulio};$$

diržinės perdavos potencinės energijos išraiška (5.12) įgyja tokį pavidalą:

$$\Pi = \frac{1}{2} c_d (i_{10,9} \varphi_{10} - i_{8,9} \varphi_8 + \alpha_{8,9})^2 \quad (5.13)$$

Tada sistemos potencinė energija, atsižvelgiant į (4.4) formulę, bus tokia:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{1}{2} [c_{v,1} (\varphi_{v1} - \varphi_1)^2 + c_{4,6} (\varphi_4 - \varphi_6)^2 + c_{3,7} (\varphi_3 - \varphi_7)^2 + c_{2,9} (\varphi_2 - \varphi_9)^2 + c_d (i_{10,9} \varphi_{10} - i_{8,9} \varphi_8 + \alpha_{8,9})^2 + \\ & + c_{v,2} (\varphi_{v2} - \varphi_8)^2 + c_{10,11} (\varphi_{10} - \varphi_{11})^2 + c_{1,2} (\varphi_1 - \varphi_2)^2 + c_{1,3} (\varphi_1 - \varphi_3)^2]. \end{aligned} \quad (5.14)$$

Panaudojus (5.7)-(5.9) formules, (5.14) išraišką galima parašyti su pagrindinėmis (apibendrintosiomis) koordinatėmis:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{1}{2} [c_{v,1} (\varphi_{v1} - \varphi_1)^2 + c_{4,6} (\varphi_4 - i_{6,8} \varphi_8 + \alpha_{6,8})^2 + c_{3,7} (\varphi_3 - i_{8,7} \varphi_8 + \alpha_{8,7})^2 + c_{2,9} (\varphi_2 - i_{8,9} \varphi_8 + \alpha_{8,9})^2 + \\ & + c_d (i_{10,9} \varphi_{10} - i_{8,9} \varphi_8 + \alpha_{8,9})^2 + c_{v,2} (\varphi_{v2} - \varphi_8)^2 + c_{10,11} (\varphi_{10} - \varphi_{11})^2 + c_{1,2} (\varphi_1 - \varphi_2)^2 + c_{1,3} (\varphi_1 - \varphi_3)^2]. \end{aligned} \quad (5.15)$$

Disipacinė funkcija:

Disipacinės funkcijos bendrojo pavidalo išraiška pateikta (4.3) formulėje. Šios funkcijos išraiška yra panaši į potencinės energijos išraišką. Įvertinant pasipriešinimą guoliuose, sistemos disipacinė funkcija bus tokia:

$$\begin{aligned} \Phi = & \frac{1}{2} [r_{v,1} (\dot{\varphi}_{v1} - \dot{\varphi}_1)^2 + r_{4,6} (\dot{\varphi}_4 - i_{6,8} \dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{6,8})^2 + r_{3,7} (\dot{\varphi}_3 - i_{8,7} \dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{8,7})^2 + r_{2,9} (\dot{\varphi}_2 - i_{8,9} \dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{8,9})^2 + \\ & + r_d (i_{10,9} \dot{\varphi}_{10} - i_{8,9} \dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{8,9})^2 + r_{v,2} (\dot{\varphi}_{v2} - \dot{\varphi}_8)^2 + r_{10,11} (\dot{\varphi}_{10} - \dot{\varphi}_{11})^2 + r_{1,2} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2)^2 + r_{1,3} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_3)^2 + g_1 \dot{\varphi}_1^2 + \\ & + g_2 \dot{\varphi}_2^2 + g_5 i_{2,5} \dot{\varphi}_2^2 + g_3 \dot{\varphi}_3^2 + g_4 \dot{\varphi}_4^2 + g_6 (i_{6,8} \dot{\varphi}_8 - \dot{\alpha}_{6,8})^2 + g_7 (i_{8,7} \dot{\varphi}_8 - \dot{\alpha}_{8,7})^2 + g_8 \dot{\varphi}_8^2 + g_9 (i_{8,9} \dot{\varphi}_8 - \dot{\alpha}_{8,9})^2 + \\ & + g_{10} \dot{\varphi}_{10}^2 + g_{11} \dot{\varphi}_{11}^2]. \end{aligned} \quad (5.16)$$

5.1.3. Sistemos pasipriešinimo momentų nustatymas

Nagrinėjamoji sistema turi du elektros variklius, kuriuos veikia du pasipriešinimo momentai M_{a1} ir M_{a2} , atitinkamai veikiančius variklius $V1$ ir $V2$ (4.2 pav.). Bendroji formulė pasipriešinimo momentui M_{ai} nustatyti yra tokia:

$$M_{ai} = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{vi}} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{vi}}, \quad (i = 1, 2) \quad (5.17)$$

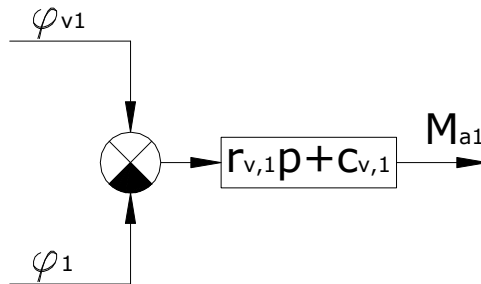
čia: Φ – disipacinė funkcija; Π – potencinė energija; $\dot{\varphi}_{vi}$ – i-tojo variklio rotoriaus sukimosi greitis; φ_{vi} – i-tojo variklio rotoriaus pasisukimo kampas.

Momento M_{a1} nustatymas:

$$\begin{aligned} M_{a1} &= \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{v1}} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{v1}} = r_{v,1}(\dot{\varphi}_{v1} - \dot{\varphi}_1) + c_{v,1}(\varphi_{v1} - \varphi_1) = r_{v,1}p\varphi_{v1} - r_{v,1}p\varphi_1 + c_{v,1}\varphi_{v1} - c_{v,1}\varphi_1 = \\ &= (r_{v,1}p + c_{v,1})(\varphi_{v1} - \varphi_1), \end{aligned} \quad (5.18)$$

čia: p – diferencijavimo operatorius, $p = \frac{d}{dt}$.

Pagal (5.18) lygtį sudaromas struktūrinis modelis (5.2 pav.), kurio įėjime yra φ_{v1} ir φ_1 signalai; išėjime – M_{a1} signalas.

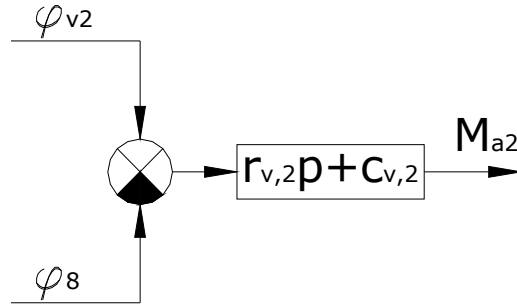


5.2 pav. Struktūrinis modelis momentui M_{a1} gauti

Momento M_{a2} nustatymas:

$$M_{a2} = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{v2}} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{v2}} = r_{v,2}(\dot{\varphi}_{v2} - \dot{\varphi}_8) + c_{v,2}(\varphi_{v2} - \varphi_8) = (r_{v,2}p + c_{v,2})(\varphi_{v2} - \varphi_8). \quad (5.19)$$

Pagal (5.19) lygtį sudaromas struktūrinis modelis (5.3 pav.), kurio įėjime yra φ_{v2} ir φ_8 signalai; išėjime – M_{a2} signalas.



5.3 pav. Struktūrinis modelis momentui M_{a2} gauti

5.1.4. Lagranžo antrojo tipo lygčių sudarymas sistemos apibendrintosioms koordinatėms išreikšti

Lagranžo lygtis (4.1) formos yra visa, tačiau šiuo atveju jos vienas narys $\partial T / \partial q_i = 0$, nes kinetinės energijos (5.11) išraiškoje nėra apibendrintųjų koordinačių, yra tik apibendrintieji greičiai. Sudarant lygtis koordinatėms, dešinėje lygties (4.1) pusėje yra pasipriešinimo momentas $M_i(t)$, kuris trukdo tam tikram kūnui pajudėti koordinatės φ_i kryptimi. Kaip pagalbinė priemonė lygtims sudaryti naudojama MATLAB programa, ja tikrinamas lygčių sudarymo teisingumas. Remiantis koordinatėms sudarytomis lygtimis sudaromi struktūriniai modeliai šioms koordinatėms gauti, kurie vėliau jungiami į bendrą spaudos sekcijos modelį.

Lagranžo antrojo tipo lygties sudarymas φ_1 koordinatei išreikšti:

Koordinatei φ_1 išreikšti naudojama tokia lygtis:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} \right) + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_1} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_1} = M_1(t). \quad (5.20)$$

Kinetinės energijos (5.11) išraiškos išvestinė:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} \right) = I_1 \ddot{\varphi}_1 = I_1 p^2 \varphi_1. \quad (5.21)$$

Disipacijos funkcijos (5.16) išraiškos išvestinė:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_1} = & -r_{v,1}(\dot{\varphi}_{v1} - \dot{\varphi}_1) + r_{1,2}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + g_1 \dot{\varphi}_1 + r_{1,3}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_3) = -r_{v,1} \dot{\varphi}_{v1} + r_{v,1} \dot{\varphi}_1 + r_{1,2} \dot{\varphi}_1 - r_{1,2} \dot{\varphi}_2 + g_1 \dot{\varphi}_1 + \\ & + r_{1,3} \dot{\varphi}_1 - r_{1,3} \dot{\varphi}_3 = [-r_{v,1} \varphi_{v1} + (r_{v,1} + r_{1,2} + g_1 + r_{1,3}) \varphi_1 - r_{1,2} \varphi_2 - r_{1,3} \varphi_3] p. \end{aligned} \quad (5.22)$$

Potencinės energijos (5.15) išraiškos išvestinė:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_1} &= -c_{v,1}(\varphi_{v1} - \varphi_1) + c_{1,2}(\varphi_1 - \varphi_2) + c_{1,3}(\varphi_1 - \varphi_3) = -c_{v,1}\varphi_{v1} + c_{v,1}\varphi_1 + c_{1,2}\varphi_1 - c_{1,2}\varphi_2 + c_{1,3}\varphi_1 - c_{1,3}\varphi_3 = \\ &= -c_{v,1}\varphi_{v1} + (c_{v,1} + c_{1,2} + c_{1,3})\varphi_1 - c_{1,2}\varphi_2 - c_{1,3}\varphi_3.\end{aligned}\quad (5.23)$$

Sujungus (5.21)-(5.23) išraiškas į (5.20) lygtį, gaunama diferencialinė lygtis, atitinkanti koordinatę φ_1 . Atitinkamai surūšiuojus:

$$\begin{aligned}&[I_1 p^2 + (r_{v,1} + r_{1,2} + g_1 + r_{1,3})p + c_{v,1} + c_{1,2} + c_{1,3}]\varphi_1 - (r_{v,1}p + c_{v,1})\varphi_{v1} - (r_{1,2}p + c_{1,2})\varphi_2 - \\ & - (r_{1,3}p + c_{1,2})\varphi_3 = M_1(t).\end{aligned}\quad (5.24)$$

Pažymėjus

$$A_1 = I_1 p^2 + (r_{v,1} + r_{1,2} + g_1 + r_{1,3})p + c_{v,1} + c_{1,2} + c_{1,3};$$

$$B_1 = r_{v,1}p + c_{v,1};$$

$$C_1 = r_{1,2}p + c_{1,2};$$

$$D_1 = r_{1,3}p + c_{1,2};$$

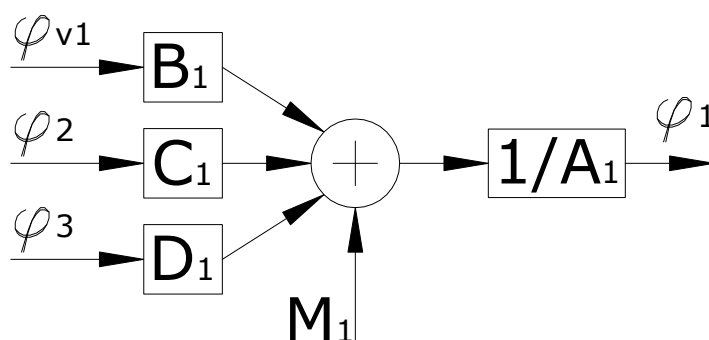
(5.24) lygtį galima perrašyti taip:

$$A_1\varphi_1 - B_1\varphi_{v1} - C_1\varphi_2 - D_1\varphi_3 = M_1. \quad (5.25)$$

Išreiškus iš (5.25) lygties kampa φ_1 , gaunama:

$$\varphi_1 = \frac{1}{A_1}[B_1\varphi_{v1} + C_1\varphi_2 + D_1\varphi_3 + M_1]. \quad (5.26)$$

Pagal (5.26) lygtį sudaromas struktūrinis modelis (5.4 pav.) kampui φ_1 gauti.



5.4 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_1 gauti

Lagranžo antrojo tipo lygties sudarymas φ_2 koordinatei išreikšti:

Koordinatei φ_2 išreikšti naudojama tokia lygtis:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_2} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_2} = M_2(t). \quad (5.27)$$

Kinetinės energijos (5.11) išraiškos išvestinė:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) = (I_2 + i_{2,5}^2 I_5) \ddot{\varphi}_2 = (I_2 + i_{2,5}^2 I_5) p^2 \varphi_2. \quad (5.28)$$

Disipacijos funkcijos (5.16) išraiškos išvestinė:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_2} &= r_{2,9} (\dot{\varphi}_2 - i_{8,9} \dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{8,9}) - r_{1,2} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + g_2 \dot{\varphi}_2 + g_5 i_{2,5} \dot{\varphi}_2 = r_{2,9} p \varphi_2 - r_{2,9} i_{2,9} p \varphi_8 + r_{2,9} \dot{\alpha}_{8,9} - \\ &- r_{1,2} p \varphi_1 + r_{1,2} p \varphi_2 + g_2 p \varphi_2 + g_5 i_{2,5} p \varphi_2. \end{aligned} \quad (5.29)$$

Potencinės energijos (5.15) išraiškos išvestinė:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_2} = c_{2,9} (\varphi_2 - i_{8,9} \varphi_8 + \alpha_{8,9}) - c_{1,2} (\varphi_1 - \varphi_2) = c_{2,9} \varphi_2 - c_{2,9} i_{8,9} \varphi_8 + c_{2,9} \alpha_{8,9} - c_{1,2} \varphi_1 + c_{1,2} \varphi_2. \quad (5.30)$$

Sujungus (5.28)-(5.30) išraiškas į (5.27) lygtį, gaunama diferencialinė lygtis, atitinkanti koordinatę φ_2 . Atitinkamai surūšiuojame:

$$\begin{aligned} &\varphi_2 [(I_2 + i_{2,5}^2 I_5) p^2 + (r_{2,9} + r_{1,2} + g_2 + g_5 i_{2,5}) p + c_{2,9} + c_{1,2}] - \varphi_8 [r_{2,9} i_{8,9} p + c_{2,9} i_{8,9}] - \\ &- \varphi_1 [r_{1,2} p + c_{1,2}] + c_{2,9} \alpha_{8,9} + r_{2,9} \dot{\alpha}_{8,9} = M_2. \end{aligned} \quad (5.31)$$

Pažymėjus

$$A_2 = (I_2 + i_{2,5}^2 I_5) p^2 + (r_{2,9} + r_{1,2} + g_2 + g_5 i_{2,5}) p + c_{2,9} + c_{1,2};$$

$$B_2 = r_{2,9} i_{8,9} p + c_{2,9} i_{8,9};$$

$$C_2 = r_{1,2} p + c_{1,2};$$

$$D_2 = c_{2,9} \alpha_{8,9} + r_{2,9} \dot{\alpha}_{8,9};$$

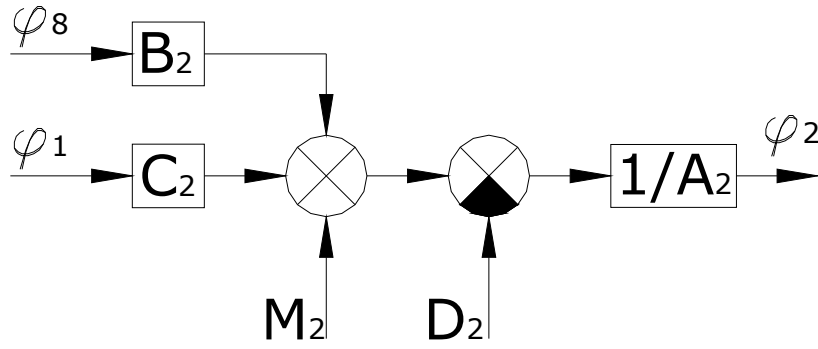
(5.31) lygtį galima perrašyti taip:

$$A_2 \varphi_2 - B_2 \varphi_8 - C_2 \varphi_1 + D_2 = M_2. \quad (5.32)$$

Išreiškus iš (5.32) lygties kampą φ_2 , gaunama:

$$\varphi_2 = \frac{1}{A_2} [B_2 \varphi_8 + C_2 \varphi_1 - D_2 + M_2] \quad (5.33)$$

Pagal (5.33) lygtį sudaromas struktūrinis modelis (5.5 pav.) kampui φ_2 gauti.



5.5 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_2 gauti

Lagranžo antrojo tipo lygties sudarymas φ_3 koordinatei išreikšti:

Koordinatei φ_3 išreikšti naudojama tokia lygtis:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} \right) + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_3} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_3} = M_3(t). \quad (5.34)$$

Kinetinės energijos (5.11) išraiškos išvestinė:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} \right) = I_3 \ddot{\varphi}_3 = I_3 p^2 \varphi_3. \quad (5.35)$$

Disipacijos funkcijos (5.16) išraiškos išvestinė:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_3} &= r_{3,7} (\dot{\varphi}_3 - i_{8,7} \dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{8,7}) + r_{1,3} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_3) + g_3 \dot{\varphi}_3 = \\ &= r_{3,7} p \varphi_3 - r_{3,7} i_{8,7} p \varphi_8 + r_{3,7} \dot{\alpha}_{8,7} + r_{1,3} p \varphi_1 - r_{1,3} p \varphi_3 + g_3 p \varphi_3. \end{aligned} \quad (5.36)$$

Potencinės energijos (5.15) išraiškos išvestinė:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_3} = c_{3,7} (\varphi_3 - i_{8,7} \varphi_8 + \alpha_{8,7}) + c_{1,3} (\varphi_1 - \varphi_3) = c_{3,7} \varphi_3 - c_{3,7} i_{8,7} \varphi_8 + c_{3,7} \alpha_{8,7} + c_{1,3} \varphi_1 - c_{1,3} \varphi_3. \quad (5.37)$$

Sujungus (5.35)-(5.37) išraiškas į (5.34) lygtį, gaunama diferencialinė lygtis, atitinkanti koordinatę φ_3 . Atitinkamai surūšiuojus:

$$\begin{aligned} \varphi_3 [I_3 p^2 + (r_{3,7} + g_3 + r_{1,3}) p + c_{3,7} + c_{1,3}] - \varphi_8 [r_{3,7} i_{8,7} p + c_{3,7} i_{8,7}] - \varphi_1 [r_{1,3} p + c_{1,3}] + \\ + c_{3,7} \alpha_{8,7} + r_{3,7} \dot{\alpha}_{8,7} = M_3. \end{aligned} \quad (5.38)$$

Pažymėjus

$$A_3 = I_3 p^2 + (r_{3,7} + g_3 + r_{1,3}) p + c_{3,7} + c_{1,3};$$

$$B_3 = r_{3,7} i_{8,7} p + c_{3,7} i_{8,7};$$

$$C_3 = r_{1,3}p + c_{1,3};$$

$$D_3 = c_{3,7}\alpha_{8,7} + r_{3,7}\dot{\alpha}_{8,7};$$

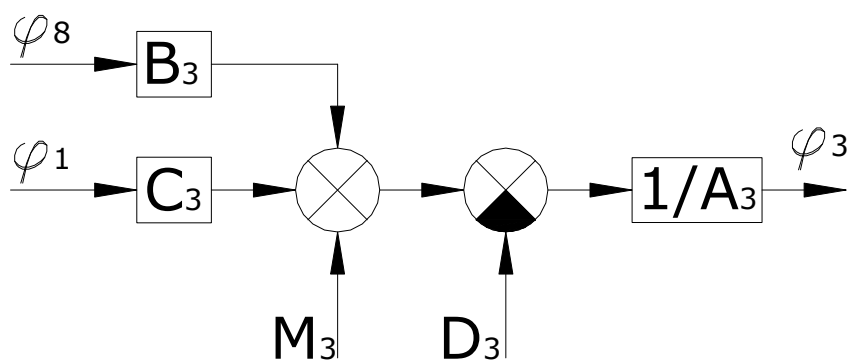
(5.38) lygtį galima perrašyti taip:

$$A_3\varphi_3 - B_3\varphi_8 - C_3\varphi_1 + D_3 = M_3. \quad (5.39)$$

Išreiškus iš (5.39) lygties kampą φ_3 , gaunama:

$$\varphi_3 = \frac{1}{A_3}[B_3\varphi_8 + C_3\varphi_1 + M_3 - D_3]. \quad (5.40)$$

Pagal (5.40) lygtį sudaromas struktūrinis modelis (5.6 pav.) kampui φ_3 gauti.



5.6 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_3 gauti

Lagranžo antrojo tipo lygties sudarymas φ_4 koordinatei išreikšti:

Koordinatei φ_4 išreikšti naudojama tokia lygtis:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_4}\right) + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_4} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_4} = M_4(t). \quad (5.41)$$

Kinetinės energijos (5.11) išraiškos išvestinė:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_4}\right) = I_4\ddot{\varphi}_4 = I_4 p^2 \varphi_4. \quad (5.42)$$

Disipacijos funkcijos (5.16) išraiškos išvestinė:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_4} &= r_{4,6}(\dot{\varphi}_4 - i_{6,8}\dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{6,8}) + g_4\dot{\varphi}_4 = r_{4,6}\dot{\varphi}_4 - r_{4,6}i_{6,8}\dot{\varphi}_8 + r_{4,6}\dot{\alpha}_{6,8} + g_4\dot{\varphi}_4 = \\ &= r_{4,6}p\varphi_4 - r_{4,6}i_{6,8}p\varphi_8 + r_{4,6}\dot{\alpha}_{6,8} + g_4p\varphi_4. \end{aligned} \quad (5.43)$$

Potencinės energijos (5.15) išraiškos išvestinė:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_4} = c_{4,6}(\varphi_4 - i_{6,8}\varphi_8 + \alpha_{6,8}) = c_{4,6}\varphi_4 - c_{4,6}i_{6,8}\varphi_8 + c_{4,6}\alpha_{6,8}. \quad (5.44)$$

Sujungus (5.42)-(5.44) išraiškas į (5.41) lygtį, gaunama diferencialinė lygtis, atitinkanti koordinatę φ_4 . Atitinkamai surūšiuojame:

$$\varphi_4 [I_4 p^2 + (r_{4,6} + g_4)p + c_{4,6}] - \varphi_8 [r_{4,6}i_{6,8}p + c_{4,6}i_{6,8}] + c_{4,6}\alpha_{6,8} + r_{4,6}\dot{\alpha}_{6,8} = M_4. \quad (5.45)$$

Pažymėjus

$$A_4 = I_4 p^2 + (r_{4,6} + g_4)p + c_{4,6};$$

$$B_4 = r_{4,6}i_{6,8}p + c_{4,6}i_{6,8};$$

$$C_4 = c_{4,6}\alpha_{6,8} + r_{4,6}\dot{\alpha}_{6,8};$$

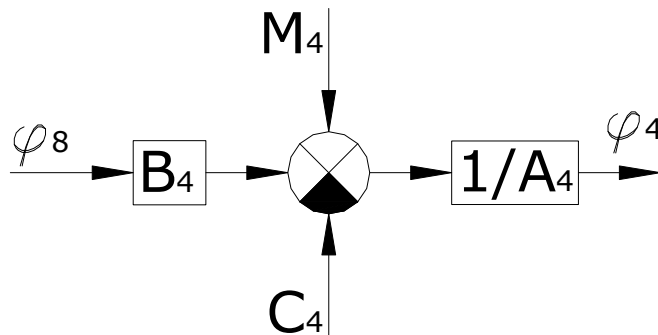
(5.45) lygtį galima perrašyti taip:

$$A_4\varphi_4 - B_4\varphi_8 + C_4 = M_4. \quad (5.46)$$

Išreiškus iš (5.46) lygties kampą φ_4 , gaunama:

$$\varphi_4 = \frac{1}{A_4} [B_4\varphi_8 - C_4 + M_4] \quad (5.47)$$

Pagal (5.47) lygtį sudaromas struktūrinis modelis (5.7 pav.) kampui φ_4 gauti.



5.7 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_4 gauti

Lagranžo antrojo tipo lygties sudarymas φ_8 koordinatei išreikšti:

Koordinatei φ_8 išreikšti naudojama tokia lygtis:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_8} \right) + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_8} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_8} = M_8(t). \quad (5.48)$$

Kinetinės energijos (5.11) išraiškos išvestinė:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_8} \right) = I_6 i_{6,8}^2 p^2 \varphi_8 - I_6 i_{6,8} p \dot{\alpha}_{6,8} + I_7 i_{8,7}^2 p^2 \varphi_8 - I_7 i_{8,7} p \dot{\alpha}_{8,7} + I_8 p^2 \varphi_8 + I_9 i_{8,9}^2 p^2 \varphi_8 - I_9 i_{8,9} p \dot{\alpha}_{8,9}. \quad (5.49)$$

Disipacijos funkcijos (5.16) išraiškos išvestinė:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_8} &= -r_{4,6} i_{6,8} (\dot{\varphi}_4 - i_{6,8} \dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{6,8}) - r_{3,7} i_{8,7} (\dot{\varphi}_3 - i_{8,7} \dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{8,7}) - r_{2,9} i_{8,9} (\dot{\varphi}_2 - i_{8,9} \dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{8,9}) - \\ &- r_d i_{8,9} (i_{10,9} \dot{\varphi}_{10} - i_{8,9} \dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{8,9}) - r_{v,2} (\dot{\varphi}_{v2} - \dot{\varphi}_8) + g_6 i_{6,8} (i_{6,8} \dot{\varphi}_8 - \dot{\alpha}_{6,8}) + g_7 i_{8,7} (i_{8,7} \dot{\varphi}_8 - \dot{\alpha}_{8,7}) + g_8 \dot{\varphi}_8 + \\ &+ g_9 i_{8,9} (i_{8,9} \dot{\varphi}_8 - \dot{\alpha}_{8,9}) = \\ &= -r_{4,6} i_{6,8} p \varphi_4 + r_{4,6} i_{6,8}^2 p \varphi_8 - r_{4,6} i_{6,8} \dot{\alpha}_{6,8} - r_{3,7} i_{8,7} p \varphi_3 + r_{3,7} i_{8,7}^2 p \varphi_8 - r_{3,7} i_{8,7} \dot{\alpha}_{8,7} - r_{2,9} i_{8,9} p \varphi_2 + \\ &+ r_{2,9} i_{8,9}^2 p \varphi_8 - r_{2,9} i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9} - r_d i_{8,9} i_{10,9} p \varphi_{10} + r_d i_{8,9}^2 p \varphi_8 - r_d i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9} - r_{v,2} p \varphi_{v2} + r_{v,2} p \varphi_8 + g_6 i_{6,8}^2 p \varphi_8 - \\ &- g_6 i_{6,8} \dot{\alpha}_{6,8} + g_7 i_{8,7}^2 p \varphi_8 - g_7 i_{8,7} \dot{\alpha}_{8,7} + g_8 p \varphi_8 + g_9 i_{8,9}^2 p \varphi_8 - g_9 i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9}. \end{aligned} \quad (5.50)$$

Potencinės energijos (5.15) išraiškos išvestinė:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_8} &= -c_{4,6} i_{6,8} (\varphi_4 - i_{6,8} \varphi_8 + \alpha_{6,8}) - c_{3,7} i_{8,7} (\varphi_3 - i_{8,7} \varphi_8 + \alpha_{8,7}) - c_{2,9} i_{8,9} (\varphi_2 - i_{8,9} \varphi_8 + \alpha_{8,9}) - \\ &- c_d i_{8,9} (i_{10,9} \varphi_{10} - i_{8,9} \varphi_8 + \alpha_{8,9}) - c_{v,2} (\varphi_{v2} - \varphi_8) = \\ &= -c_{4,6} i_{6,8} \varphi_4 + c_{4,6} i_{6,8}^2 \varphi_8 - c_{4,6} i_{6,8} \alpha_{6,8} - c_{3,7} i_{8,7} \varphi_3 + r_{3,7} i_{8,7}^2 \varphi_8 - c_{3,7} i_{8,7} \alpha_{8,7} - c_{2,9} i_{8,9} \varphi_2 + \\ &+ c_{2,9} i_{8,9}^2 \varphi_8 - c_{2,9} i_{8,9} \alpha_{8,9} - c_d i_{8,9} i_{10,9} \varphi_{10} + c_d i_{8,9}^2 \varphi_8 - c_d i_{8,9} \alpha_{8,9} - c_{v,2} \varphi_{v2} + c_{v,2} \varphi_8. \end{aligned} \quad (5.51)$$

Sujungus (5.49)-(5.51) išraiškas į (5.48) lygtį, gaunama diferencialinė lygtis, atitinkanti koordinatę φ_8 . Atitinkamai surūšiuojus:

$$\begin{aligned} \varphi_8 [&(I_8 + I_6 i_{6,8}^2 + I_7 i_{8,7}^2 + I_9 i_{8,9}^2) p^2 + (g_8 + r_{3,7} i_{8,7}^2 + r_{2,9} i_{8,9}^2 + r_d i_{8,9}^2 + r_{v,2} + g_9 i_{8,9}^2 + g_7 i_{8,7}^2 + g_6 i_{6,8}^2 + r_{4,6} i_{6,8}^2) p + \\ &+ c_{v,2} + c_{4,6} i_{6,8}^2 + c_{3,7} i_{8,7}^2 + c_{2,9} i_{8,9}^2 + c_d i_{8,9}^2] - \varphi_{v,2} [r_{v,2} p + c_{v,2}] - \varphi_{10} [r_d i_{8,9} i_{10,9} p + c_d i_{8,9} i_{10,9}] - \\ &- \varphi_3 [r_{3,7} i_{8,7} p + c_{3,7} i_{8,7}] - \varphi_4 [r_{4,6} i_{6,8} p + c_{4,6} i_{6,8}] - \varphi_2 [r_{2,9} i_{8,9} p + c_{2,9} i_{8,9}] - I_6 i_{6,8} p \dot{\alpha}_{6,8} - I_7 i_{8,7} p \dot{\alpha}_{8,7} - \\ &- I_9 i_{8,9} p \dot{\alpha}_{8,9} - r_{4,6} i_{6,8} \dot{\alpha}_{6,8} - r_{3,7} i_{8,7} \dot{\alpha}_{8,7} - r_{2,9} i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9} - r_d i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9} - g_6 i_{6,8} \dot{\alpha}_{6,8} - g_7 i_{8,7} \dot{\alpha}_{8,7} - g_9 i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9} - \\ &- c_{4,6} i_{6,8} \alpha_{6,8} - c_{3,7} i_{8,7} \alpha_{8,7} - c_{2,9} i_{8,9} \alpha_{8,9} - c_d i_{8,9} \alpha_{8,9} = M_8. \end{aligned} \quad (5.52)$$

Pažymėjus

$$A_5 = (I_8 + I_6 i_{6,8}^2 + I_7 i_{8,7}^2 + I_9 i_{8,9}^2) p^2 + (g_8 + r_{3,7} i_{8,7}^2 + r_{2,9} i_{8,9}^2 + r_d i_{8,9}^2 + r_{v,2} + g_9 i_{8,9}^2 + g_7 i_{8,7}^2 + g_6 i_{6,8}^2 + r_{4,6} i_{6,8}^2) p + c_{v,2} + c_{4,6} i_{6,8}^2 + c_{3,7} i_{8,7}^2 + c_{2,9} i_{8,9}^2 + c_d i_{8,9}^2;$$

$$B_5 = r_{v,2} p + c_{v,2};$$

$$C_5 = r_d i_{8,9} i_{10,9} p + c_d i_{8,9} i_{10,9};$$

$$D_5 = r_{3,7} i_{8,7} p + c_{3,7} i_{8,7};$$

$$E_5 = r_{4,6} i_{6,8} p + c_{4,6} i_{6,8};$$

$$F_5 = r_{2,9} i_{8,9} p + c_{2,9} i_{8,9};$$

$$G_5 = I_6 i_{6,8} p \dot{\alpha}_{6,8} + I_7 i_{8,7} p \dot{\alpha}_{8,7} + I_9 i_{8,9} p \dot{\alpha}_{8,9} + r_{4,6} i_{6,8} \dot{\alpha}_{6,8} + r_{3,7} i_{8,7} \dot{\alpha}_{8,7} + r_{2,9} i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9} + r_d i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9} +$$

$$+ g_6 i_{6,8} \dot{\alpha}_{6,8} + g_7 i_{8,7} \dot{\alpha}_{8,7} + g_9 i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9} + c_{4,6} i_{6,8} \alpha_{6,8} + c_{3,7} i_{8,7} \alpha_{8,7} + c_{2,9} i_{8,9} \alpha_{8,9} + c_d i_{8,9} \alpha_{8,9};$$

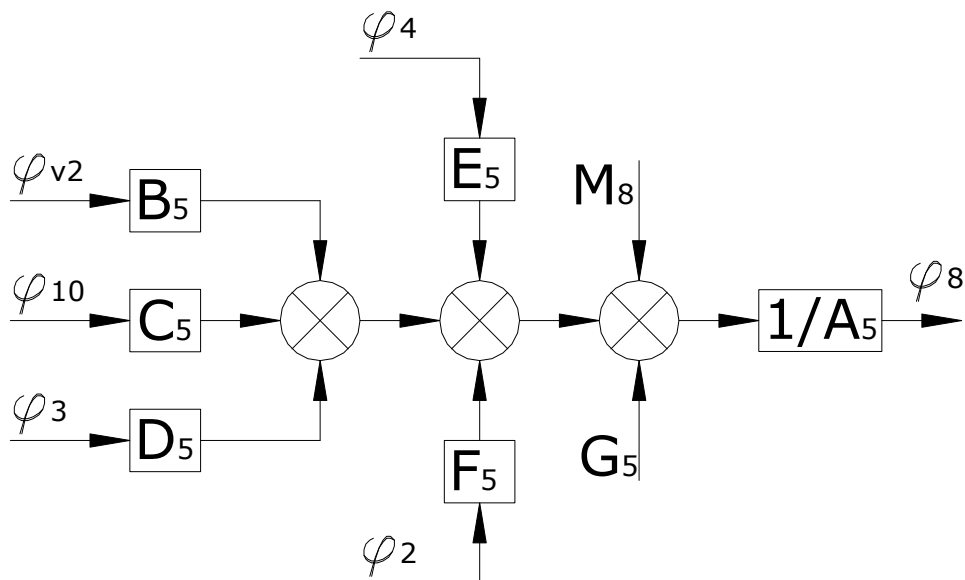
(5.52) lygtį galima perrašyti taip:

$$A_5 \varphi_8 - B_5 \varphi_{v2} - C_5 \varphi_{10} - D_5 \varphi_3 - E_5 \varphi_4 - F_5 \varphi_2 - G_5 = M_8. \quad (5.53)$$

Išreiškus iš (5.53) lygties kampą φ_8 , gaunama:

$$\varphi_8 = \frac{1}{A_5} [B_5 \varphi_{v2} + C_5 \varphi_{10} + D_5 \varphi_3 + E_5 \varphi_4 + F_5 \varphi_2 + G_5 + M_8]. \quad (5.54)$$

Pagal (5.54) lygtį sudaromas struktūrinis modelis (5.8 pav.) kampui φ_8 gauti.



5.8 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_8 gauti

Lagranžo antrojo tipo lygties sudarymas φ_{10} koordinatei išreikšti:

Koordinatei φ_{10} išreikšti naudojama tokia lygtis:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_{10}} \right) + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{10}} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{10}} = M_{10}(t). \quad (5.55)$$

Kinetinės energijos (5.11) išraiškos išvestinė:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_{10}} \right) = I_{10} \ddot{\varphi}_{10} = I_{10} p^2 \varphi_{10} \quad (5.56)$$

Disipacijos funkcijos (5.16) išraiškos išvestinė:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{10}} &= r_d i_{10,9} (\dot{i}_{10,9} \dot{\varphi}_{10} - i_{8,9} \dot{\varphi}_8 + \dot{\alpha}_{8,9}) + r_{10,11} (\dot{\varphi}_{10} - \dot{\varphi}_{11}) + g_{10} \dot{\varphi}_{10} = \\ &= r_d i_{10,9}^2 p \varphi_{10} - r_d i_{10,9} i_{8,9} p \varphi_8 + r_d i_{10,9} \dot{\alpha}_{8,9} + r_{10,11} p \varphi_{10} - r_{10,11} p \varphi_{11} + g_{10} p \varphi_{10}.\end{aligned}\quad (5.57)$$

Potencinės energijos (5.15) išraiškos išvestinė:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{10}} &= c_d i_{10,9} (\dot{i}_{10,9} \varphi_{10} - i_{8,9} \varphi_8 + \alpha_{8,9}) + c_{10,11} (\varphi_{10} - \varphi_{11}) = \\ &= c_d i_{10,9}^2 \varphi_{10} - c_d i_{10,9} i_{8,9} \varphi_8 + c_d i_{10,9} \alpha_{8,9} + c_{10,11} \varphi_{10} - c_{10,11} \varphi_{11}.\end{aligned}\quad (5.58)$$

Sujungus (5.56)-(5.58) išraiškas į (5.55) lygtį, gaunama diferencialinė lygtis, atitinkanti koordinatę φ_8 . Atitinkamai surūšiuojus:

$$\begin{aligned}\varphi_{10} [I_{10} p^2 + (r_d i_{10,9}^2 + r_{10,11} + g_{10}) + c_d i_{10,9}^2 + c_{10,11}] - \varphi_8 [r_d i_{10,9} i_{8,9} p + c_d i_{10,9} i_{8,9}] - \varphi_{11} [r_{10,11} p + c_{10,11}] + \\ + c_d i_{10,9} \alpha_{8,9} + r_d i_{10,9} \dot{\alpha}_{8,9} = M_{10}.\end{aligned}\quad (5.59)$$

Pažymėjus

$$\begin{aligned}A_6 &= I_{10} p^2 + (r_d i_{10,9}^2 + r_{10,11} + g_{10}) p + c_d i_{10,9}^2 + c_{10,11}; \\ B_6 &= r_d i_{10,9} i_{8,9} p + c_d i_{10,9} i_{8,9}; \\ C_6 &= r_{10,11} p + c_{10,11}; \\ D_6 &= c_d i_{10,9} \alpha_{8,9} + r_d i_{10,9} \dot{\alpha}_{8,9};\end{aligned}$$

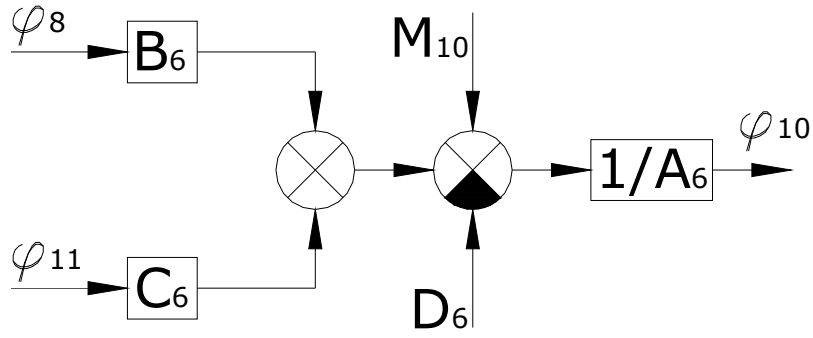
(5.59) lygtį galima perrašyti taip:

$$A_6 \varphi_{10} - B_6 \varphi_8 - C_6 \varphi_{11} + D_6 = M_{10}. \quad (5.60)$$

Išreiškus iš (5.60) lygties kampą φ_{10} , gaunama:

$$\varphi_{10} = \frac{1}{A_6} [B_6 \varphi_8 + C_6 \varphi_{11} + M_{10} - D_6]. \quad (5.61)$$

Pagal (5.61) lygtį sudaromas struktūrinis modelis (5.9 pav.) kampui φ_{10} gauti.



5.9 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_{10} gauti

Lagranžo antrojo tipo lygties sudarymas φ_{11} koordinatei išreikšti:

Koordinatei φ_{11} išreikšti naudojama tokia lygtis:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_{11}} \right) + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{11}} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{11}} = M_{11}(t). \quad (5.62)$$

Kinetinės energijos (5.11) išraiškos išvestinė:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_{11}} \right) = I_{11} \ddot{\varphi}_{11} = I_{11} p^2 \varphi_{11} \quad (5.63)$$

Disipacijos funkcijos (5.16) išraiškos išvestinė:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{11}} = -r_{10,11} (\dot{\varphi}_{10} - \dot{\varphi}_{11}) + g_{11} \dot{\varphi}_{11} = -r_{10,11} p \varphi_{10} + r_{10,11} p \varphi_{11} + g_{11} p \varphi_{11}. \quad (5.64)$$

Potencinės energijos (5.15) išraiškos išvestinė:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{11}} = -c_{10,11} (\varphi_{10} - \varphi_{11}) = -c_{10,11} \varphi_{10} + c_{10,11} \varphi_{11}. \quad (5.65)$$

Sujungus (5.63)-(5.65) išraiškas į (5.62) lygtį, gaunama diferencialinė lygtis, atitinkanti koordinatę φ_{11} . Atitinkamai surūšiuavus:

$$\varphi_{11} [I_{11} p^2 + (r_{10,11} + g_{11}) p + c_{10,11}] - \varphi_{10} [r_{10,11} p + c_{10,11}] = M_{11}; \quad (5.66)$$

Pažymėjus

$$A_7 = I_{11} p^2 + (r_{10,11} + g_{11}) p + c_{10,11};$$

$$B_7 = r_{10,11} p + c_{10,11};$$

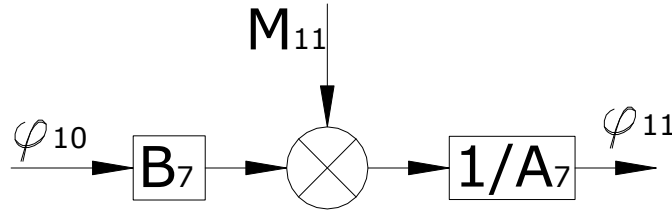
(5.66) lygtį galima perrašyti taip:

$$A_7 \varphi_{11} - B_7 \varphi_{10} = M_{11}. \quad (5.67)$$

Išreiškus iš (5.67) lygties kampą φ_{11} , gaunama:

$$\varphi_{11} = \frac{1}{A_7} [B_7 \varphi_{10} + M_{11}]. \quad (5.68)$$

Pagal (5.68) lygtį sudaromas struktūrinis modelis (5.10 pav.) kampui φ_{11} gauti.



5.10 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_{11} gauti

5.1.5. Lagranžo antrojo tipo lygčių sudarymas sistemos elektros variklių rotorų posūkio kampams išreikšti

Variklių rotorų posūkių kampų koordinatės φ_{v1} ir φ_{v2} gaunamos iš pavarų struktūrinių schemų (2.4 pav.). Tačiau šiame darbe Lagranžo antrojo tipo diferencialinės lygtys koordinatėms φ_{v1} ir φ_{v2} yra sudarytos tam, kad išsamiau būtų galima ištirti spaudos sekcijos mechaninę dalį – modeliuojant galima bus stebėti tik mechaninės dalies virpesius, nevertinant elektrinės dalies. Tuo pačiu galima patikrinti, ar mechaninės sistemos modelis sudarytas teisingai.

Lagranžo antrojo tipo lygties sudarymas φ_{v1} koordinatei išreikšti:

Koordinatei φ_{v1} išreikšti naudojama tokia lygtis:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_{v1}} \right) + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{v1}} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{v1}} = M_{v1}(t). \quad (5.69)$$

Kinetinės energijos (5.11) išraiškos išvestinė:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_{v1}} \right) = I_{v1} \ddot{\varphi}_{v1} = I_{v1} p^2 \varphi_{v1}. \quad (5.70)$$

Disipacijos funkcijos (5.16) išraiškos išvestinė:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{v1}} = r_{v,1} (\dot{\varphi}_{v1} - \dot{\varphi}_1) = r_{v,1} p \varphi_{v1} - r_{v,1} p \varphi_1. \quad (5.71)$$

Potencinės energijos (5.15) išraiškos išvestinė:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{v1}} = c_{v,1}(\varphi_{v1} - \varphi_1) = c_{v,1}\varphi_{v1} - c_{v,1}\varphi_1. \quad (5.72)$$

Sujungus (5.70)-(5.72) išraiškas į (5.69) lygtį, gaunama diferencialinė lygtis, atitinkanti koordinatę φ_{v1} . Atitinkamai surūšiuojus:

$$\varphi_{v1} [I_{v1}p^2 + r_{v,1}p + c_{v,1}] - \varphi_1 [r_{v,1}p + c_{v,1}] = M_{v1}. \quad (5.73)$$

Pažymėjus

$$A_8 = I_{v1}p^2 + r_{v,1}p + c_{v,1};$$

$$B_8 = r_{v,1}p + c_{v,1};$$

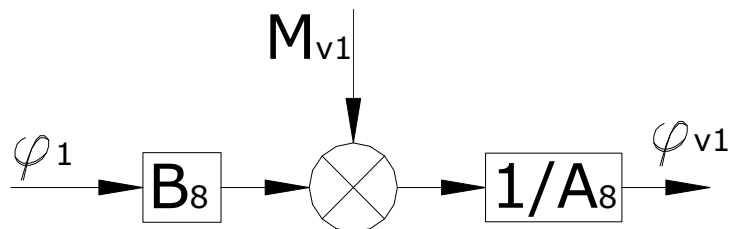
(5.73) lygtį galima perrašyti taip:

$$A_8 \varphi_{v1} - B_8 \varphi_1 = M_{v1}. \quad (5.74)$$

Išreiškus iš (5.74) lygties kampą φ_{v1} , gaunama:

$$\varphi_{v1} = \frac{1}{A_8} [B_8 \varphi_1 + M_{v1}]. \quad (5.75)$$

Pagal (5.75) lygtį sudaromas struktūrinis modelis (5.11 pav.) kampui φ_{v1} gauti.



5.11 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_{v1} gauti

Lagranžo antrojo tipo lygties sudarymas φ_{v2} koordinatei išreikšti:

Koordinatei φ_{v2} išreikšti naudojama tokia lygtis:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_{v2}} \right) + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{v2}} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{v2}} = M_{v2}(t). \quad (5.76)$$

Kinetinės energijos (5.11) išraiškos išvestinė:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_{v2}} \right) = I_{v2} \ddot{\varphi}_{v2} = I_{v2} p^2 \varphi_{v2}. \quad (5.77)$$

Disipacijos funkcijos (5.16) išraiškos išvestinė:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{v2}} = r_{v,2} (\dot{\varphi}_{v2} - \dot{\varphi}_8) = r_{v,2} p \varphi_{v2} - r_{v,2} p \varphi_8. \quad (5.78)$$

Potencinės energijos (5.15) išraiškos išvestinė:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{v2}} = c_{v,2} (\varphi_{v2} - \varphi_8) = c_{v,2} \varphi_{v2} - c_{v,1} \varphi_8. \quad (5.79)$$

Sujungus (5.77)-(5.79) išraiškas į (5.76) lygtį, gaunama diferencialinė lygtis, atitinkanti koordinatę φ_{v2} . Atitinkamai surūšiuojame:

$$\varphi_{v2} [I_{v2} p^2 + r_{v,2} p + c_{v,2}] - \varphi_8 [r_{v,2} p + c_{v,2}] = M_{v2}. \quad (5.80)$$

Pažymėjus

$$A_9 = I_{v2} p^2 + r_{v,2} p + c_{v,2};$$

$$B_9 = r_{v,2} p + c_{v,2};$$

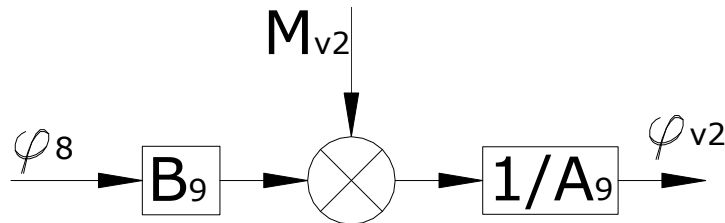
(5.80) lygtį galima perrašyti taip:

$$A_9 \varphi_{v2} - B_9 \varphi_8 = M_{v2}. \quad (5.81)$$

Išreiškus iš (5.81) lygties kampą φ_{v2} , gaunama:

$$\varphi_{v2} = \frac{1}{A_9} [B_9 \varphi_8 + M_{v2}]. \quad (5.82)$$

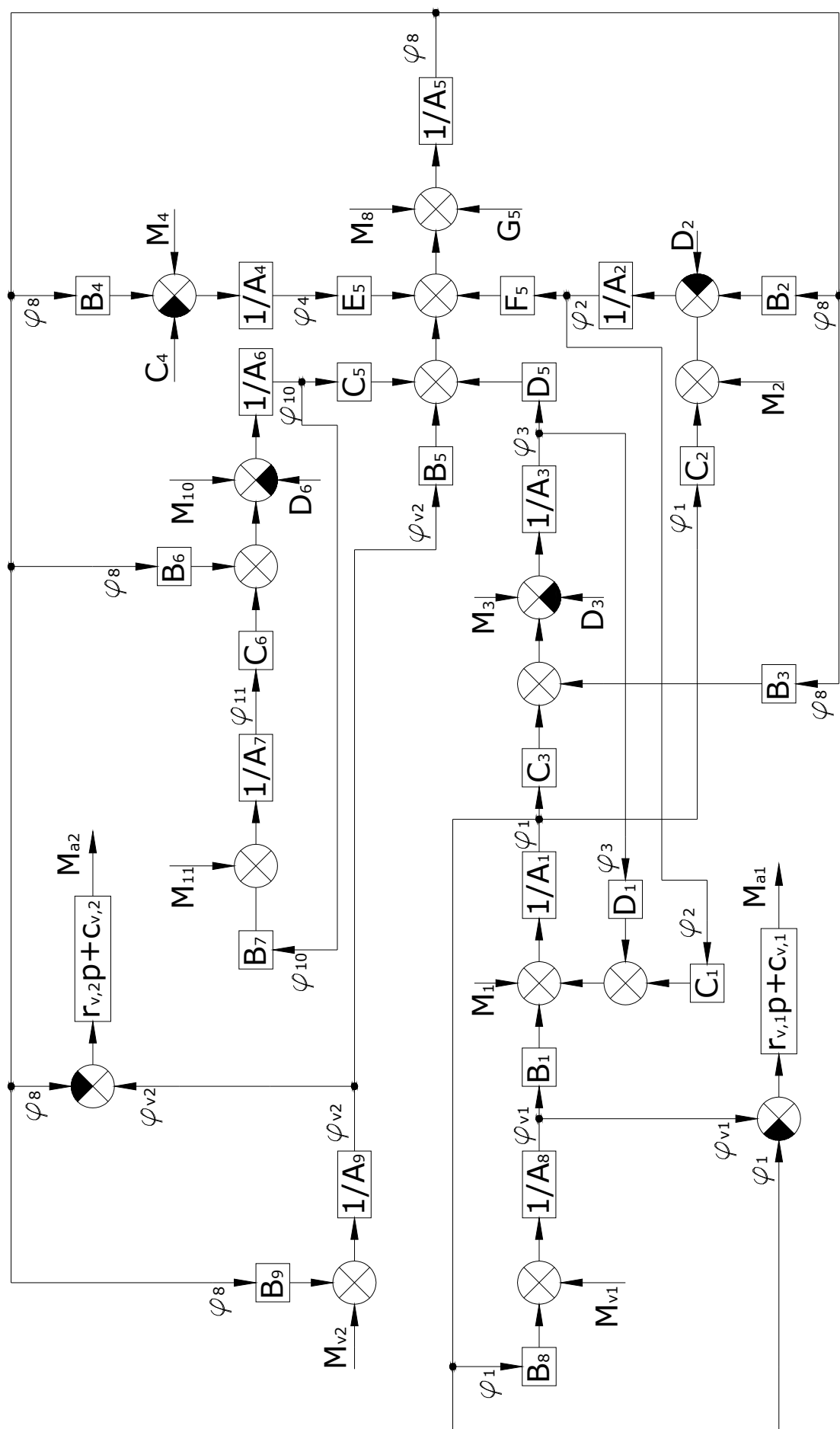
Pagal (5.82) lygtį sudaromas struktūrinis modelis (5.12 pav.) kampui φ_{v2} gauti.



5.12 pav. Struktūrinis modelis kampui φ_{v2} gauti

5.2. Sistemos mechaninės dalies pilnas struktūrinis (matematinis) modelis

Turint mechaninį posistemį aprašančias diferencialines lygtis ir elementariusius struktūrinius modelius, galima sudaryti viso mechaninio posistemo struktūrinę schemą.



5.13 pav. Fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 Fp“ spaudos sekcijos mechaninės dalies struktūrinė schema (matematinis modelis); joje įvertinamos (5.75) ir (5.82) išraiškos

Mechaninio posistemio struktūrinė schema, tai yra jos matematinis modelis, tinkantis tiesiogiai programų kompleksui MATLAB Simulink taikyti, gauta įvertinant (5.75) ir (5.82) išraiškas, pateikta 5.13 paveiksle.

Kaip anksčiau buvo minėta, šis struktūrinis modelis vaizduoja tik mechaninę nagrinėjamos sistemos dalį. Jis buvo sudarytas sujungus visus struktūrinius modelius, pateiktus 5.2-5.12 paveiksluose, kurie vaizduoja kaip gaunamos tam tikros apibendrintosios koordinatės (posūkio kampai φ_i ir φ_{vi}). 5.13 paveiksle pavaizduotą modelį iš išorės veikia pasipriešinimo momentai M_i bei krumpliaračių paklaidos, kurios įvertintos D_2 , D_3 , C_4 , G_5 ir D_6 nariuose. Sistemos pasipriešinimo momentai, redukuoti į variklių (tikrovėje – į planetinių reduktorių, sujungtų su varikliais) velenus, yra pažymėti M_{ai} . Kitą išorinį poveikį modeliui suteikia aktyvūs momentai M_{vi} . Tai variklių išvystomi sukimo momentai, kurie suteikia sukimo judesį nagrinėjamos sistemos cilindrams ir velenams.

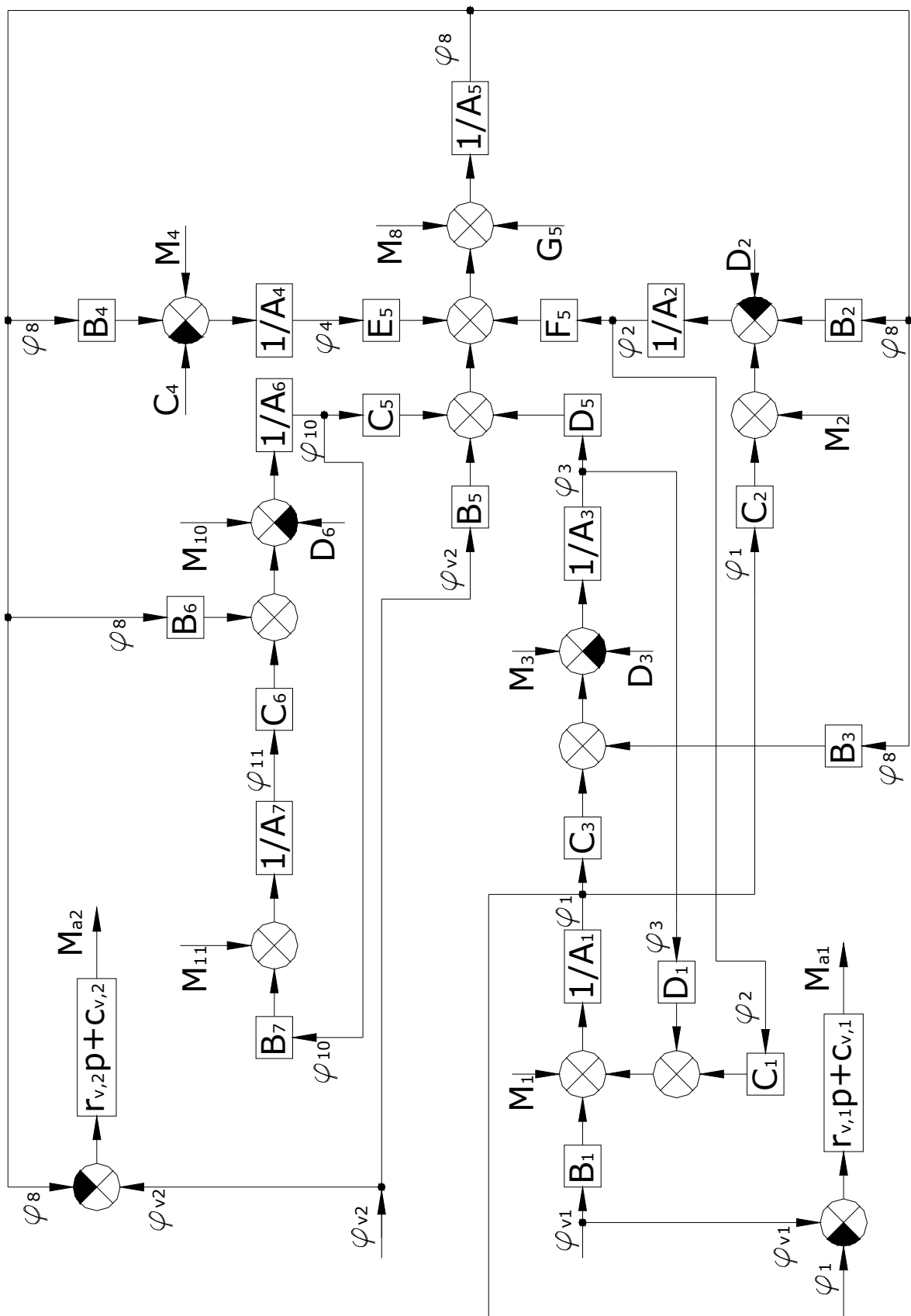
Struktūrinis modelis, pavaizduotas 5.13 paveiksle, yra skirtas nagrinėjamo objekto mechaninės dalies dinaminėms savybėms.

Sistemos mechaninės dalies struktūrinis modelis, skirtas sujungti su elektros pavaromis, pavaizduotas 5.14 paveiksle.

Šis modelis skiriasi nuo 5.13 paveiksle pavaizduoto modelio tuo, kad jame išorinis poveikis nustatomas ne variklių sukimo momentais M_{v1} ir M_{v2} , o variklių posūkio kampais φ_{v1} ir φ_{v2} . Elektros variklis gauna signalą – redukuotą pasipriešinimo momentą ir jo pagrindinis išėjimo signalas yra posūkio kampas. Priklausomai nuo pasipriešinimo momento dydžio, gali keistis ir variklio išvystomas sukimo momentas. Akivaizdu, kad elektros variklio sukimo momentas turi būti didesnis už redukuotą pasipriešinimo momentą.

Posūkio kampo, kaip sistemos žadinimo šaltinio, naudojimo privalumas yra tas, kad tiksliau galima reguliuoti pereinamuosius režimus, pavyzdžiui: mašinos paleidimą, greitėjimą, lėtėjimą ar derinimą. Esant pastovaus greičio darbo režimui pastovus turi būti ir sistemos pasipriešinimo momentas.

Naudinga yra ištirti abu modelius (5.13 ir 5.14 pav.), nes žadinant sistemą sukimo momentais ar posūkio kampais gaunami įdomūs rezultatai, kuriuos bus galima palyginti ir atitinkamai įvertinti.

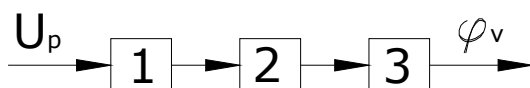


5.14 pav. Fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spaudos sekcijos mechaninės dalies struktūrinė schema (matematinis modelis); joje neįvertinamos (5.75) ir (5.82) išraiškos

5.3. Sistemos elektros pavarų struktūrinis modelis

Kaip buvo minėta anksčiau (prielaidose), modeliujamojo objekto elektros pavara nedetalizuojama. Atsižvelgiant į [3, 4, 8, 13] sinchroniniai servovarikliai ir jų elektros pavaros yra pakeistos nuolatinės srovės elektros varikliais su atitinkamomis pavaromis.

Kadangi nagrinėjamoje sistemoje yra du elektros varikliai, tai bus dvi elektros pavaros. Pagal [9, 17] kiekviena elektros dalis susideda iš padėties reguliatoriaus, elektros pavaros ir elektros variklio. Šie kiekvienos elektros dalies elementai yra tarpusavyje sujungti taip, kaip pavaizduota 5.15 paveiksle.



1 – padėties reguliatorius; 2 – elektros pavara; 3 – elektros variklis;

U_p – valdomą koordinatę atitinkantis signalas; φ_v – variklio posūkio kampas.

5.15 pav. Elektros dalies supaprastinta schema

Iš [10] žinoma, kad šiuolaikinė automatinė elektros pavara gali būti aprašyta tokiomis operatorinės formos lygtimis:

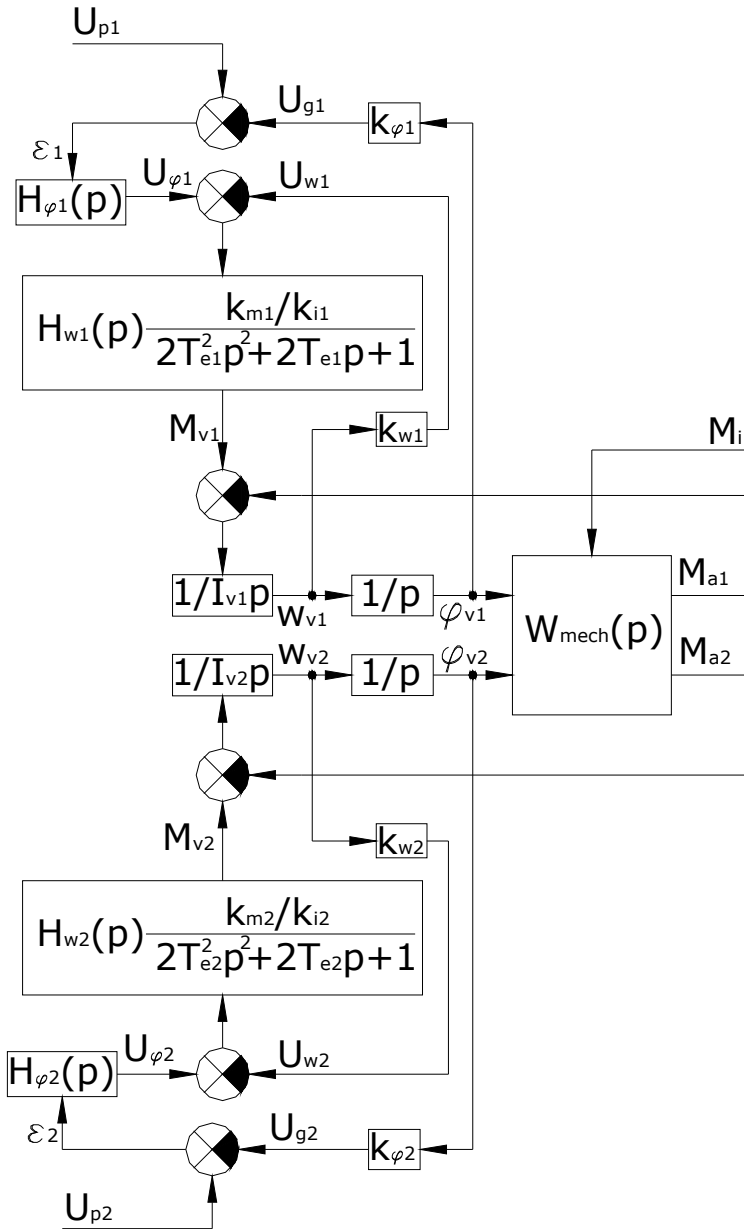
$$M_v(p) = H_\omega(p) \frac{k_m / k_i}{2T_e^2 p^2 + 2T_e p + 1} (U_\varphi(p) - k_\omega \omega_r(p)); \quad (5.83)$$

$$\omega_v(p) = \frac{1}{I_v p} [M_v(p) - M_a(p)]; \quad (5.84)$$

čia: $M_v(p)$ – variklio sukuriamas sukimo momentas; k_m – variklio momento koeficientas; k_i, k_ω – srovės ir greičio jutiklių perdavimo koeficientai; M_a – rotorių veikiantis pasipriešinimo momentas; U_φ – pavaros tiesioginis valdymo signalas; ω_v – kampinis sukimosi dažnis; T_e – galios stiprintuvo laiko konstanta; $H_\omega(p)$ – variklio greičio kontrolės kontūro PID reguliatorius; I_v – variklio rotoriaus inercijos momentas; $p = d/dt$ – diferencijavimo operatorius.

Atsižvelgiant į [6], 5.15 pav. ir (5.83), (5.84) lygtis sudaromas spaudos sekcijos bendras struktūrinis modelis, įvertinantis mechaninę dalį ir sistemos valdymą.

Valdomos koordinatės φ_i turi atitikti signalą U_{pi} su mažiausia galima paklaida. Todėl sistemoje yra grįžtamųjų ryšių. Dėl didelių standumo koeficientų reikšmių jutikliai, matuojantys posūkio kampus, yra tvirtinami ant elektros variklių rotorių. Signalai, siunčiami iš šių jutiklių, yra transformuojami į elektros signalus $U_{gi} = k_\varphi \varphi_{vi}$ (k_φ – perdavimo koeficientas).



U_{p1}, U_{p2} - valdomas koordinatės atitinkantys signalai; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - paklaidų signalai; $H_{\varphi 1}(p), H_{\varphi 2}(p)$ - padėties reguliatorių perdavimo funkcijos; $U_{\varphi 1}, U_{\varphi 2}$ - nustatomų padėčių signalai; $H_{\omega 1}(p), H_{\omega 2}(p)$ - variklių greičių kontrolės kontūrų PID reguliatoriai; k_{m1}, k_{m2} - variklių sukimo momentų koeficientai; k_{i1}, k_{i2} - srovės jutiklių perdavimo koeficientai; T_{e1}, T_{e2} - galios stiprintuvų laiko konstantos; M_{v1}, M_{v2} - variklių sukuriama sukimo momentai; I_{v1}, I_{v2} - variklių rotorų inercijos momentai; ω_{v1}, ω_{v2} - variklių rotorų kampiniai sukimosi dažniai; $k_{\omega 1}, k_{\omega 2}$ - greičio jutiklių perdavimo koeficientai; $U_{\omega 1}, U_{\omega 2}$ - rotorų faktinius sukimosi dažnius atitinkantys signalai; $\varphi_{v1}, \varphi_{v2}$ - variklių rotorų posūkio kampai; $k_{\varphi 1}, k_{\varphi 2}$ - kampų jutiklių perdavimo koeficientai; $U_{\varphi 1}, U_{\varphi 2}$ - rotorų faktinius posūkio kampus atitinkantys signalai; $W_{mech}(p)$ - modelio mechaninė dalis; M_{a1}, M_{a2} - pasipriešinimo momentai; M_i - išorinių jėgų momentai; $p = d/dt$ – diferencijavimo operatorius.

5.16 pav. Spaudos sekcijos pavaros pilnas struktūrinis modelis sukimo virpesiams tirti

Tada sudaromas paklaidos signalas $\varepsilon = U_p - U_g$, veikiantis PID reguliatorių, kurio perdavimo funkcija $H_\varphi(p)$ yra tokios formos:

$$H_\varphi(p) = K_p \varepsilon + K_i \int \varepsilon dt + K_d \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}; \quad (5.85)$$

čia: ε - paklaidą atitinkantis signalas; K_p - proporcingumo koeficientas; K_i - integravimo koeficientas; K_d - diferencijavimo koeficientas.

Toliau sudaromas korekcijos signalas $U_\varphi = H_\varphi(p)\varepsilon$, veikiantis elektros pavarą. Analogiškai, kaip ir U_g signalas, sudaromas ir $U_\omega = \omega_v k_\omega$ signalas. Pagal nustatomo U_φ ir faktinio U_ω signalų skirtumą, gaunamas variklio sukuriama sukimo momento M_v signalas. Sukimo momentas turi būti didesnis už sistemos pasipriešinimo momentą M_a . Sukimo momentų signalų skirtumas dauginamas iš elektros variklio mechaninės dalies perdavimo funkcijos ir gaunamas variklio rotoriaus kampinis sukimosi greitis ω_v , kurį suintegravus, gaunamas variklio rotoriaus posūkio kampas φ_v .

5.4. Fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spausdinimo sekcijos pavaros bendras struktūrinis modelis

Bendras struktūrinis (matematinis) modelis yra pavaizduotas 5.16 paveiksle. Mechaninio posistemio modelis pavaizduotas 5.14 paveiksle. Apibendrinant, reikia pasakyti, nagrinėjamosios sistemos elektros pavaros turi po du įėjimo signalus: valdomą koordinatę atitinkantis signalas U_p ir mechaninės dalies pasipriešinimo momentas M_a . Kiekvienos elektros dalies išėjimo signalas yra variklio rotoriaus posūkio kampas φ_v . Mechaninės dalies įėjimo signalai yra variklių rotorius posūkių kampai, išėjimo signalai – pasipriešinimo momentai. Visos spaudos sekcijos modelis nagrinėjamas kaip uždara automatinio valdymo sistema.

5.5. Spausdinimo sekcijos pavaros struktūrinis modelis

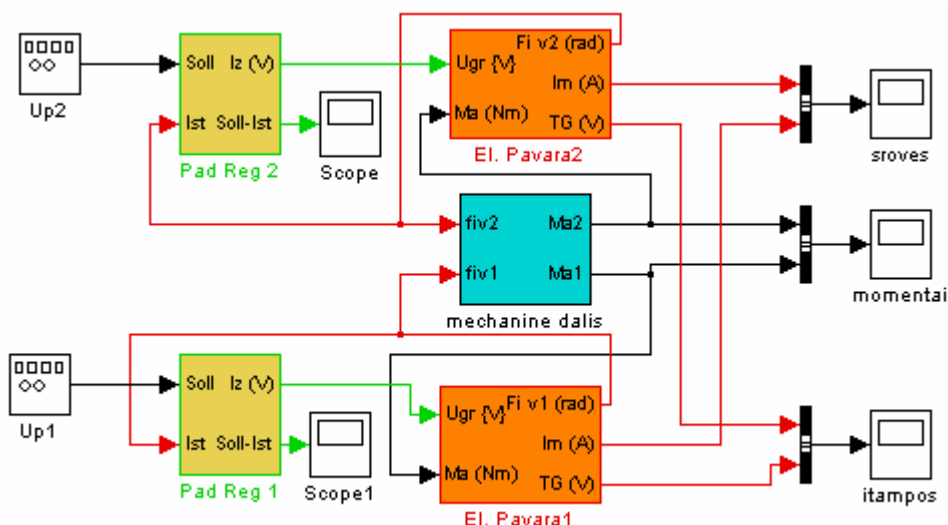
„MATLAB Simulink“ terpėje

Fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spaudos sekcijai sumodeliuoti naudojama firmos „The MathWorks“ programos „Matlab“ ir „Simulink“. Šis programinis paketas buvo pasirinktas dėl šių privalumų [15]:

- taikomas sudėtingų dinaminių sistemų modeliavimo programų efektyvusis sudarymo metodas, kurio esmė yra ta, kad iš standartinių paruoštų blokų sudaroma blokinė schema (vizualusis programavimas);
- patogios ir prieinamos priemonės, leidžiančios gauti papildomą informaciją apie tarpinių procesų pasikeitimus;
- platus sprendimo būdų ir parametrų pasirinkimas;
- galimybė greitai ir patogiai gauti grafinę informaciją apie modeliuojamų dydžių pokyčius.

Struktūrinis (matematinis) modelis „Matlab Simulink“ terpėje yra sudaromas remiantis struktūrinėmis schemomis, pateiktomis 5.14 ir 5.16 paveiksluose. Iš pradžių yra sudaromas ir tikrinamas spaudos sekcijos mechaninės dalies modelis. Sudarant šią modelį, įvertinamos krumpliaračių paklaidos, kurių išraiškos pateiktos (5.4)-(5.6) formulėse ir kurias įvertinantys nariai pavaizduoti 5.14 paveiksle. Taip pat pasipriešinimo momentai, kylantys guoliuose [16] ir forminio, aniloksinio ir spaudos cilindrų kontaktų zonose. Darbo prieduose esančiame kompaktiniame diske yra failas „ov420fpmot.mdl“, kuriame yra visas spausdinimo sekcijos modelis.

Po mechaninės dalies sudarymo ir patikrinimo, yra sukuriamas elektros dalies modelis. Sistemos bendras struktūrinis modelis „Matlab Simulink“ terpėje pavaizduotas 5.17 pav.

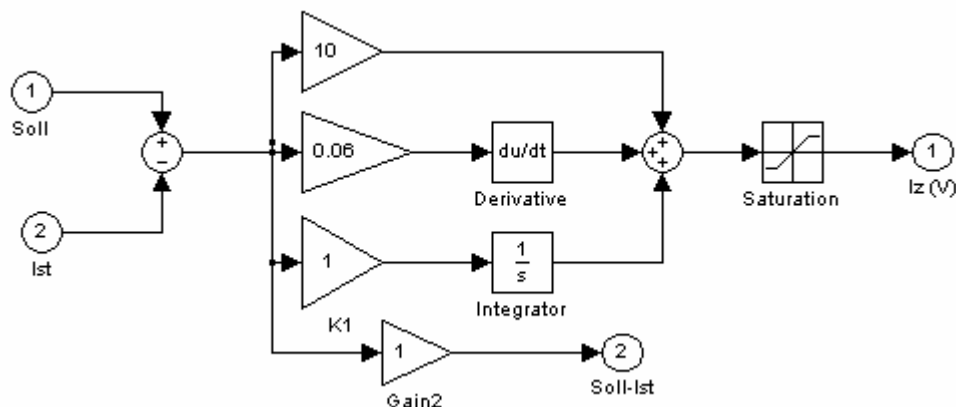


5.17 pav. Spaudos sekcijos pavaros bendra Simulink-diagrama

Šis modelis yra analogiškas bendrai sistemos struktūrinei schemai, pateiktai 5.16 paveiksle. Blokai „Up1“ ir „Up2“ generuoja valdymo koordinatės atitinkančius signalus, kurie yra siunčiami į padėties reguliatorių blokus „Pad Reg 1“ ir „Pad Reg 2“. Iš padėčių reguliatorių signalai siunčiami į elektros pavaras atitinkančius blokus „El. Pavara1“ ir „El. Pavara2“. Mechaninę dalį atitinkantis blokas turi 2 įėjimus: tai elektros variklių rotorų posūkių kampai, kurie gaunami elektros pavarų išėjimuose. Vizualiuoju programavimu gautoje blokinėje schemoje pavaizduoti ir grįžtamieji ryšiai: tai variklių rotorų posūkių kampų signalai ir pasipriešinimo momentų signalai. Oscilografų formos blokai reikalingi grafinei informacijai apie tam tikrų dydžių pasikeitimus laike gauti.

Toliau pateiktos nagrinėjamojo objekto posistemių Simulink-diagramos. Kadangi elektros pavaros yra identiškos, tai pateiktos tik vienos elektros pavaros Simulink-diagramos.

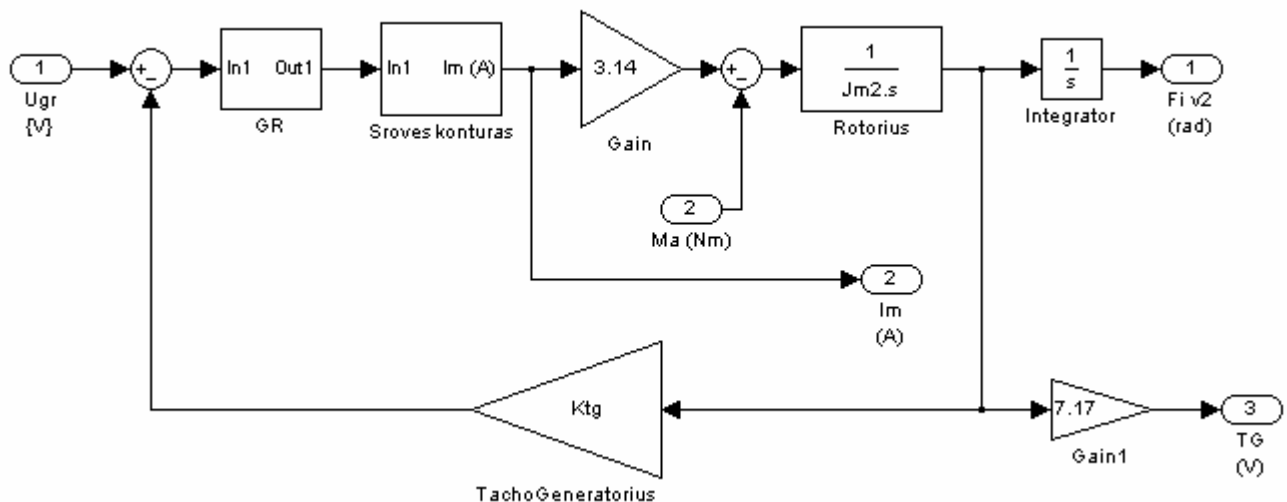
Padėties reguliatoriaus Simulink-diagrama pateikta 5.18 paveiksle.



5.18 pav. Padėties reguliatoriaus Simulink-diagrama

Ši diagrama turi du įėjimus ir du išėjimus. Per įėjimą „Soll“ (5.18 pav.) į sistemą siunčiamas valdomą koordinatę atitinkantis signalas „Up_i“ (i = 1, 2) ir per įėjimą „Ist“ siunčiamas faktinį variklio rotoriaus posūkio kampą atitinkantis signalas. Padėties reguliatorius yra PID reguliatoriaus, jo perdavimo funkcija: $H_{\varphi}(p) = 10 + 0,06p + 1/p$, čia p – diferencijavimo operatorius. Signalas, atitinkantis užduodamo ir faktinio elektros variklio rotoriaus posūkio kampų skirtumą, siunčiamas prie bloko išėjimo „Soll-Ist“. Blokas „Saturation“ reikalingas valdymo poveikį apibūdinančiam signalui apriboti, kad elektros pavaros dinaminės charakteristikos neviršytų leistinų reikšmių.

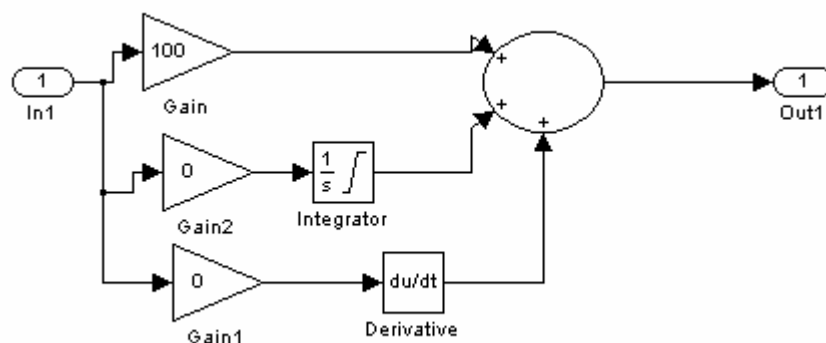
Elektros pavaros Simulink-diagrama pateikta 5.19 paveiksle. Modeliuojamojo objekto bendroje Simulink-diagramoje elektros pavaros blokas turi du įėjimus ir tris išėjimus. 5.19 pav. pateiktoje Simulink-diagramoje įėjimo signalai yra variklio kampinį sukimosi greitį atitinkantis signalas „Ugr“, siunčiamas iš padėties reguliatoriaus, ir pasipriešinimo momento signalas „Ma“, siunčiamas iš modelio mechaninio posistemo.



5.19 pav. Elektros pavaros Simulink-diagrama

Išėjimo signalai yra variklio rotoriaus posūkio kampas „Fi v2“ (šiuo atveju nagrinėjama variklio V2 elektros pvara), variklio srovės dydį atitinkantis signalas „Im“ ir variklio įtamos dydį atitinkantis signalas „TG“.

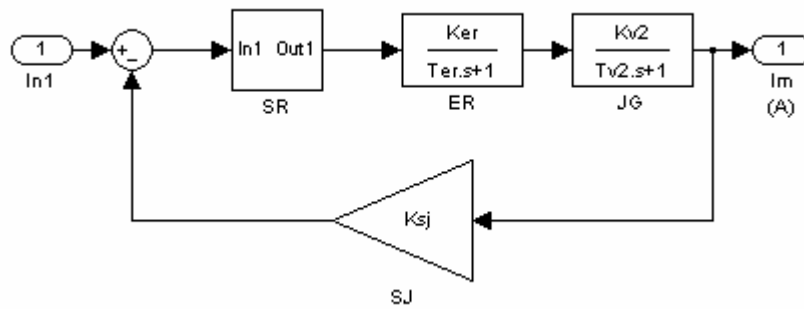
Iš variklio greitį atitinkančio signalo atimamas faktinį greitį atitinkantis signalas, gautas naudojant grįžtamąjį ryšį (tachogeneratorių). Gautas signalų skirtumas yra siunčiamas į variklio rotoriaus sukimosi greičio reguliavimo bloką „GR“, kurio Simulink-diagrama pavaizduota 5.20 paveiksle.



5.20 pav. Greičio reguliatoriaus Simulink-diagrama

Greičio reguliatorius yra PID tipo reguliatorius, jo perdavimo funkcija yra $H_{\omega}(p) = 100$.

Po to variklio rotoriaus greitį atitinkantis signalas (įtampa) siunčiamas į srovės kontūrą, kuriame vyksta variklio srovės dydžio nustatymas ir reguliavimas, nes jame yra grįžtamas ryšis pagal srovę (5.21 pav.)



5.21 pav. Srovės kontūro Simulink-diagrama

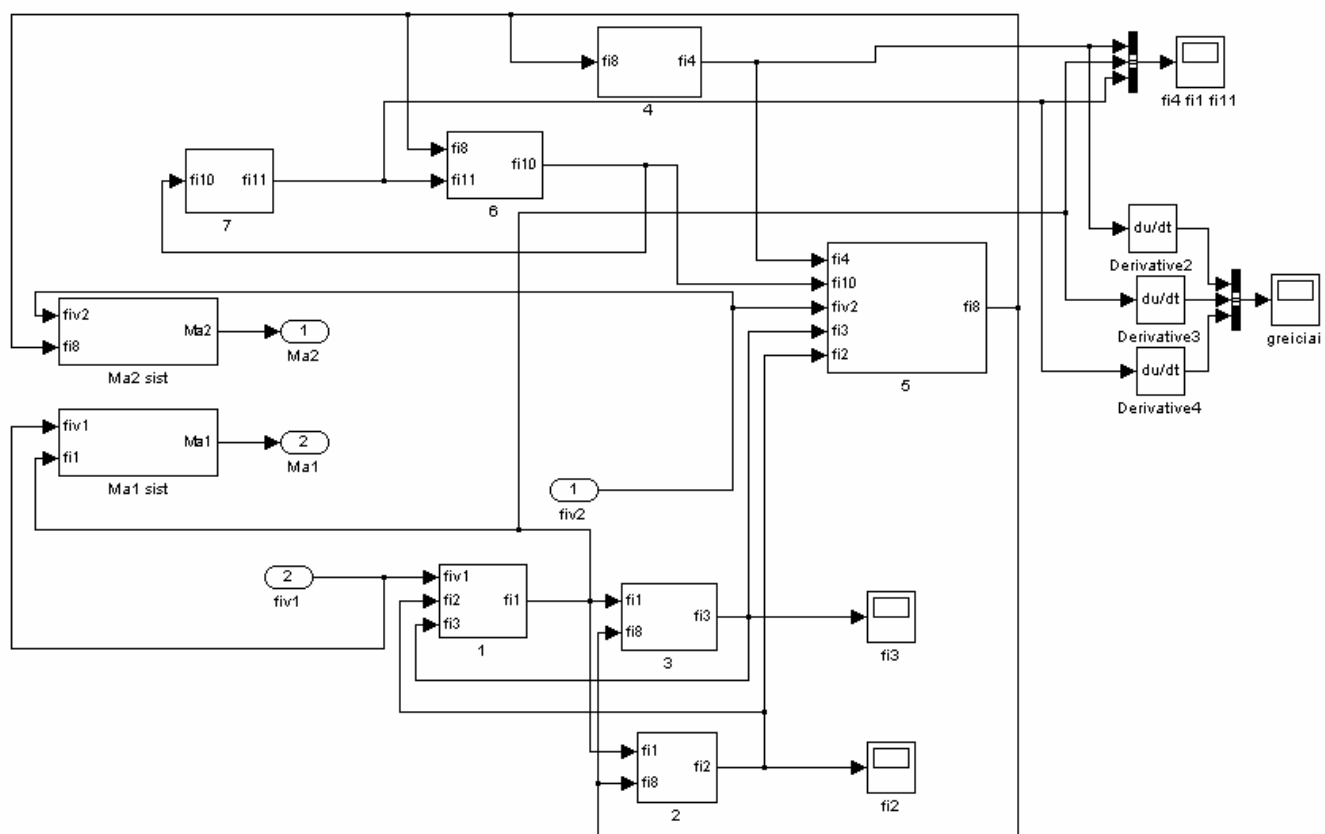
Srovės kontūro išėjime gaunamas signalas, atitinkantis elektros variklio srovės reikšmę. Srovės reikšmę galima pamatuoti, todėl signalas „Im“ yra siunčiamas prie bloko išėjimo.

Dauginant gaunamą srovės reikšmę iš specialaus koeficiento, gaunamas variklio išvystomas sukimo momentas, iš kurio atimant pasipriešinimo momentą „Ma“ gaunamas signalas, kurį padauginus iš variklio mechaninę dalį atitinkančio signalo, 5.19 paveiksle pavadintu „Rotorius“, gaunamas variklio faktinį sukimosi greitį atitinkantis signalas, kuris yra dalinamas į du atsišakojimus ir siunčiamas į greičio reguliatorių ir, integruojamas tikslu variklio posūkio kampui gauti.

Modelio mechaninės dalies Simulink-diagrama pateikta 5.22 paveiksle. Ši diagrama susideda iš devynių posistemių. Kiekviename posistemyje yra atitinkamų apibendrintųjų koordinačių ir pasipriešinimo momentų išraiškos. Šie posistemiai buvo sudaryti atsižvelgiant į struktūrinius modelius, gautus 5.1.3 ir 5.1.4 skyriuose. Mechaninio posistemo bendra Simulink-diagrama buvo sudaryta pagal 5.14 paveiksle pateiktą struktūrinę schemą. Posistemiai, pažymėti skaičiais, susideda iš kelių posistemių lygių.

Mechaninės dalies Simulink-diagrama turi du įėjimus ir du išėjimus. Įėjimo signalai (kaip ir 5.14 paveiksle) yra elektros variklių posūkių kampai „fiv1“ ir „fiv2“, atitinkantys φ_{v1} ir φ_{v2} posūkio kampus. Išėjimo signalai yra pasipriešinimo momentai „Ma1“ ir „Ma2“. Pasipriešinimo momentų signalai yra siunčiami į elektros pavaras.

Taip pat mechaninės dalies struktūrinėje diagramoje pateikti oscilografai, vaizduojantys apibendrintųjų koordinačių $\varphi_1, \varphi_4, \varphi_{11}$ ir kampinių greičių $\dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_4, \dot{\varphi}_{11}$ pasikeitimus laikui bėgant.



5.22 pav. Modeliuojamojo objekto mechaninės dalies Simulink-diagrama

6. MODELIAVIMO EIGA IR REZULTATAI

Šiame skyriuje yra pateiktas modeliavimo eigos aprašymas, ir gaunami rezultatai. Pats modeliavimas yra panašus į bandymą, kadangi keičiant modeliuojamos sistemos parametrus, stebima jos reakcija ir analizuojami gauti rezultatai. Pagrindinis modeliavimo tikslas yra nagrinėjamojo objekto dinaminių charakteristikų, kurių pagrindu bus suformuluotos išvados apie fleksografinės spausdinimo mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spausdinimo sekcijos dinaminio tikslumo tyrimą sukimo virpesių pagrindu, gavimas.

Iš pradžių yra pateikti modelio pagrindiniai parametrai ir modeliavimo rezultatai, gauti pagal šiuos parametrus. Po to tam tikri pagrindiniai parametrai yra keičiami ir analizuojami gautų modeliavimo rezultatų pasikeitimai.

6.1. Modelio pagrindiniai parametrai

Kadangi modeliuojama realios spausdinimo mašinos sekcija, tai visi čia esantys duomenys buvo nustatyti naudojant [7, 10, 18] literatūros šaltinius pagal išmatuotus mašinos elementų parametrus arba paimti iš [4, 11] katalogų:

8. Inercijos momentai:

$I_{v1} = 0,00143 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - forminio cilindro elektros variklio rotoriaus inercijos momentas;

$I_{v2} = 0,0028 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - kitus cilindrus ir velenus sukančio elektros variklio rotoriaus inercijos momentas;

$I_1 = 0,015 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - forminio cilindro inercijos momentas;

$I_2 = 0,040 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - spaudos cilindro inercijos momentas;

$I_3 = 0,043 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - aniloksinio veleno inercijos momentas;

$I_4 = 0,00778 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - duktorinio veleno inercijos momentas;

$I_5 = 0,01526 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - juostos prispaudimo velenėlio inercijos momentas;

$I_6 = 0,0032 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - duktorinio veleno krumpliaračio inercijos momentas;

$I_7 = 0,00268 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - aniloksinio veleno krumpliaračių bloko inercijos momentas;

$I_8 = 0,00207 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - aštuntojo krumpliaračio (4.2 pav.) inercijos momentas;

$I_9 = 0,00235 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - krumpliaračio ir skriemulio bloko inercijos momentas;

$I_{10} = 0,01106 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - aušinimo cilindro skriemulio inercijos momentas;

$I_{11} = 1,695 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ - aušinimo cilindro su vandeniu inercijos momentas.

2. Standumo koeficientai:

$c_{v,1} = 2,35 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio forminio cilindro elektros variklio rotorių su forminiu cilindru standumo koeficientas;

$c_{v,2} = 4,39 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio kitus cilindrus sukančio elektros variklio rotorių su krumpliaračiu standumo koeficientas;

$c_{4,6} = 5,64 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio duktorinį veleną su krumpliaračiu standumo koeficientas;

$c_{3,7} = 3,27 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio aniloksinį veleną su krumpliaračių bloku standumo koeficientas;

$c_{2,9} = 1,316 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio spaudos cilindą su krumpliaračio ir skriemulio bloku standumo koeficientas;

$c_{10,11} = 4,58 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio aušinimo cilindą su skriemuliu standumo koeficientas;

$c_d = 10^4 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ - diržo standumo koeficientas;

$c_{1,2} = c_{1,3} = 5,0 \cdot 10^3$ - forminio ir spaudos, forminio ir aniloksinio cilindrų kontaktinio standumo koeficientai.

3. Pasipriešinimo koeficientai:

$r_{v,1} = 25 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio forminio cilindro elektros variklio rotorių su forminiu cilindru pasipriešinimo koeficientas;

$r_{v,2} = 45 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio kitus cilindrus sukančio elektros variklio rotorių su krumpliaračiu pasipriešinimo koeficientas;

$r_{4,6} = 500 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio duktorinį veleną su krumpliaračiu pasipriešinimo koeficientas;

$r_{3,7} = 3000 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio aniloksinį veleną su krumpliaračių bloku pasipriešinimo koeficientas;

$r_{2,9} = 1300 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio spaudos cilindrą su krumpliaračio ir skriemulio bloku pasipriešinimo koeficientas;

$r_{10,11} = 4500 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$ - sukamo elemento, jungiančio aušinimo cilindrą su skriemuliu pasipriešinimo koeficientas;

$r_d = 50 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$ - diržo pasipriešinimo koeficientas;

$r_{1,2} = r_{1,3} = 500 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$ - forminio ir spaudos, forminio ir aniloksinio cilindrų kontaktinio pasipriešinimo koeficientai.

Pasipriešinimo koeficientai guoliuose: $g_1 = g_2 = g_3 = g_4 = g_5 = g_{11} = 0,04 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;
 $g_6 = g_7 = g_9 = 0$; $g_8 = 0,02 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$.

4. Perdavimo skaičiai:

$i_{10,9} = 2,5$; $i_{2,5} = 1,13$; $i_{6,7} = 0,5$; $i_{8,7} = i_{8,9} = 1$.

5. Pasipriešinimo momentai (nustatyti įvertinant cilindrus veikiančias jėgas ir trintį guoliuose pagal [16]):

$M_1 = -10 \text{ N} \cdot \text{m}$ - pasipriešinimo momentas veikiantis forminį cilindrą;

$M_2 = -5 \text{ N} \cdot \text{m}$ - pasipriešinimo momentas veikiantis spaudos cilindrą;

$M_3 = -7,5 \text{ N} \cdot \text{m}$ - pasipriešinimo momentas veikiantis aniloksinį veleną;

$M_4 = -0,01 \text{ N} \cdot \text{m}$ - pasipriešinimo momentas veikiantis duktorinį veleną;

$M_8 = -0,0745 \text{ N} \cdot \text{m}$ - pasipriešinimo momentas veikiantis aštuntąjį krumpliaratį (4.2 pav.);

$M_{11} = -0,3 \text{ N} \cdot \text{m}$ - pasipriešinimo momentas veikiantis aušinimo cilindrą.

Kiti pasipriešinimo momentai nevertinami.

6. Modelio elektros pavaros parametrai (nustatyti pagal [9, 10, 17] ir derinant modelį):

$T_{e1} = T_{e2} = 0,01$ - galios stiprintuvų laiko konstantos;

$k_{m1} = k_{m2} = 1,274 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{A}$ - elektros variklių momentų koeficientai;

$k_{i1} = k_{i2} = 0,05 \text{ V/A}$ – srovės jutiklių perdavimo koeficientai;

$k_{w1} = k_{w2} = 0,032 \text{ V} \cdot \text{s} / \text{rad}$ - greičio jutiklių perdavimo koeficientai;

$H_{w1} = H_{w2} = 100$ - variklių greičių kontrolės kontūrų PID reguliatoriai;

$H_{\varphi1} = H_{\varphi2} = 1 / p + 0,06p + 10$ - variklių padėčių kontrolės kontūrų PID reguliatoriai.

7. Krumpliaračių ciklinėms harmoninėms paklaidoms įvertinti reikalingi duomenys:

Krumpliaračių skersmenys:

$$R_6 \approx 140 \text{ mm}; R_7' \approx 70 \text{ mm}; R_7'' \approx 113 \text{ mm}; R_8 \approx 113 \text{ mm}; R_9 \approx 113 \text{ mm}.$$

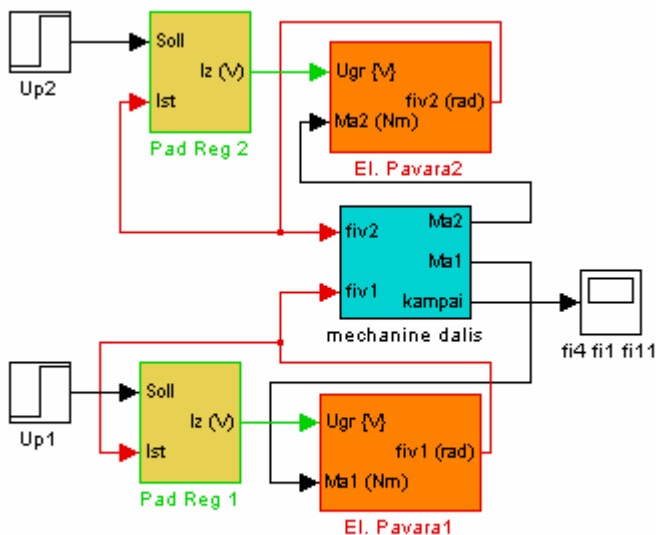
Paklaidų amplitudžių dydžiai: $\Delta_{8,7} = \Delta_{7,6} = \Delta_{8,9} = 10 \mu\text{m}$.

6.2. Sistemos su pagrindiniais parametrais modeliavimas

Šio modeliavimo tikslas yra gauti visos nagrinėjamos sistemos padėtis apibūdinančių koordinatinių pasikeitimų, kai modeliavimo pradiniai duomenys yra nepakitę sistemos pradiniai parametrai, kurie yra 6.1 skyriuje.

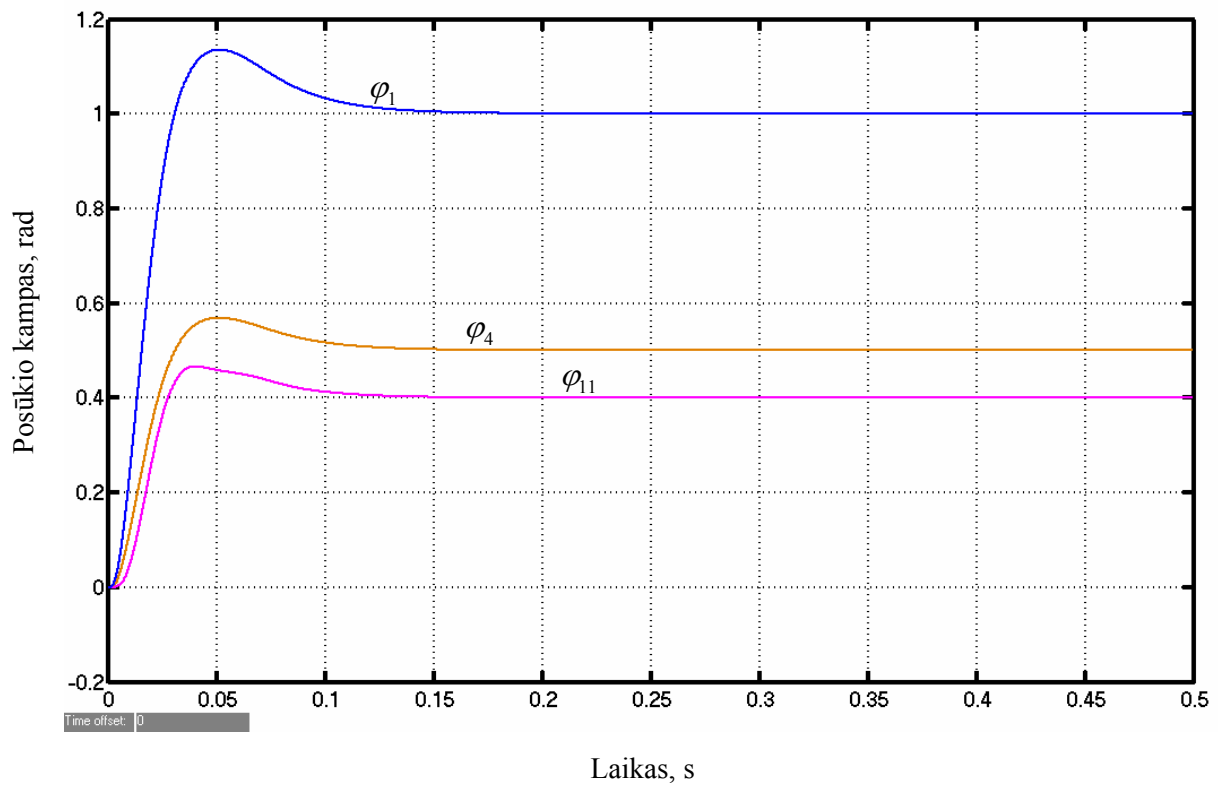
Sistemos stabilumas:

Sistemos stabilumui pavaizduoti stebima tiesinės sistemos reakcija į vienetinį laiptinį žadinimą, kuris įvyksta kai laikas $t = 0$. Šiuo atveju tai vieno radiano posūkio kampas. Modeliavimui naudojama sistemos supaprastinta Simulink-diagrama pateikta 6.1 pav.



6.1 pav. Vienetinį laiptinį žadinimą ir sistemos reakciją į jį iliustruojanti nagrinėjamojo objekto supaprastinta Simulink-diagrama

Stebimi apibendrintųjų koordinačių φ_1, φ_4 ir φ_{11} pasikeitimai (6.2 pav.), kuriuos vaizduoja oscilografas (6.1 pav.)



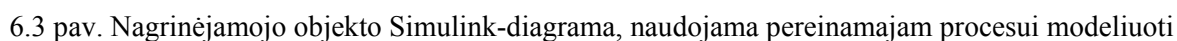
6.2 pav. Sistemos su pagrindiniais parametrais reakcija (posūčio kampų pasikeitimai) į vienetinį laiptinį žadinimą

Vienetinis laiptinis poveikis buvo suteiktas abiem sistemos elektros varikliams, kurių rotorių posūčio kampus apibūdina koordinatės $\varphi_{v1}, \varphi_{v2}$. Dėl krumpliaratinių perdavų perdavimo skaičių koordinačių φ_1, φ_4 ir φ_{11} reikšmės artėja prie skirtingų dydžių. Pereinamasis procesas yra aperiodinis, jį galima paaiškinti didelėmis slopinimo koeficientų reikšmėmis. Sistema yra stabili.

Sistemą apibūdinančių dinaminų charakteristikų pasikeitimas paleidžiant mašiną :

Šio modeliavimo tikslas yra nustatyti kaip kinta mechaninės ir elektros pavarų charakteristikos paleidžiant mašiną. Paleidimo parametrai yra šie: mašina paleidžiama esant laikui $t = 0$. Kampinis pagreitis (elektros variklių rotorių) yra lygus 3 rad/s^2 . Kai kampinio greičio dydis tampa lygus 4 rad/s , jis daugiau nedidėja ir lieka pastovus. Nesunku paskaičiuoti, kad kampinis greitis tampa lygus 4 rad/s , esant laikui $t = 1,333 \text{ s}$.

Sistemos Simulink-diagrama, naudojama šiam pereinamajam procesui modeliuoti, pateikta 6.3 paveiksle.



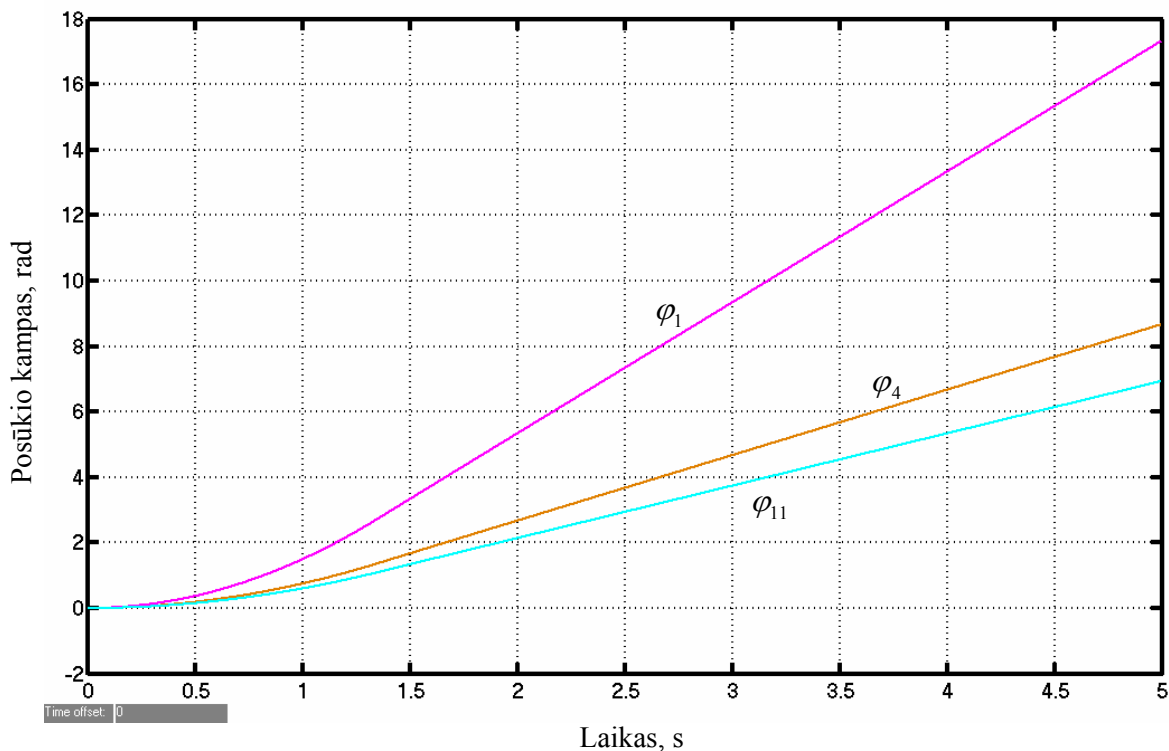
Time offset: 0

Laikas, s	$\dot{\phi}_1$, rad/s	$\dot{\phi}_4$, rad/s	$\dot{\phi}_{11}$, rad/s
0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	1.5	0.75	0.8
1.0	3.0	1.5	1.6
1.33	4.0	2.0	1.6
1.5	4.0	2.0	1.6
2.0	4.0	2.0	1.6
2.5	4.0	2.0	1.6
3.0	4.0	2.0	1.6
3.5	4.0	2.0	1.6
4.0	4.0	2.0	1.6
4.5	4.0	2.0	1.6
5.0	4.0	2.0	1.6

6.4 pav. Sistemos su pagrindiniais parametrais kampinių greičių priklausomybės nuo laiko

Iš grafiko (6.4 pav.) matyti, kad esant laikui $t = 1,333\text{ s}$ kampinių greičių dydžiai beveik iš karto stabilizuojasi. Jie priklauso nuo perdavimo skaičių. Greičių dydžių stabilizavimosi aperiodinis pereinamasis procesas yra labai trumpas.

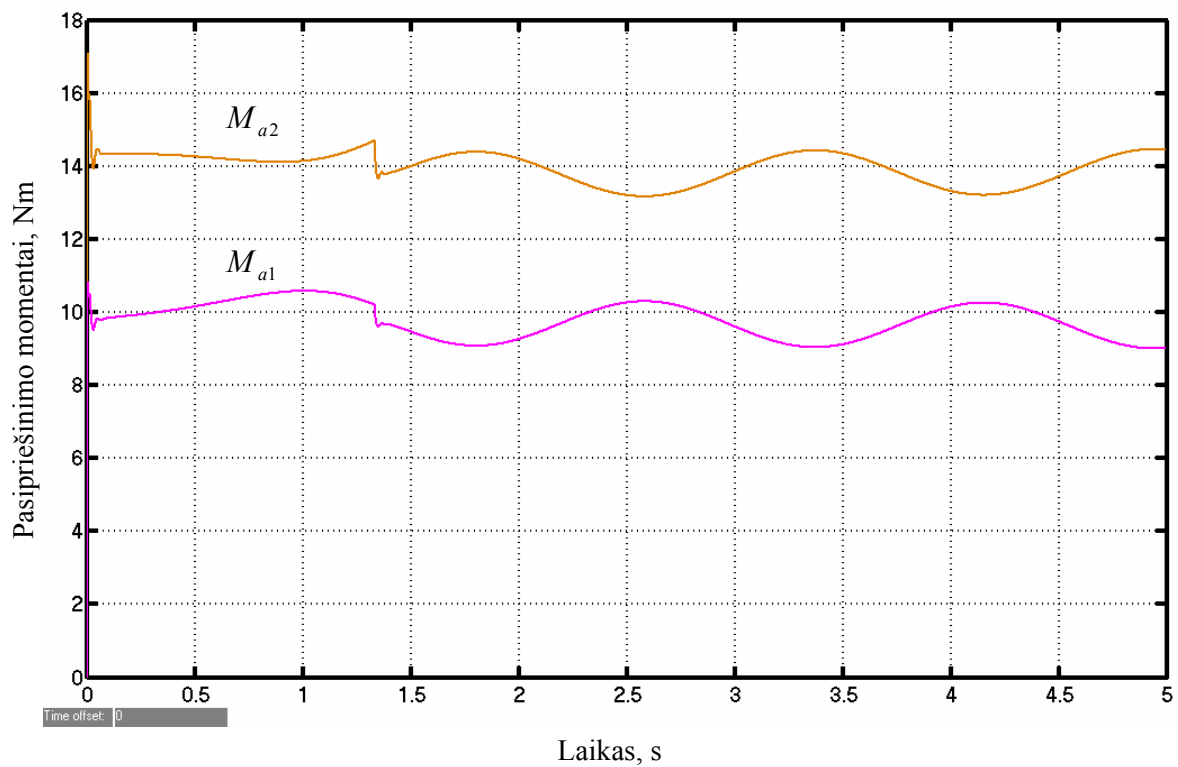
Posūkio kampų kitimo grafikai yra pavaizduoti 6.5 paveiksle. Kol judėjimas yra greitėjantis (iki $t = 1,333\text{ s}$), kampai kinta pagal antros ar trečios eilės kreivę (parabolę ar hiperbolę), tai yra dėl to, kad pagreitis nelygus nuliui, bet kai greitis tampa pastovus, posūkio kampai kinta tiesiškai.



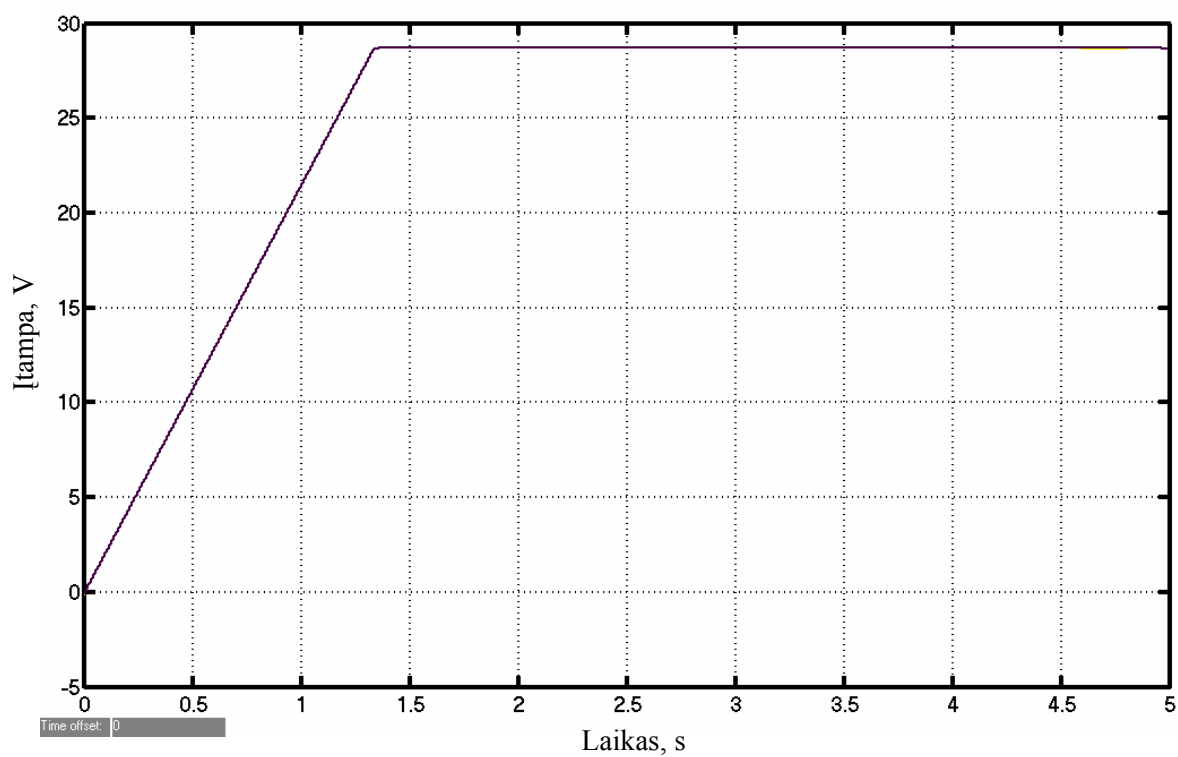
6.5 pav. Kampų priklausomybės nuo laiko esant nepakeistiems sistemos pagrindiniams parametrams

Pasipriešinimo momentų priklausomybių nuo laiko grafikai pateikti 6.6 paveiksle, kuriuose matyti, kad veikiant pagreičiui ($t \leq 1,333\text{ s}$), pasipriešinimo momentai didėja. Kai laikas $t = 1,333\text{ s}$, ir greitis daugiau nedidėja, momentų grafikuose pastebimas kritimas. Momentams didėjant ir mažėjant, jų dydžiai kinta pagal sinusoidę. Toks kitimas yra dėl to, kad pavaroje yra įvertintos ciklinės krumpliaračių paklaidos, kurių dydžiai priklauso nuo tų krumpliaračių posūkio kampų. Kai kampinis greitis tampa lygus 4 rad/s , tuomet 8-ojo krumpliaračio sukimosi periodas $T \approx 1,6\text{ s}$. Pasipriešinimo momentų grafikuose matyti, kad nusistovėjusio sukimosi greičio režimu, pasipriešinimo momentų dydžių kitimo periodas $T \approx 1,6\text{ s}$.

Elektros variklių įtampų kitimo grafikas pateiktas 6.7 paveiksle.



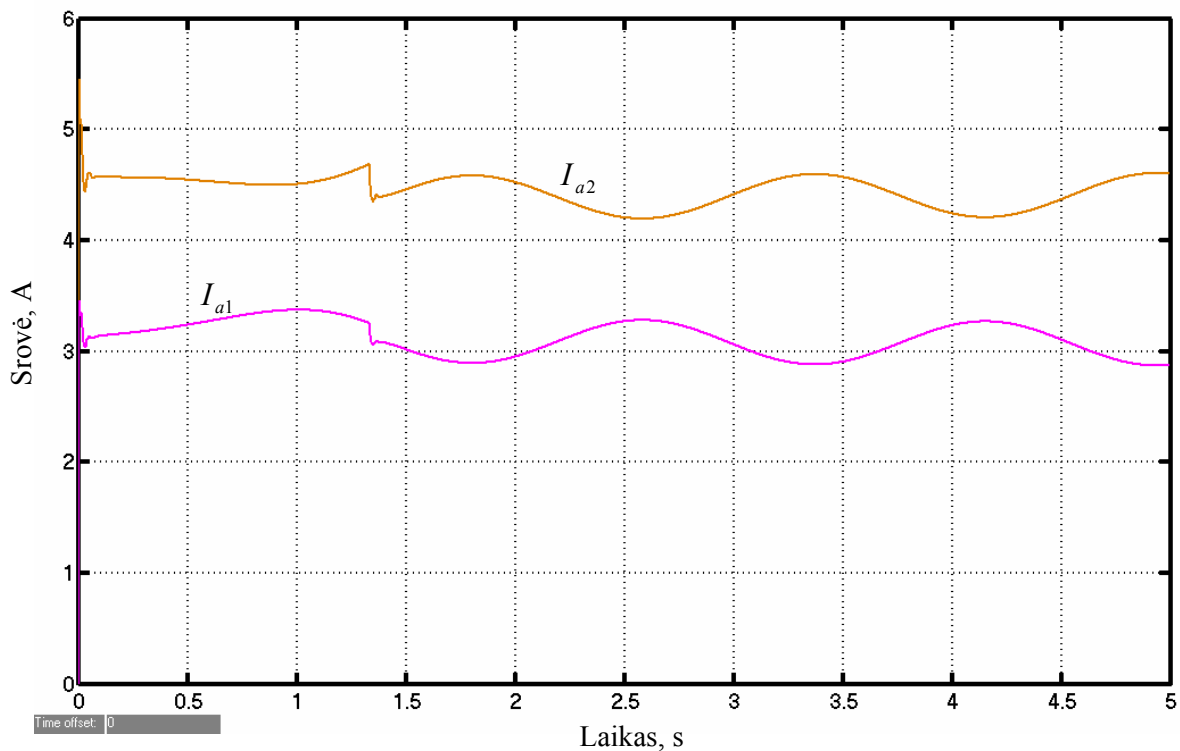
6.6 pav. Sistemos su pagrindiniais parametrais pasipriešinimo momentų, veikiančių elektros variklius, priklausomybės nuo laiko (krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiai lygūs $10\ \mu\text{m}$)



6.7 pav. Sistemos su pagrindiniais parametrais variklių įtampų priklausomybės nuo laiko

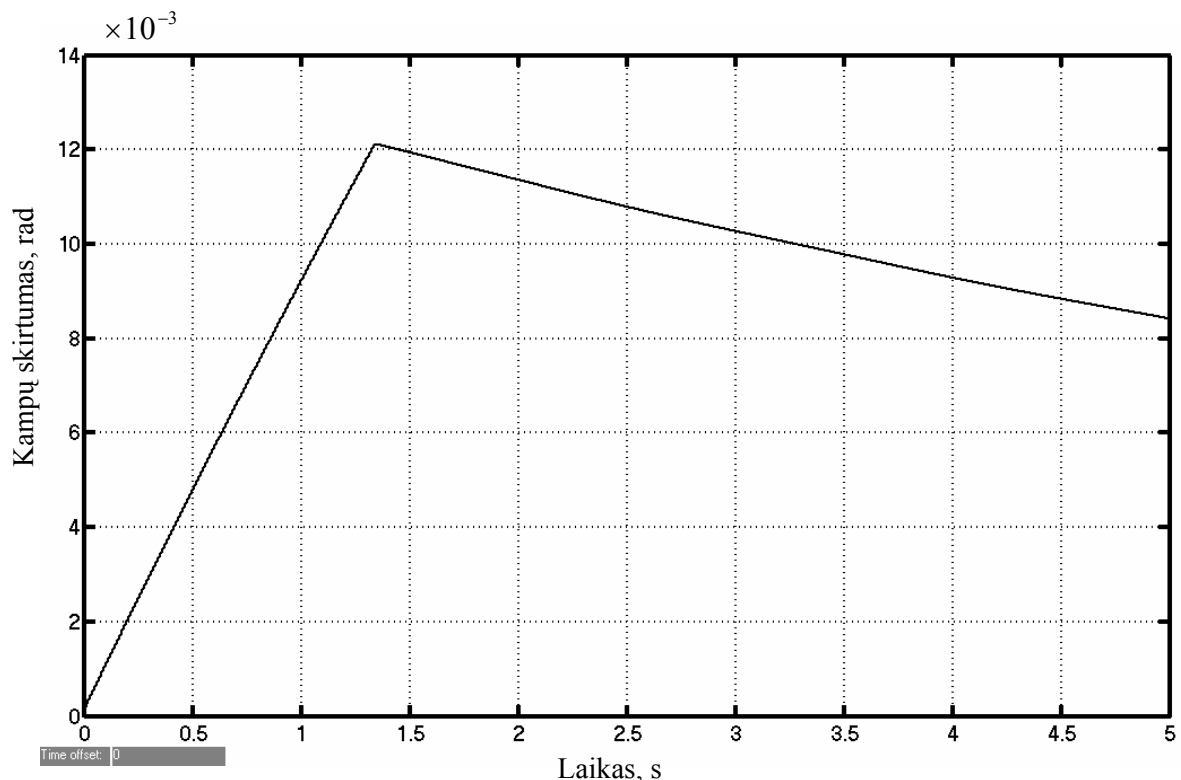
Įtampos grafikas (6.7 pav.) yra identiškas į greičių grafikui (6.4 pav.), nes variklio sukimosi greitis tiesiškai priklauso nuo įtampos. 6.7 paveiksle pavaizduota viena kreivė, nes varikliai yra labai panašūs ir jų elektros pavaros yra vienodos. Šita kreivė vaizduoja abiejų variklių įtampos kitimą.

Variklių srovių grafikas yra pateiktas 6.8 paveiksle. Lyginant srovių ir pasipriešinimo momentų grafikus, jie yra panašūs, nes variklio srovė tiesiškai priklauso nuo pasipriešinimo momento. Čia irgi yra sudėtingi pereinamieji procesai ir srovių dydžiai nusistovėjusio greičio režimu irgi kinta pagal harmoninį dėsni.



6.8 pav. Sistemos su pagrindiniais parametrais variklių srovių priklausomybės nuo laiko (krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiai lygūs $10\ \mu\text{m}$)

6.9 paveiksle pavaizduotas skirtumas tarp nustatomo ir faktinio ne forminio cilindro elektros variklio (V2 elektros variklio) rotoriaus posūkio kampų. 5.16 paveiksle pateiktame struktūriniame modelyje yra paklaidos signalai ε_i ($i = 1, 2$), atitinkantys nustatomo U_{pi} ir faktinio U_{gi} posūkio kampų skirtumą. Čia vaizduojami bloko „Scope“ (5.17 ir 6.3 pav.) rodmenys.



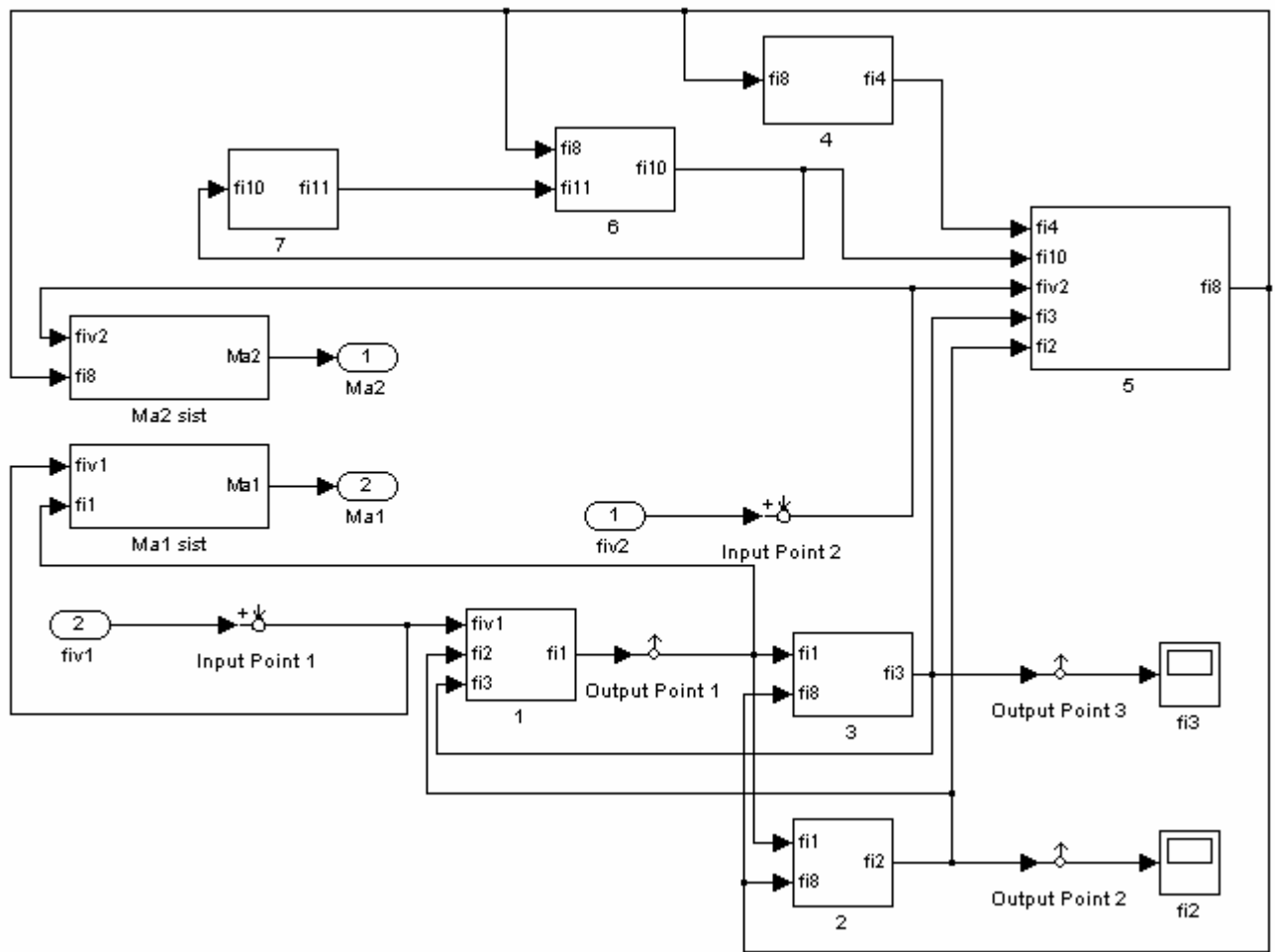
6.9 pav. Skirtumas tarp nustatomo ir faktinio V2 elektros variklio rotoriaus posūkio kampų

Greičiui didėjant, didėja ir kampų skirtumas. Tai galima paaiškinti tuo, kad paleidžiant mašiną, jos pradinis greitis yra lygus nuliui, be to visi sukami elementai yra inertiški (jų inercijos momentai nelygūs nuliui) ir jiems įsukti reikia laiko, todėl greitėjant skirtumas smarkiai auga. Esant laikui $t = 1,333 \text{ s}$ kampų skirtumo dydis pradeda mažėti. Jis mažėja lėčiau, negu išauga, bet esant pastoviam greičiui šis skirtumas laikui bėgant taps lygus nuliui. Kampų skirtumo dydžio mažėjimo ir didėjimo tendencija priklauso nuo sistemos mechaninės dalies inercijos momentų dydžių ir elektros dalies parametrų.

Tikrovėje šitas kampų skirtumas yra vertinamas naudojant specialius jutiklius, nuskaitančius kontrolines žymes nuo užspausdinamos juostos kiekvienoje sekcijoje.

Apibendrintųjų koordinačių amplitudinės-dažninės ir fazinės-dažninės charakteristikos:

Virpesius, kylančius sistemoje patogiu aprašyti naudojant amplitudinę-dažninę (toliau: ADC) ir fazinę-dažninę (toliau: FDC) charakteristikas (diagramas). 6.10 paveiksle pavaizduota mechaninės dalies Simulink-diagrama, paaiškinanti kaip yra gaunamos apibendrintųjų koordinačių φ_1 , φ_2 ir φ_3 ADC ir FDC.



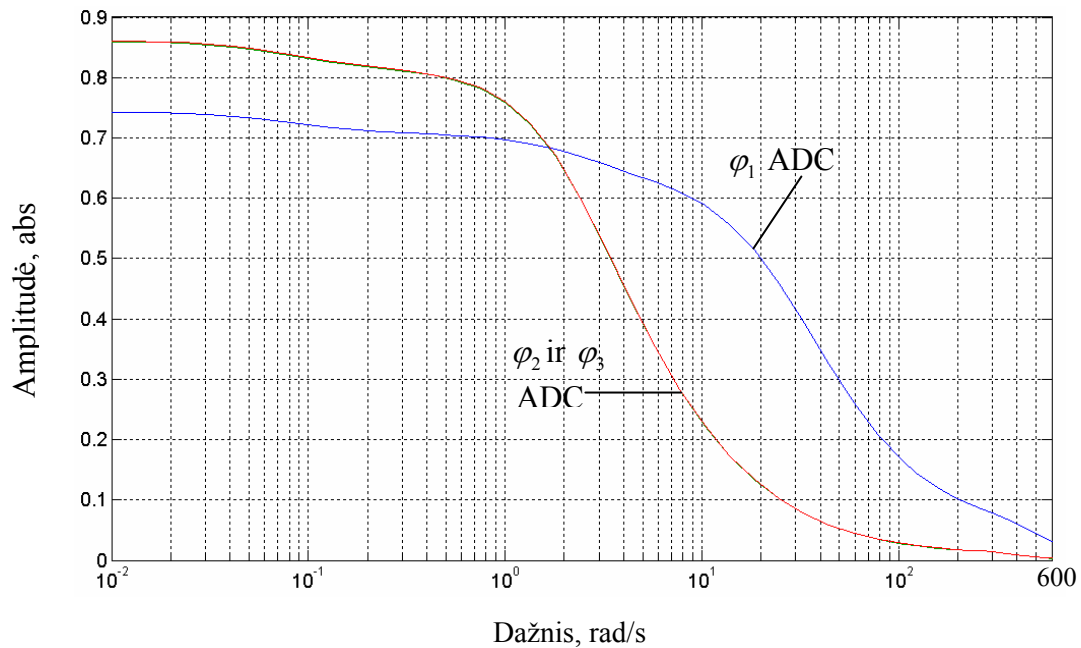
6.10 pav. Mechaninio posistemo Simulink-diagrama papildyta elementais ADC ir FDC gauti

6.10 paveiksle pavaizduota mechaninio posistemo Simulink-diagrama yra papildyta specialiais elementais apibendrintųjų koordinačių ADC ir FDC gauti. Šie elementai yra vadinami įėjimo taškais (angliškai: Input Point) ir išėjimo taškais (angliškai: Output Point). Naudojant „MATLAB Simulink“ funkciją „LTI Viewer“, gaunamos anksčiau minėtų koordinačių ADC ir FDC. Gaunant apibendrintųjų koordinačių dažnines charakteristikas, mechaninė dalis nebuvo atjungta nuo elektros pavarų.

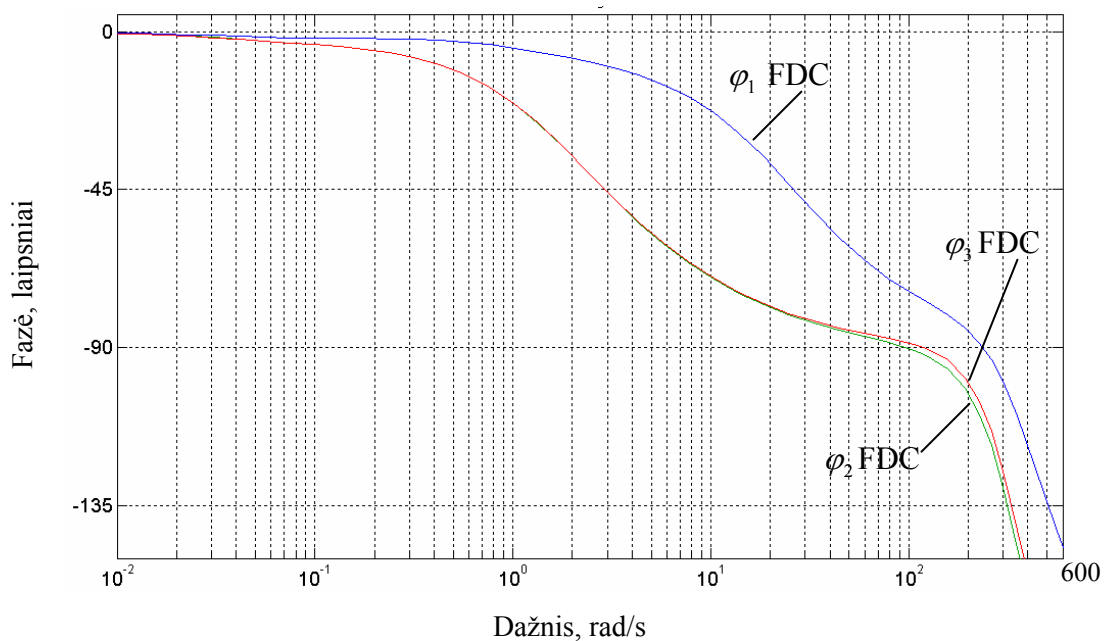
Koordinatės φ_1 ADC diagramoje amplitudės ašyje yra atidėtas įeinančio per tašką „Input Point 1“ ir išeinančio iš taško „Output Point 1“ signalo amplitudžių santykis. Jis (santykis) yra bedimensis dydis. Gali būti paimta santykio absoliuti reikšmė arba dešimtainis logaritmas.

Koordinatės φ_2 ADC diagramoje amplitudės ašyje yra atidėtas įeinančio per tašką „Input Point 2“ ir išeinančio iš taško „Output Point 2“ signalo amplitudžių santykis. Koordinatės φ_3 ADC diagramoje amplitudės ašyje yra atidėtas įeinančio per tašką „Input Point 2“ ir išeinančio iš taško „Output Point 3“ signalo amplitudžių santykis.

6.11 paveiksle yra pavaizduotos φ_1 , φ_2 ir φ_3 (pagal 4.2 pav.) koordinačių amplitudinės-dažninės charakteristikos mažų dažnių zonoje (iki 100 Hz arba iki 600 rad/s). φ_2 ir φ_3 koordinačių ADC praktiškai nesiskiria. Koordinatės φ_1 ADC skiriasi nuo φ_2 ir φ_3 koordinačių ADC dėl to, kad nagrinėjamoji sistema susideda iš dviejų posistemių: forminio cilindro pavaros ir kitų cilindro pavaros. Forminio ir aniloksinio su spaudos cilindru kontaktavimas yra įvertintas standumo koeficientais.



6.11 pav. φ_1 , φ_2 ir φ_3 koordinačių amplitudinės-dažninės charakteristikos, kai dažnis neviršija 600 rad/s



6.12 pav. φ_1 , φ_2 ir φ_3 koordinačių fazinės-dažninės charakteristikos, kai dažnis neviršija 600 rad/s

6.12 paveiksle yra pavaizduotos φ_1 , φ_2 ir φ_3 (pagal 4.2 pav.) koordinačių fazinės-dažninės charakteristikos. Kaip ir ADC atveju φ_2 ir φ_3 koordinačių FDC praktiškai nesiskiria. Paaškinimas galėtų būti toks pat, tai yra φ_1 koordinatė priklauso kitam modelio posistemui.

6.11 ir 6.12 paveiksluose pavaizduota, vadinamoji darbo zona ir pavojingiausių dažnių intervalas iki 600 rad/s ar beveik iki 100 Hz, nes būtent šie dažniai yra žalingiausi mechaninei nagrinėjamosios sistemos daliai. Darbo zona sudaro dažnių intervalas nuo 3 rad/s (atitinka mažiausią mašinos spausdinimo greitį lygu 10 m/min) iki 60 rad/s (atitinka didžiausią mašinos spausdinimo greitį lygu 200 m/min). 6.9 paveiksle matyti, kad mašinos darbo greičių diapazonas buvo parinktas taip, kad savieji dažniai nepatenka į tą diapazoną.

Išvados:

Sumodeliavus sistemos su pagrindiniais parametrais veikimą, įrodyta, kad ji yra stabili, gauti modelį apibūdinančių dydžių pokyčiai esant pereinamajam procesui ir dažninės modelio charakteristikos, pagal kurias matyti, kad mašinos konstrukcija ir darbo greičių diapazonas yra parinkti taip, kad išvengti rezonansų sukeltų neigiamų poveikių.

6.3. Sistemos su pagrindiniais parametrais elektros pavaros įtaka virpesių dažninėms charakteristikoms

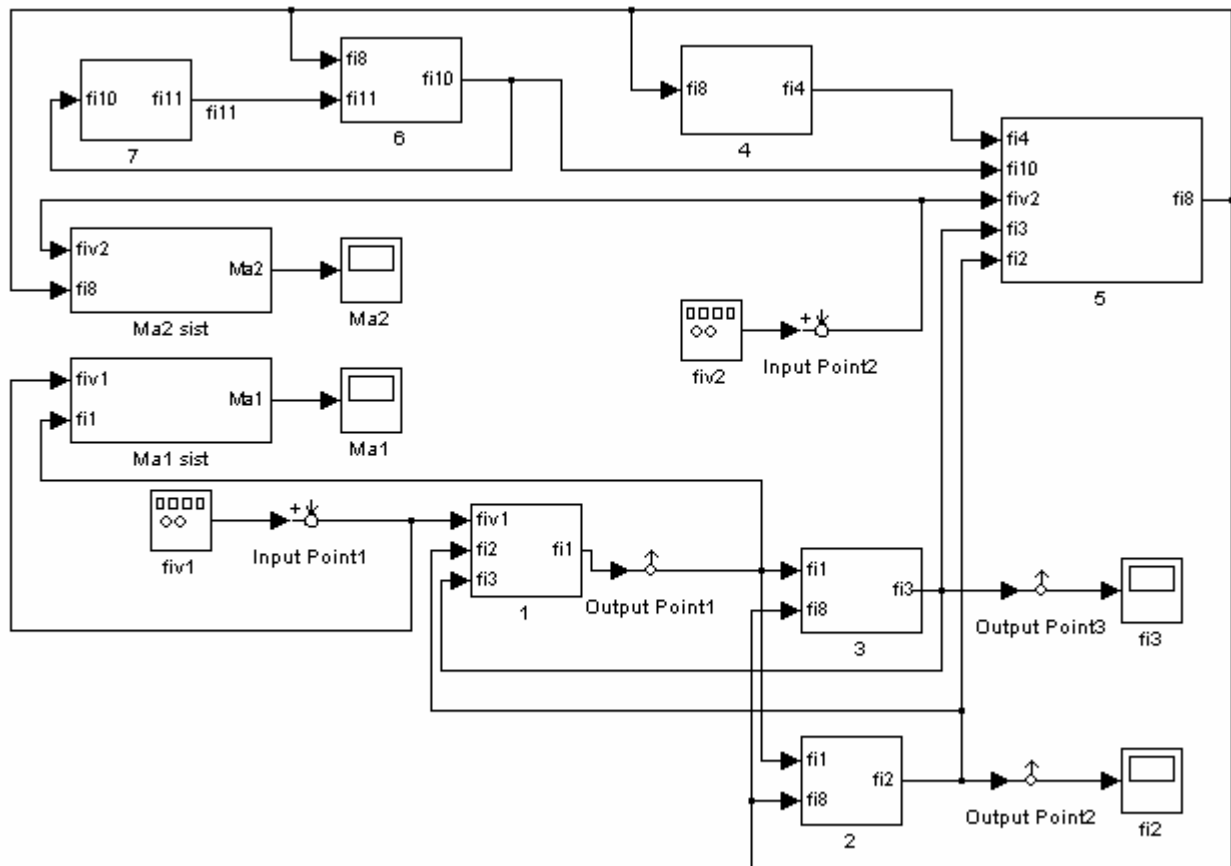
Šio tyrimo tikslas yra nustatyti kokią įtaką daro nagrinėjamosios sistemos elektros pavara tam tikrų apibendrintųjų koordinačių dažninėms charakteristikoms.

Sistemos su elektros pavara apibendrintųjų koordinačių ADC ir FDC gaunamos pagal Simulink-diagramą, pavaizduota 6.10 paveiksle. Sistemos su atjungta elektros pavara ADC ir FDC gaunamos pagal Simulink-diagramą, pavaizduotą 6.13 paveiksle, kuri yra analogiška struktūrinei schemai, pateiktai 5.14 paveiksle.

6.13 paveiksle pavaizduota mechaninio posistemio Simulink-diagrama turi specialių elementų: įėjimo (Input Point) ir išėjimo (Output Point) taškų, apibendrintųjų koordinačių dažninėms charakteristikoms gauti. Naudojant „MATLAB Simulink“ funkciją „LTI Viewer“, gaunamos anksčiau minėtų apibendrintųjų koordinačių ADC ir FDC.

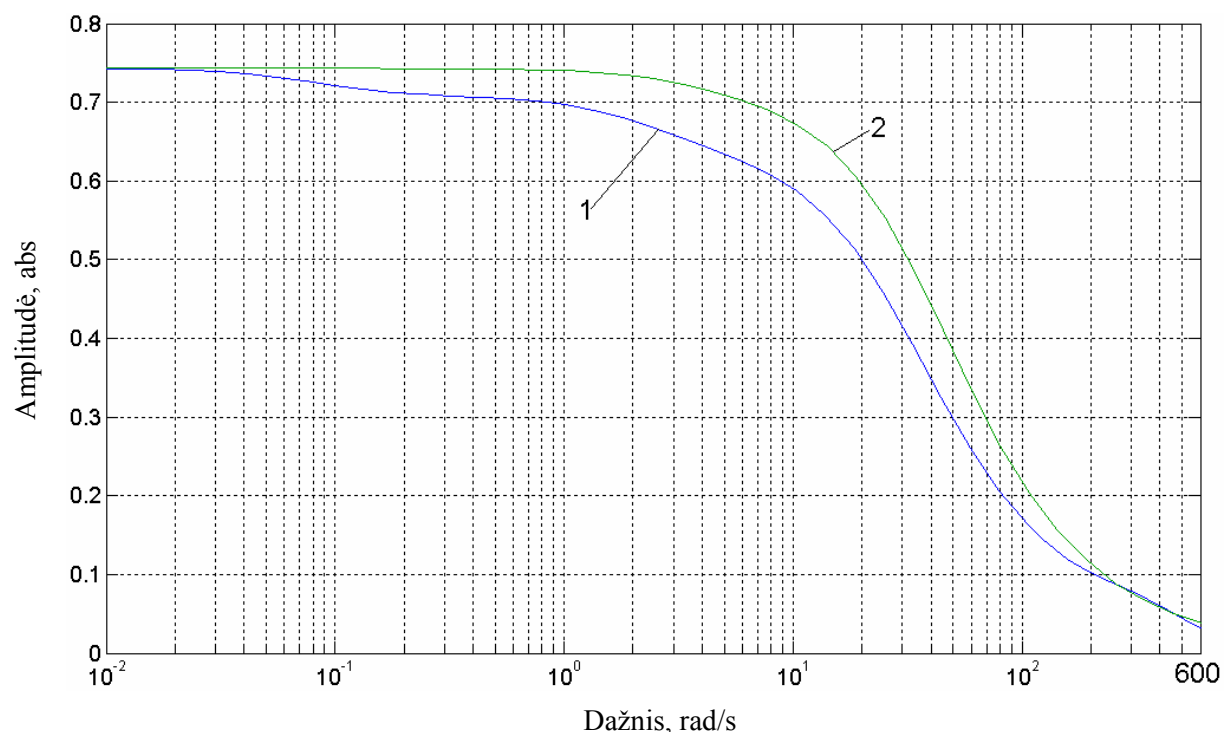
Koordinatės φ_1 ADC diagramoje amplitudės ašyje yra atidėtas įeinančio per tašką „Input Point 1“ ir išeinančio iš taško „Output Point 1“ signalo amplitudžių santykis. Jis (santykis) yra bedimensis dydis.

Koordinatės φ_2 ADC diagramoje amplitudės ašyje yra atidėtas įeinančio per tašką „Input Point 2“ ir išeinančio iš taško „Output Point 2“ signalo amplitudžių santykis. Koordinatės φ_3 ADC diagramoje amplitudės ašyje yra atidėtas įeinančio per tašką „Input Point 2“ ir išeinančio iš taško „Output Point 3“ signalo amplitudžių santykis.

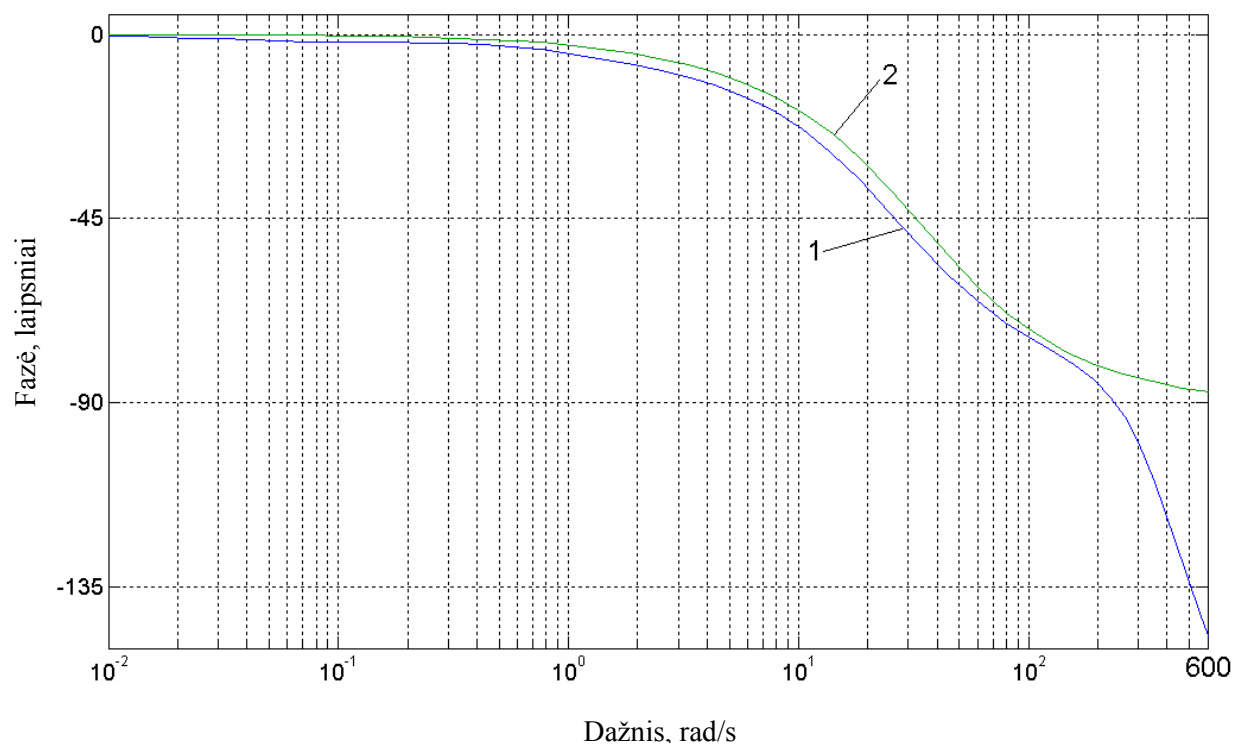


6.13 pav. Spausdinimo sekcijos pavaros mechaninės dalies, atjungtos nuo elektros pavaros, Simulink-diagrama

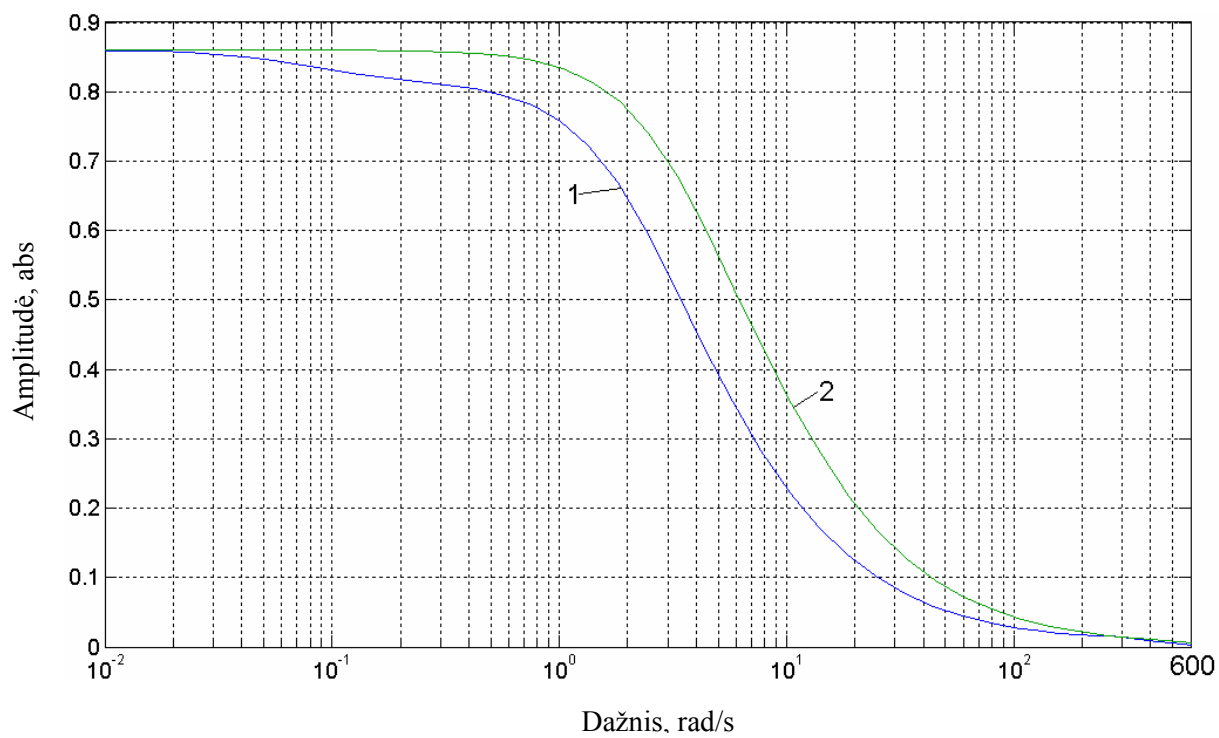
Apibendrintųjų koordinatė $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ dažninės charakteristikos pateiktos 6.14-6.19 paveiksluose.



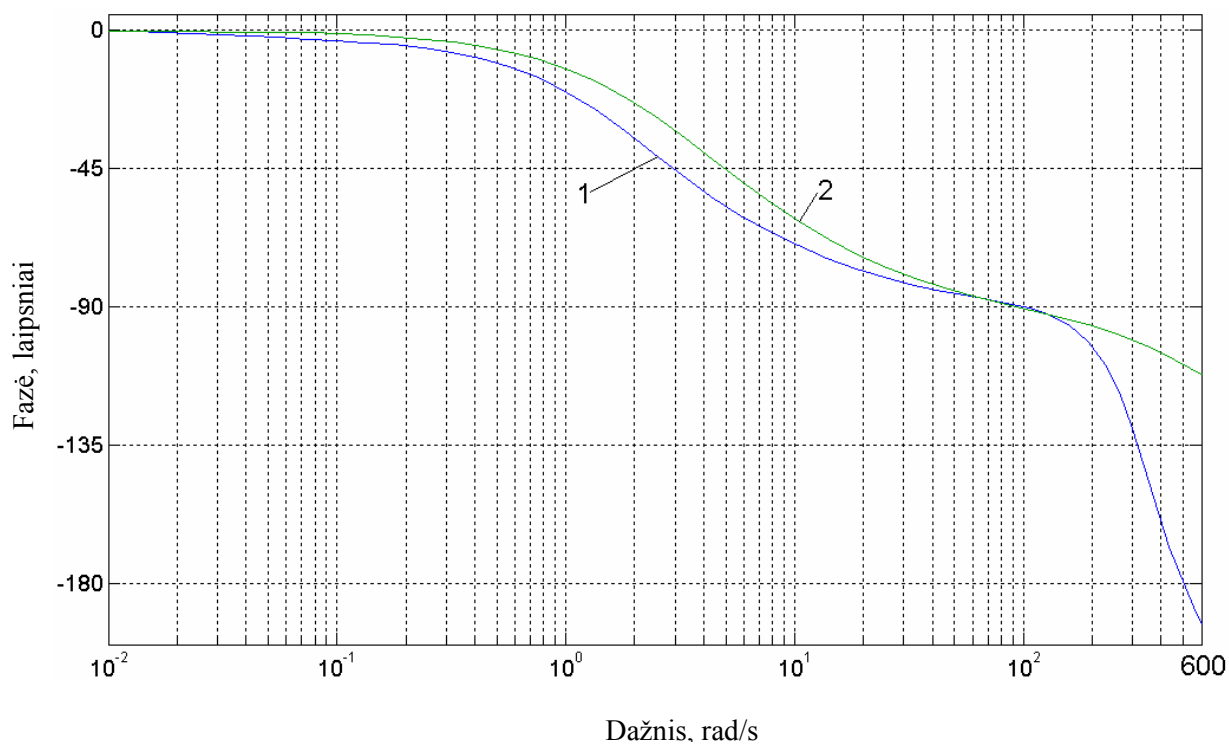
6.14 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_1 ADC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2)



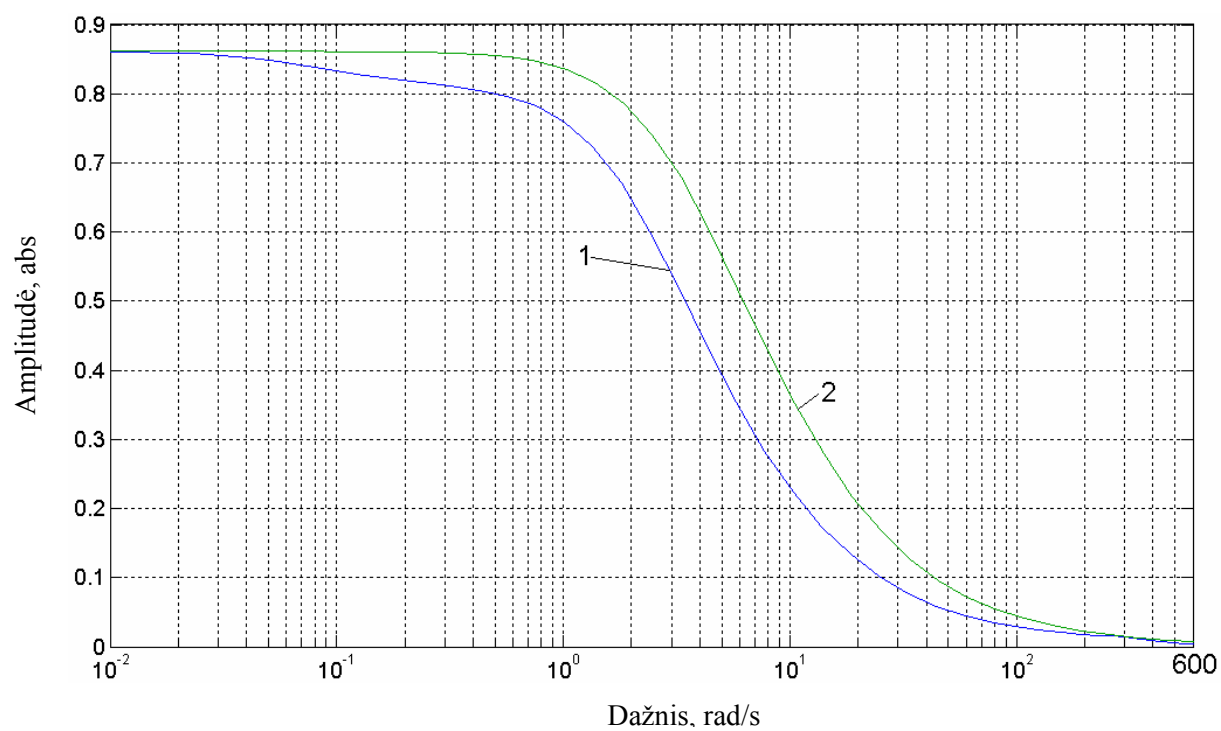
6.15 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_1 FDC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2)



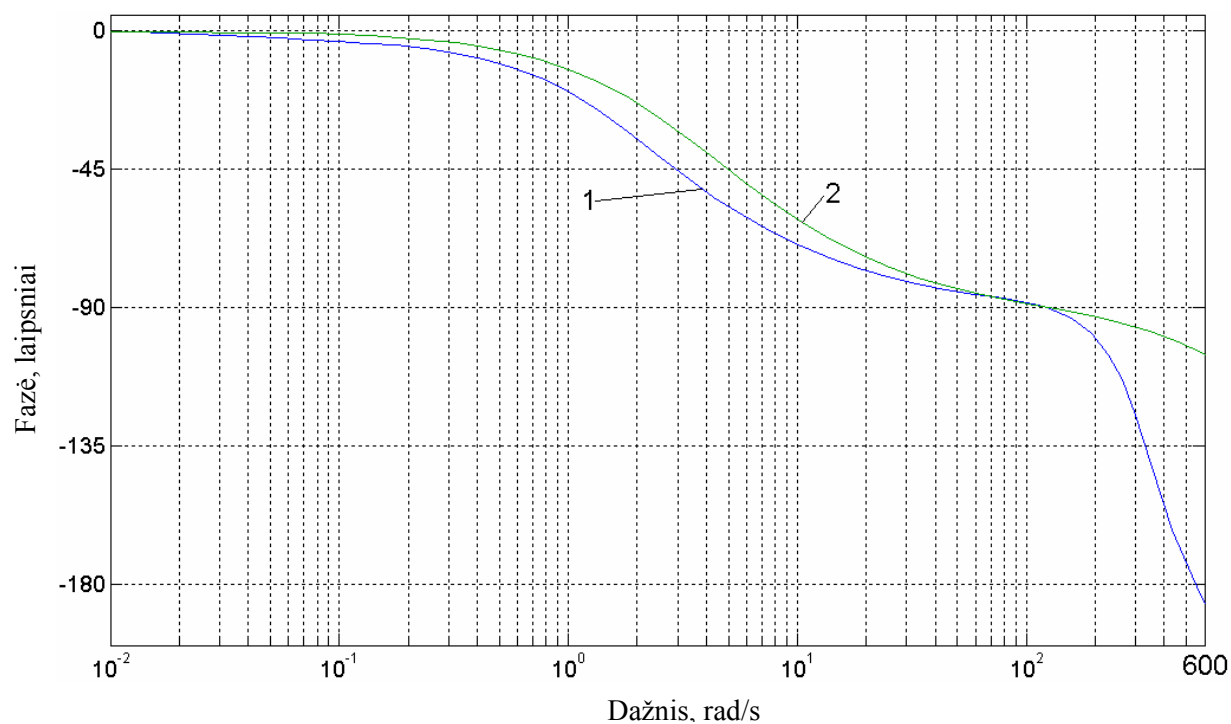
6.16 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_2 ADC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2)



6.17 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_2 FDC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2)



6.18 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_3 ADC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2)



6.19 pav. Apibendrintosios koordinatės φ_3 FDC gauta su elektros pavara (1) ir be jos (2)

Išvados:

Gautos $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ apibendrintųjų koordinačių dažninės charakteristikos, vaizduojančios nagrinėjamojo objekto elektros pavaros įtaka sukimo virpesių parametrams: amplitudei ir fazei. Elektros pavara sumažina susidarančių sukimo virpesių amplitudę ir fazę.

6.4. Modeliavimas keičiant spausdinimo formą apibūdinančius parametrus

Spausdinimo formą apibūdina standumo $c_{1,2}$, $c_{1,3}$ ir pasipriešinimo $r_{1,2}$, $r_{1,3}$ koeficientai. Modeliavimo, keičiant šiuos koeficientus, tikslas yra nustatyti kaip fleksografinės spausdinimo formos senėjimas veikia mašinos veikimą. Žinoma, kad formai senėjant, jos kietumas padidėja. Kadangi modeliuojamoje sistemoje yra vertinama spaudos ir aniloksinio cilindro sąveika su forminiu cilindru per minėtus standumo ir pasipriešinimo koeficientus, tai keičiant šių koeficientų reikšmes galima modeliuoti formos senėjimą ir stebėti jo įtaką sukeliams sukimo virpesiams. Šio tyrimo praktinis pritaikymas yra svarbus, nes pagal sukimo virpesių parametrų reikšmes, nustatytas eksperimentiniu būdu, galima bus nustatyti spausdinimo formos tinkamumą spaudai.

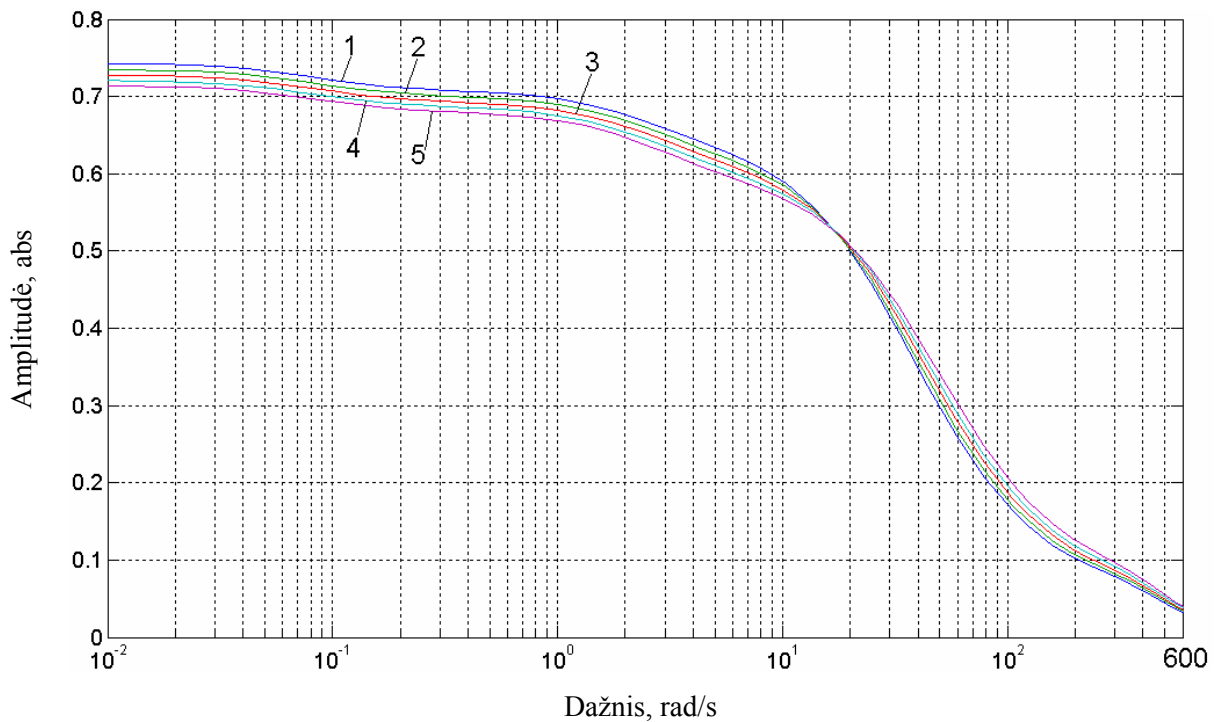
Modeliuojant spausdinimo formos senėjimą, standumo koeficientai $c_{1,2}$, $c_{1,3}$ yra didinami 5%, 10%, 15% ir 20%. Pasipriešinimo koeficientai $r_{1,2}$, $r_{1,3}$ yra atitinkamai mažinami 5%, 10%, 15% ir 20%.

Standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmės, taikomos modeliuojant yra pateiktos 6.1 lentelėje.

6.1 lentelė. Standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmės modeliavimui

Nr.	Standumo koeficientų didinimo ir pasipriešinimo koeficientų mažinimo reikšmės, %	Standumo koeficientai $c_{1,2}$ ir $c_{1,3}$, $N \cdot m / rad$	Pasipriešinimo koeficientai $r_{1,2}$ ir $r_{1,3}$, $N \cdot m \cdot s / rad$
1	0 (pradinės reikšmės)	5000	500
2	5	5250	475
3	10	5500	450
4	15	5750	425
5	20	6000	400

Amplitudinėse-dažninėse ir fazinėse-dažninėse diagramose yra vaizduojamos charakteristikos, esančios mechaninei sistemai pavojingiausiam dažnių diapazone: iki 600 rad/s (100 Hz). 6.20 paveiksle pateikta koordinatės φ_1 ADC prie įvairių standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmių. ADC, pateiktoje 6.20 paveiksle ir kituose paveiksluose amplitudė yra pateikta kaip bedimensis dydis, čia ji vaizduoja santykį tarp išėjimo (gaunamos) ir įėjimo (žadinimo) amplitudžių. Mechaninės dalies Simulink-diagrama, naudojama šiam ADC ir FDC gauti yra pateikta 6.10 paveiksle.



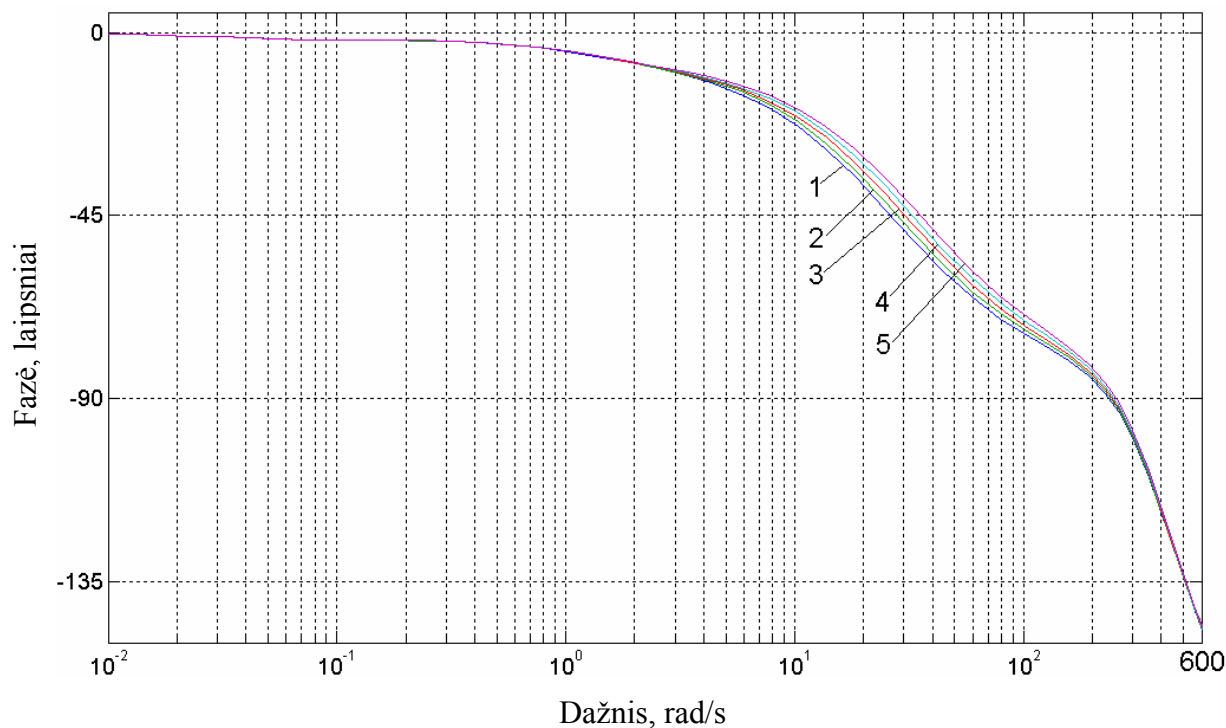
- 1 – koordinatės φ_1 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5000 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 500 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;
- 2 - koordinatės φ_1 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5250 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 475 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;
- 3 - koordinatės φ_1 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5500 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 450 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;
- 4 - koordinatės φ_1 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5750 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 425 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;
- 5 - koordinatės φ_1 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 6000 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 400 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

6.20 pav. Koordinatės φ_1 ADC, gauta esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms

6.20 paveiksle pateiktame grafike visos kreivės susikerta viename taške: čia dažnis lygus 17,2 rad/s ir amplitudžių santykis lygus 0,525. Tai įvyksta dėl to, kad standumo koeficientų reikšmės yra didinamos ir pasipriešinimo koeficientų reikšmės yra mažinamos vienodomis dalimis (vienodu procentų skaičiumi).

Jeigu standumo koeficientas yra didinamas skirtingu procentų skaičiumi negu mažinamas pasipriešinimo koeficientas, kreivių susikirtimo taško gali apskritai nebūti.

Koordinatės φ_1 FDC, gauta prie įvairių standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmių, pateikta 6.21 paveiksle.



1 – koordinatės φ_1 FDC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5000 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 500 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

2 - koordinatės φ_1 FDC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5250 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 475 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

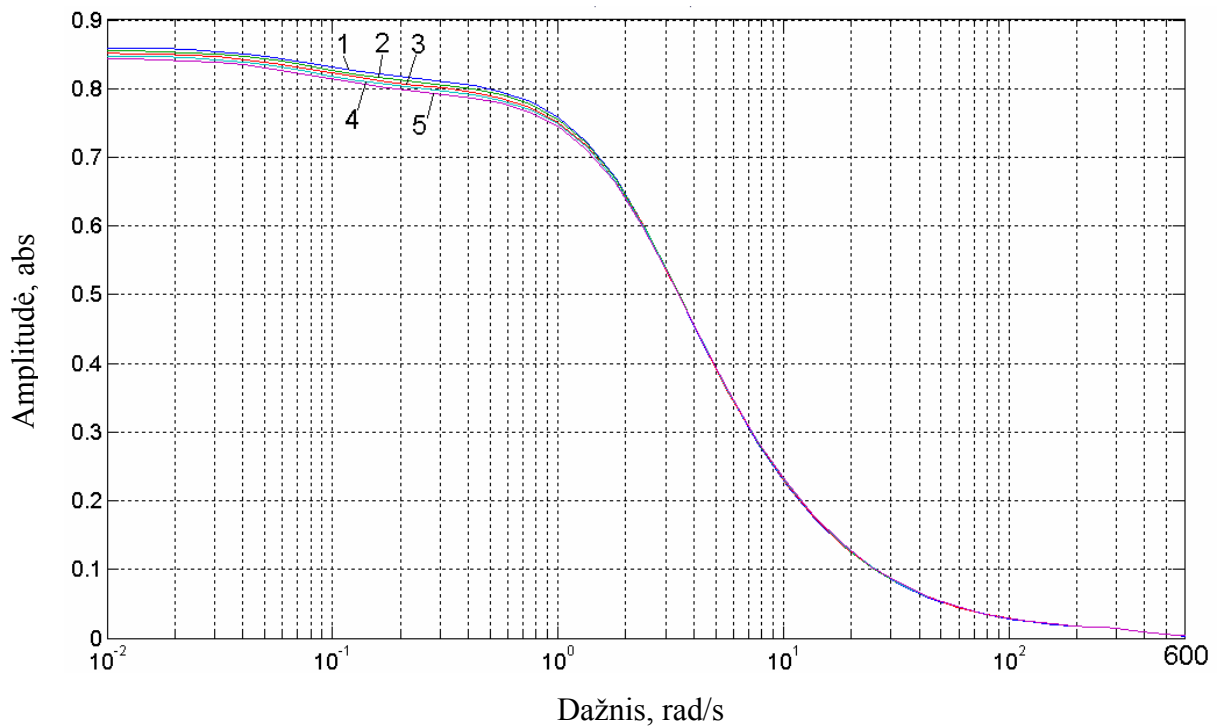
3 - koordinatės φ_1 FDC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5500 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 450 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

4 - koordinatės φ_1 FDC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5750 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 425 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

5 - koordinatės φ_1 FDC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 6000 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 400 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

6.21 pav. Koordinatės φ_1 FDC, gauta esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms

6.22 paveiksle yra pavaizduota φ_2 koordinatės ADC. Aiškiai pastebimi skirtumai tarp tos pačios koordinatės ADC, gautų esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms yra tik labai mažų dažnių zonoje. Darbo zonoje (3-60 rad/s) šitie skirtumai yra beveik sunkiai pastebimi.

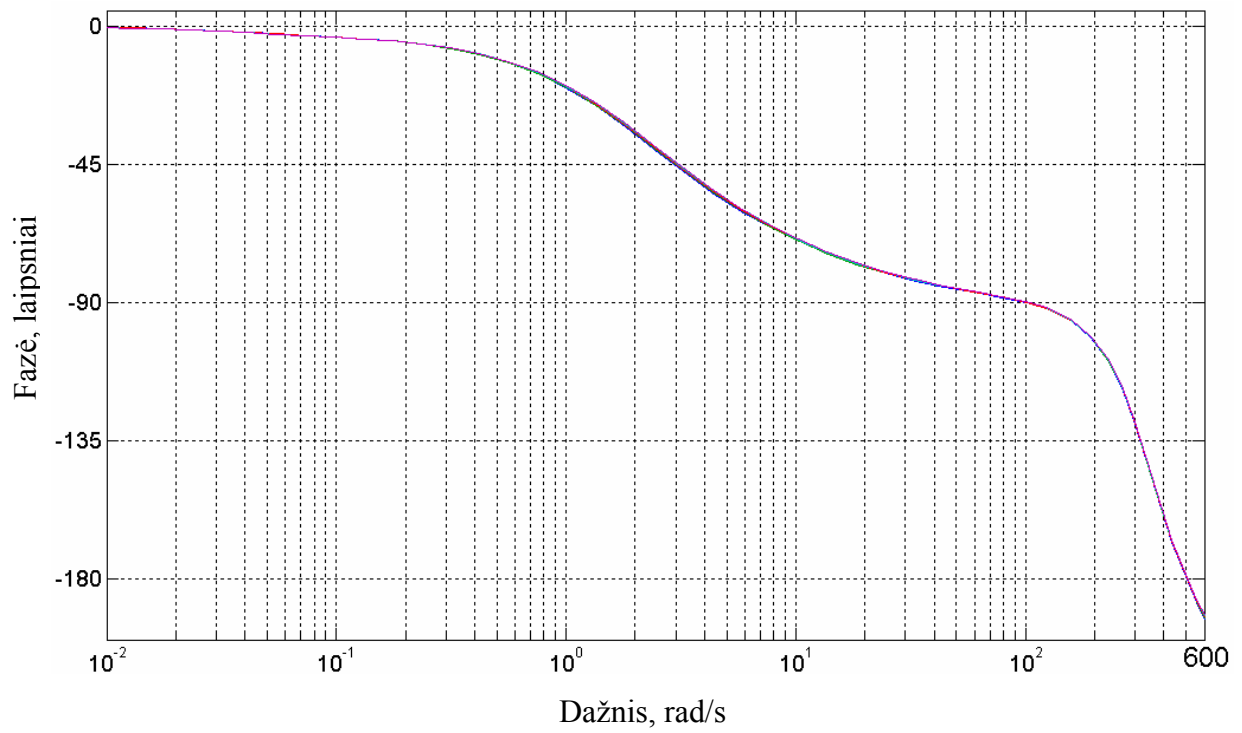


- 1 – koordinatės φ_2 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5000 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 500 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;
 2 - koordinatės φ_2 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5250 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 475 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;
 3 - koordinatės φ_2 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5500 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 450 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;
 4 - koordinatės φ_2 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5750 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 425 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;
 5 - koordinatės φ_2 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 6000 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 400 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

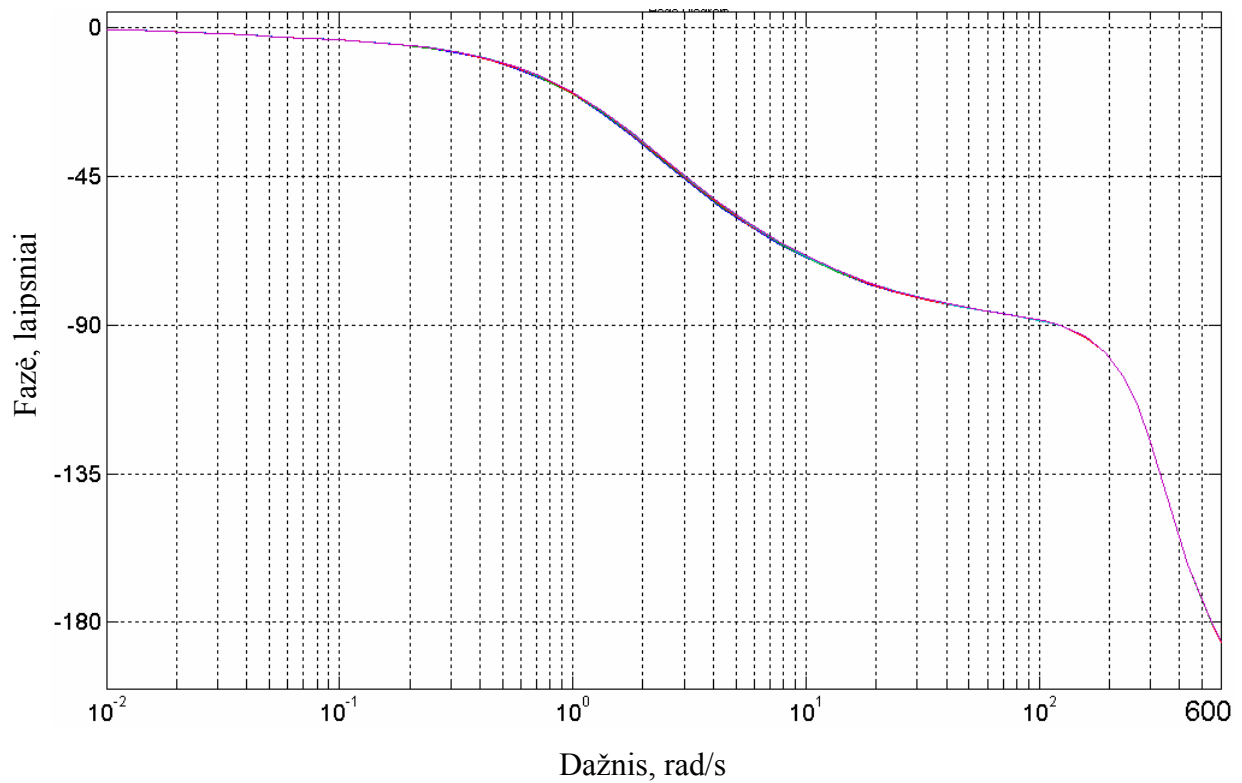
6.22 pav. Koordinatės φ_2 ADC, gauta esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms

Koordinatės φ_2 fazinė-dažninė charakteristika yra pateikta 6.23 paveiksle. Čia pavaizduotos FDC prie įvairių standumo ir pasipriešinimo koeficientų labai mažai skiriasi vienos nuo kitų (skirtumas mažesnis už 1°). Bendra tendencija yra tokia: kuo didesnis standumo koeficientas ir kartu su juo mažesnis pasipriešinimo koeficientas, tuo didesnė fazė.

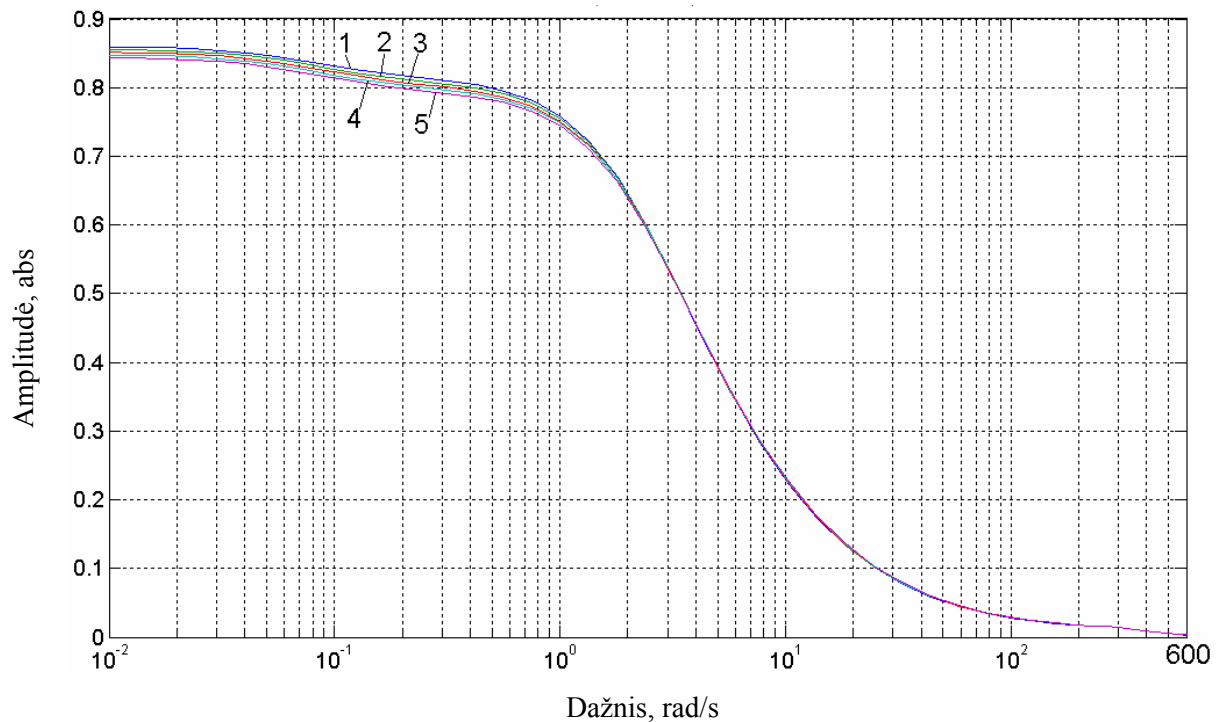
Koordinatės φ_3 fazinė-dažninė ir amplitudinė-dažninė charakteristikos pateiktos 6.24 ir 6.25 paveiksluose. Jos yra labai panašios į koordinatės φ_2 ADC ir FDC.



6.23 pav. Koordinatės φ_2 FDC, gauta esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms



6.24 pav. Koordinatės φ_3 FDC, gauta esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms



1 – koordinatės φ_2 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5000 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 500 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

2 - koordinatės φ_2 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5250 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 475 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

3 - koordinatės φ_2 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5500 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 450 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

4 - koordinatės φ_2 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 5750 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 425 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

5 - koordinatės φ_2 ADC gauta kai $c_{1,2} = c_{1,3} = 6000 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$ ir $r_{1,2} = r_{1,3} = 400 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$;

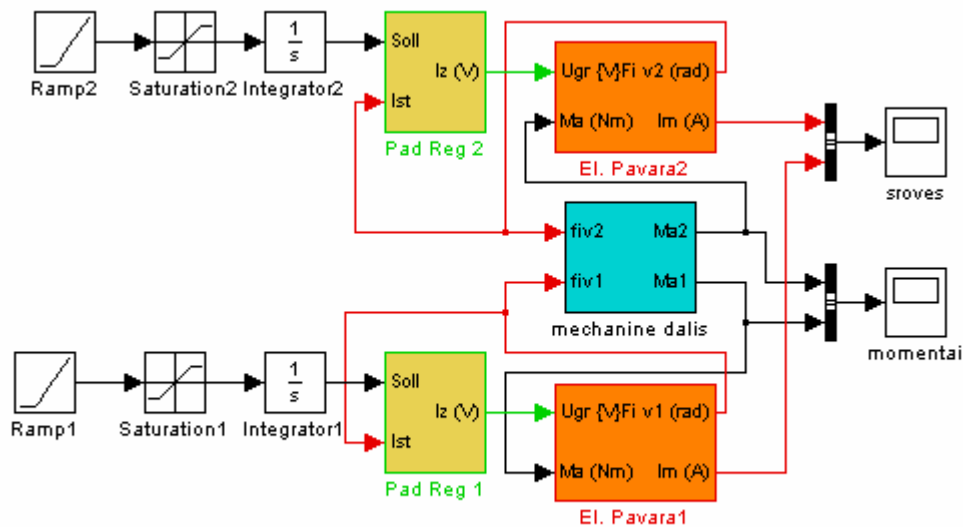
6.25 pav. Koordinatės φ_3 ADC, gauta esant įvairioms standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmėms

Išvados:

Gautos $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ apibendrintųjų koordinačių dažninės charakteristikos, įvertinančios spausdinimo formos senėjimą. Naudojant šį modelį galima gauti teorinių duomenų apie tam tikrų fleksografinės spaudos formų parametrus pagal eksperimentiškai išmatuotus sukimo virpesių parametrus. Tai yra perspektyvus būdas fleksografinės spaudos formų kokybei nustatyti.

6.5. Modeliavimas keičiant krumpliaračių ciklinės harmoninės paklaidos amplitudės dydį

Šio modeliavimo tikslas yra nustatyti kaip veikia nagrinėjamosios spausdinimo sekcijos mechaninės dalies elementų gamybos tikslumą apibūdinanti krumpliaračių ciklinė harmoninė paklaida (toliau – paklaida) sistemos dinamines charakteristikas. Modeliavimui naudojama Simulink-diagrama pavaizduota 6.25 paveiksle.

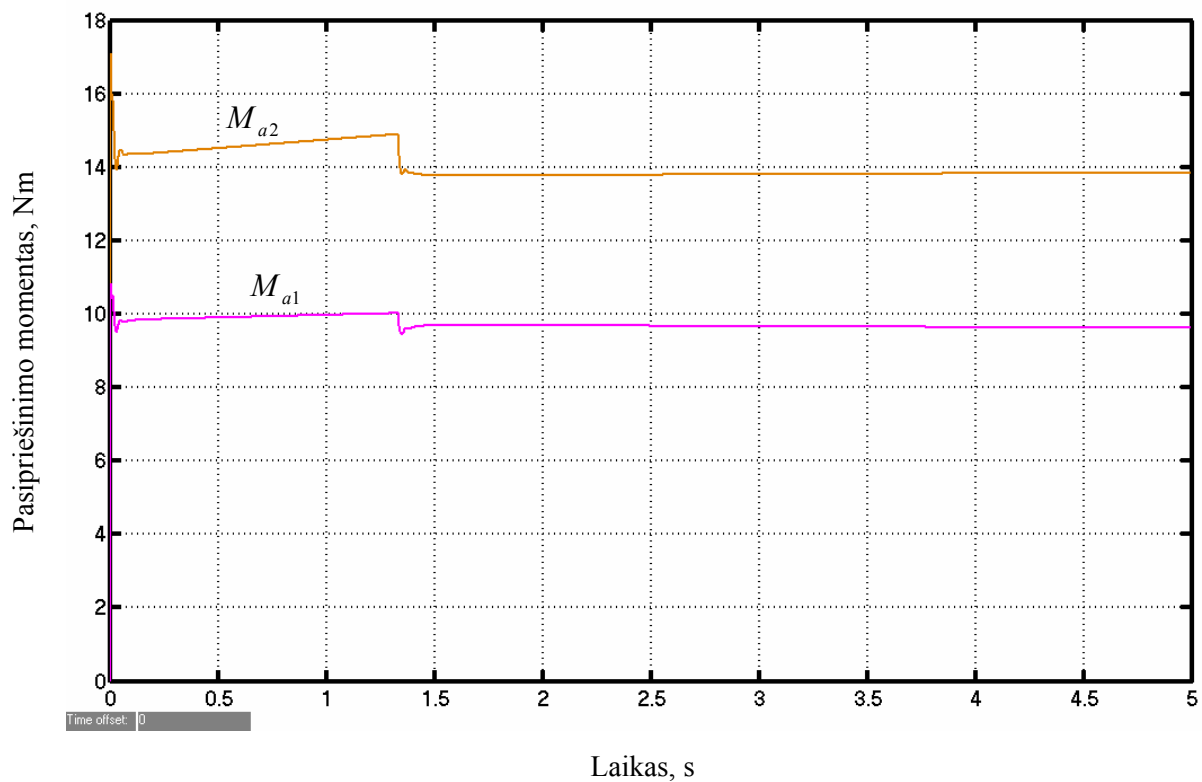


6.25 pav. Sistemos Simulink-diagrama, naudojama krumpliaračių ciklinės harmoninės paklaidos dydžio įtakai dinaminėms charakteristikoms stebėti

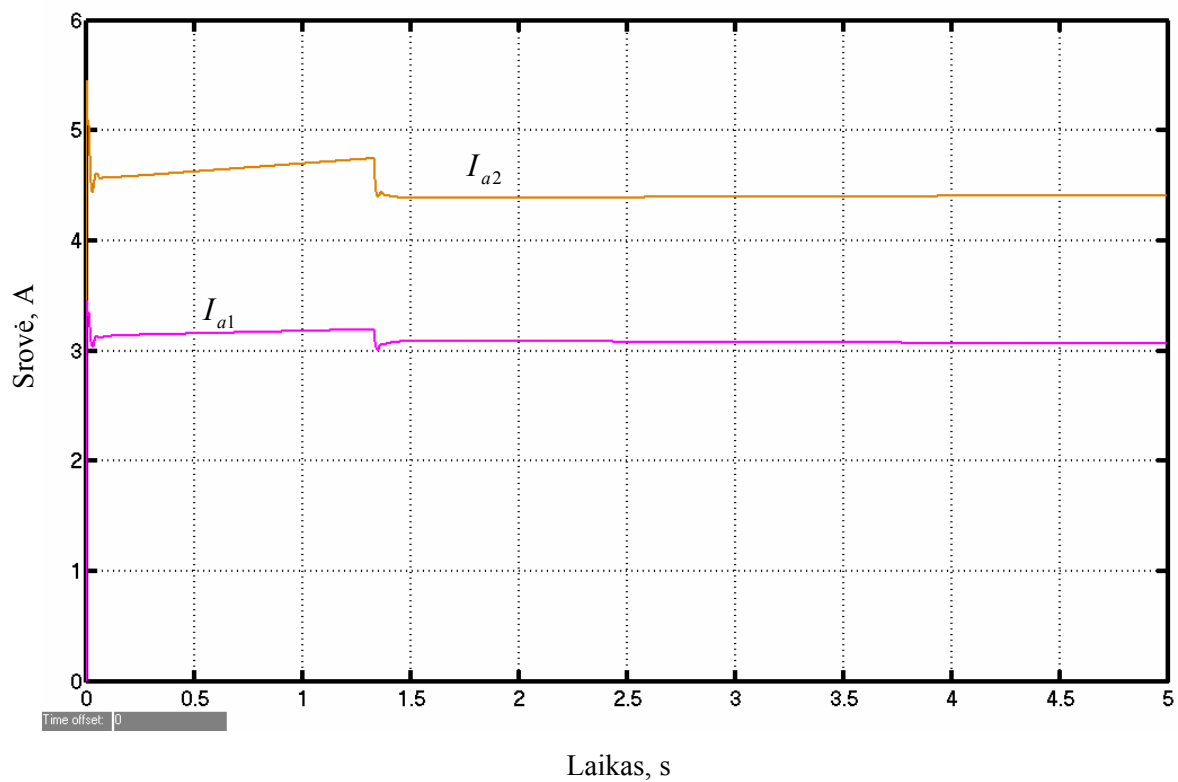
Modeliuojant sistemą su pagrindiniais parametrais, buvo pastebėta, kad krumpliaračių ciklinės harmoninės paklaidos amplitudės dydis iš visų sistemos dinaminių charakteristikų veikia tik pasipriešinimo momentus ir variklių sroves. Todėl toliau pateikti tik pasipriešinimo momentų, veikiančių elektros variklius, ir elektros variklių srovių grafikai. Apibendrintųjų koordinačių ADC ir FDC ciklinės paklaidos įtaka nepastebėta. Paklaidos įtakai pavaizduoti yra modeliuojamas jau minėtas pereinamasis režimas: mašina yra paleidžiama veikiant 3 rad/s^2 kampiniam pagreičiui. Jis veikia spaudos, forminį ir aniloksinį cilindrų ir atitinkamai variklius V1 ir V2. Kai kampinis greitis pasiekia 4 rad/s dydį, jis daugiau nedidėja. Modeliuojamos mašinos veikimo pirmosios penkios sekundės.

Yra atliekami keturi modeliavimo atvejai, krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiai (mikrometrais) yra šie: 0 (idealus atvejis), 1, 10, 50.

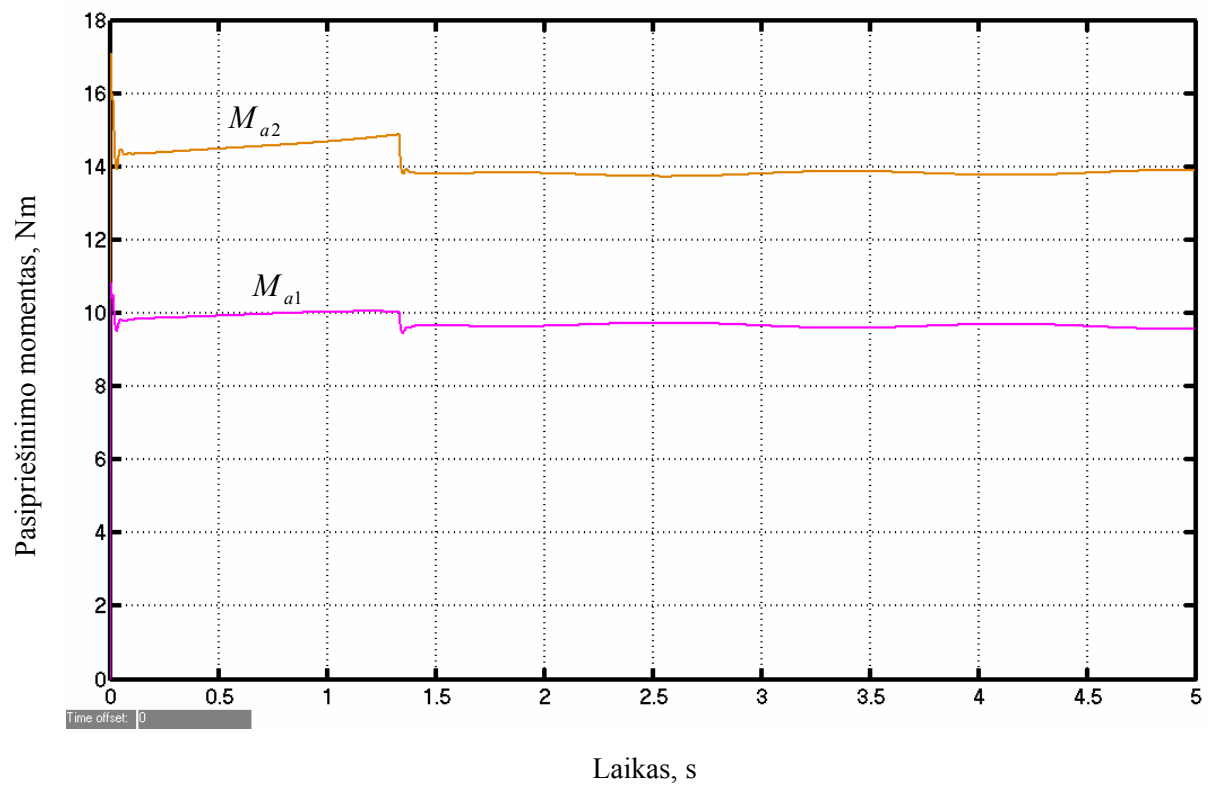
Gaunamų pasipriešinimo momentų ir variklių srovių grafikai pateikti 6.6, 6.8, 6.26-6.31 paveiksluose.



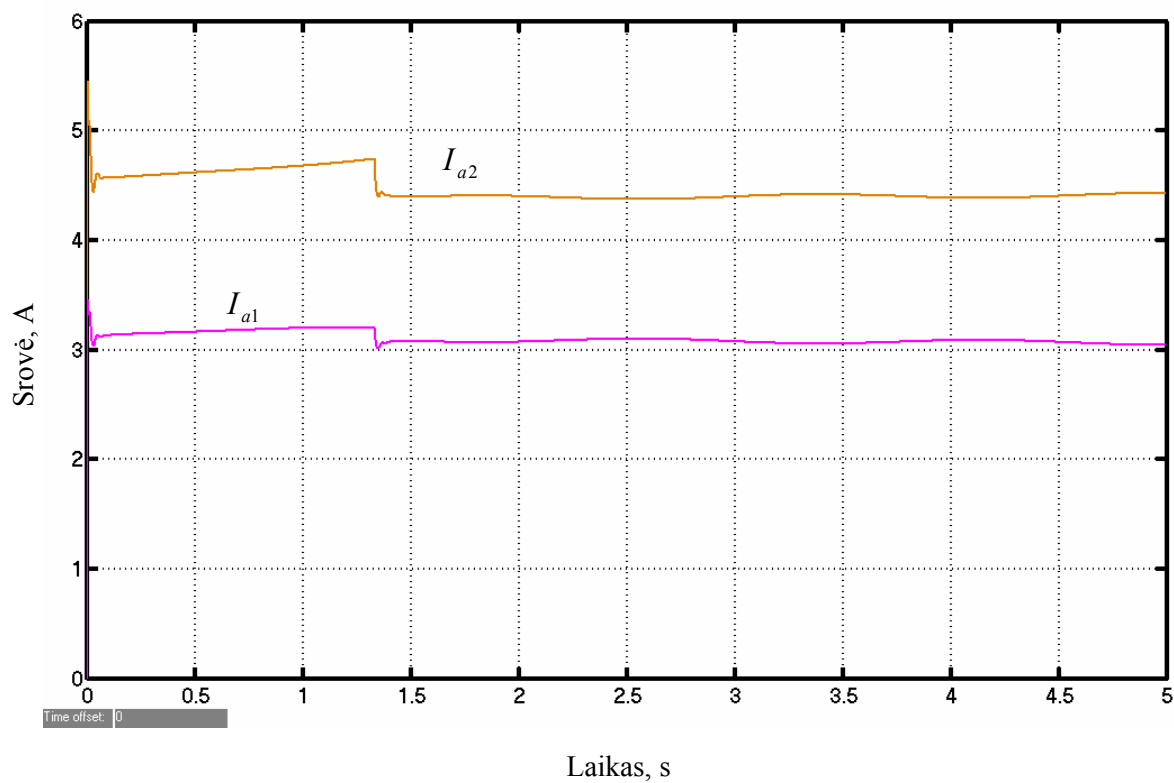
6.26 pav. Pasipriešinimo momentų, veikiančių elektros variklius, priklausomybės nuo laiko, esant nuliniam krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui



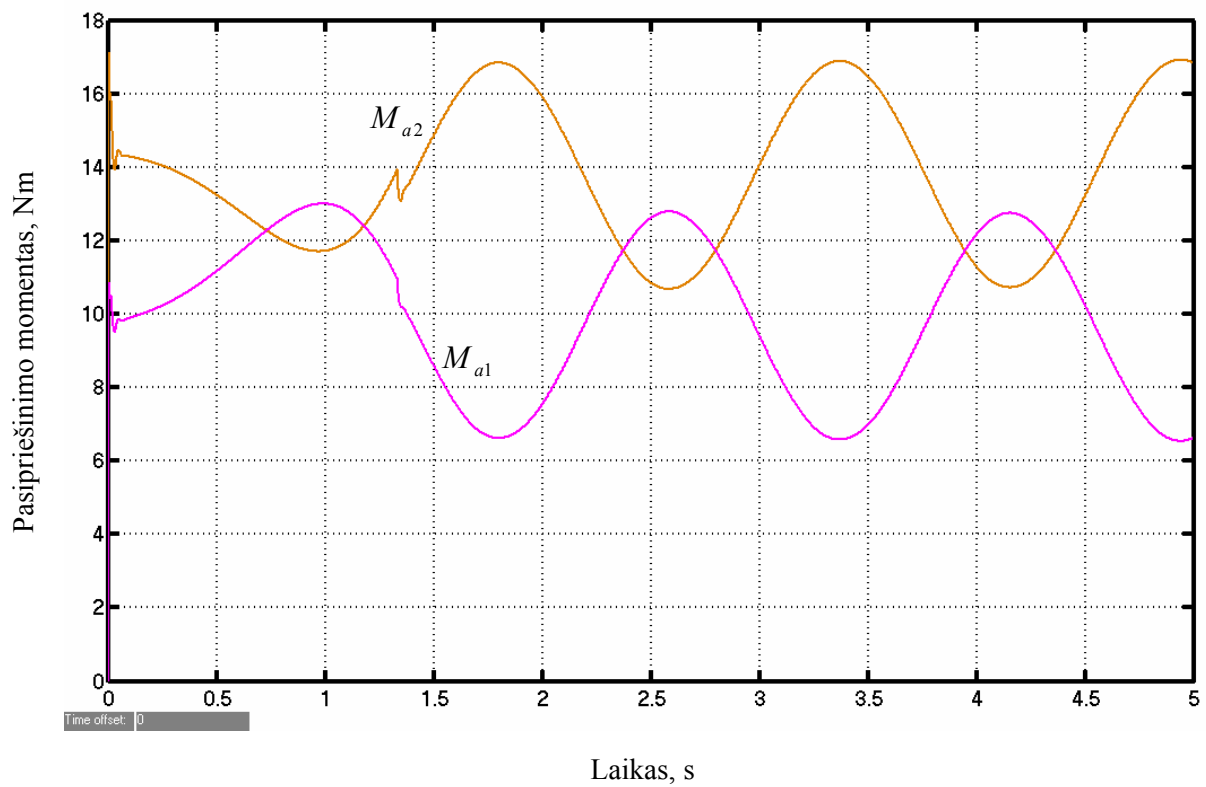
6.27 pav. Variklių srovių priklausomybės nuo laiko, esant nuliniam krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui



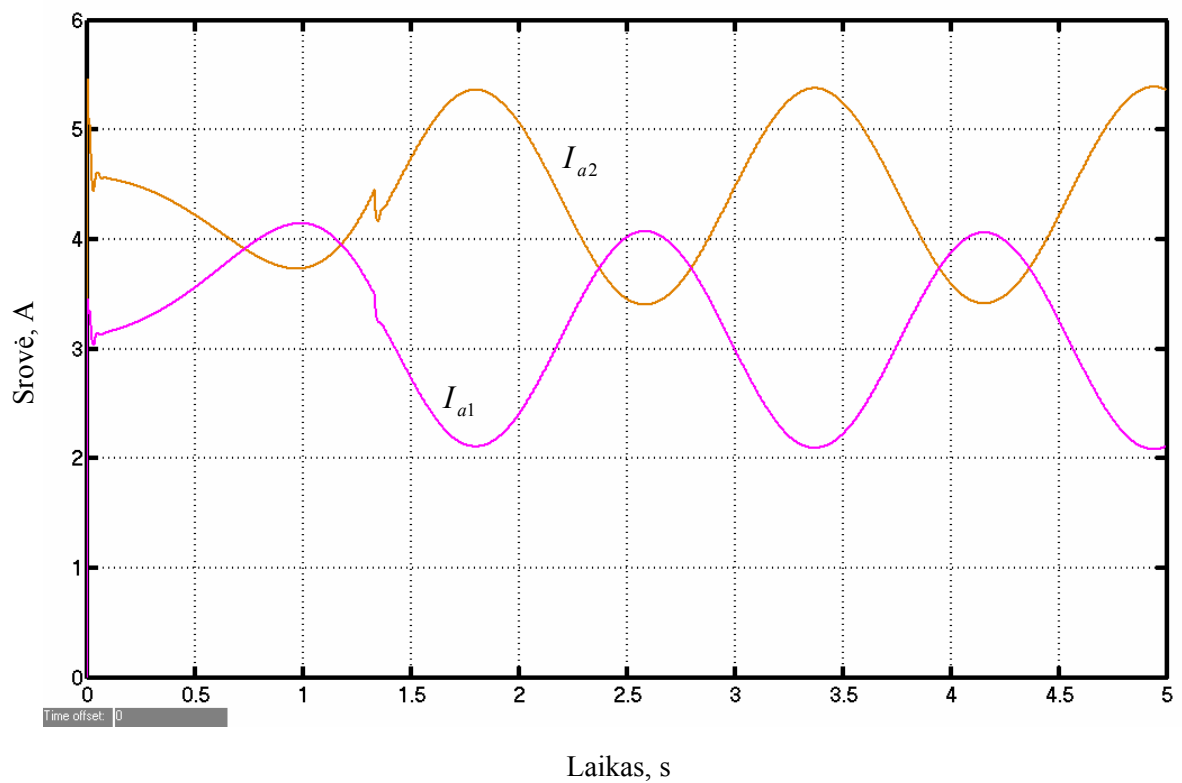
6.28 pav. Pasipriešinimo momentų, veikiančių elektros variklius, priklausomybės nuo laiko, esant $1 \mu\text{m}$ krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui



6.29 pav. Variklių srovių priklausomybės nuo laiko, esant $1 \mu\text{m}$ krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui



6.30 pav. Pasipriešinimo momentų, veikiančių elektros variklius, priklausomybės nuo laiko, esant $50\ \mu\text{m}$ krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui



6.31 pav. Variklių srovių priklausomybės nuo laiko, esant $50\ \mu\text{m}$ krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiui

PASTABA: pasipriešinimo momentai tikrovėje veikia ne elektros variklių rotorų velenus, o planetinių reduktorių išėjimo velenus.

Išvados:

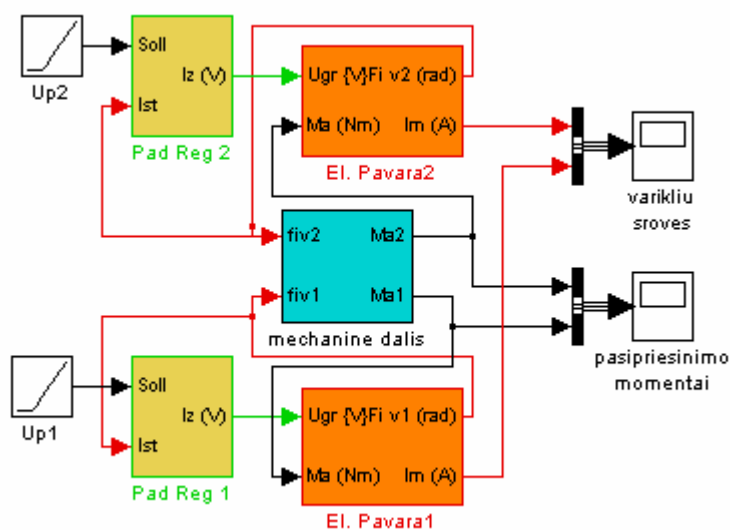
Gautos elektros variklius veikiančių pasipriešinimo momentų ir elektros variklių srovių priklausomybės nuo laiko esant įvairiems krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiams. Didėjant krumpliaračių paklaidų amplitudėms, didėja pasipriešinimo momentų ir srovių virpesių amplitudės.

Esant dideliems darbo greičiams ir didelėms paklaidų amplitudžių reikšmėms, elektros varikliai greičiau įšils, kadangi jų srovės viršys tam tikras nustatytas reikšmes.

6.6. Sistemos modeliavimas keičiant guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmes

Be minėtų modeliavimo atvejų buvo atliktas modeliavimas, keičiant pasipriešinimo koeficientus guoliuose. Jo tikslas: ištirti kaip pasipriešinimo koeficientų guoliuose keitimas veikia nagrinėjamojo objekto dinamines charakteristikas. Pastebėta, kad guolių pasipriešinimo koeficientai labiausiai veikia pasipriešinimo momentų ir variklių srovių dydžius.

Modeliuojant, tikslioms pasipriešinimo momentų ir variklių srovių reikšmėms gauti, krumpliaračių ciklinės harmoninės paklaidos amplitudė buvo prilyginta nuliui. Modeliavimui naudojama Simulink-diagrama pavaizduota 6.32 paveiksle.



6.32 pav. Simulink-diagrama, naudojama guolių pasipriešinimo koeficientų įtakai sistemos dinaminėms charakteristikoms modeliuoti

Guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmės yra didinamos ir esant įvairiems mašinos darbo greičiams, nusistovėjusiam režime registruojamos pasipriešinimo momentų ir elektros variklių srovių reikšmės. Guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmės pateiktos 6.2 lentelėje.

6.2 lentelė. Guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmės modeliavimui

Guolių pasipriešinimo koeficientai	Procentų skaičiai, kuriais didinami guolių pasipriešinimo koeficientai				
	0%	10%	30%	50%	70%
$g_1 = g_2 = g_3 = g_4 = g_5 = g_{11}, N \cdot m \cdot s / rad$	0,04	0,044	0,052	0,06	0,068
$g_8, N \cdot m \cdot s / rad$	0,02	0,022	0,026	0,03	0,034

Guolių pasipriešinimo reikšmių keitimas reikalingas įvairiems, su mašinos eksploatavimu susijusiems procesams modeliuoti, pavyzdžiui sumažėjo tepalo kiekis ar į guolį pateko dulkės ir kietosios dalelės.

Kadangi mašinos (aniloksinio ar spaudos cilindro) darbo greičių diapazonas yra 3-60 rad/s, kurie atitinka 10-200 m/mins spaudos greičiui, tai modeliuoti naudojamos greičių reikšmės pateiktos 6.3 lentelėje.

6.3 lentelė. Greičio reikšmės modeliavimui

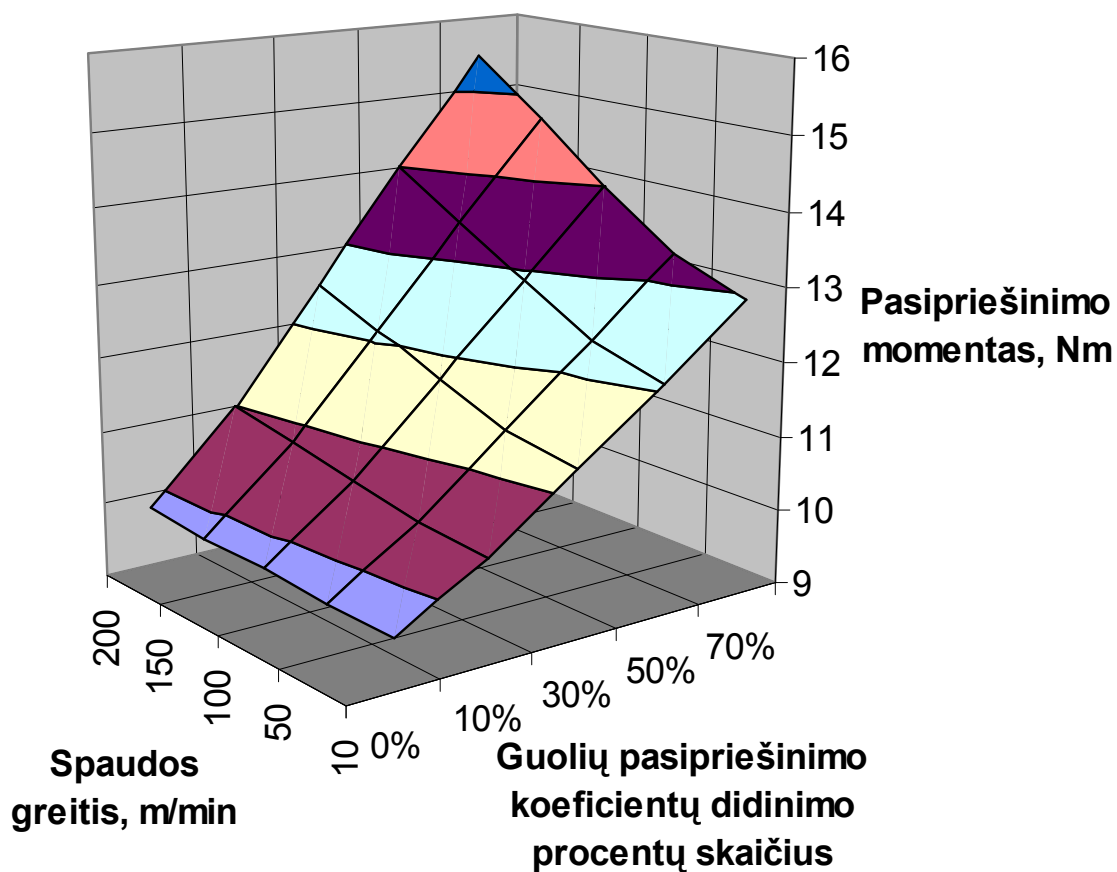
Spausdinimo greitis, m/min	10	50	100	150	200
Variklių kampinis sukimosi greitis, rad/s	3	15	30	45	60

Įvairiems spausdinimo greičiams modeliuoti Simulink-diagramos (6.32 pav.) blokuose „Up1“ ir „Up2“ yra nustatoma atitinkama kampinio sukimosi greičio reikšmė.

Gauti modeliavimo rezultatai pateikti 6.4-6.7 lentelėse ir pagal lenteles sudarytuose grafikuose, pateiktuose 6.33-6.36 paveiksluose.

6.4 lentelė. Pasipriešinimo momento M_{a1} reikšmės (Nm), esant įvairiems spaudos greičiams ir guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmėms

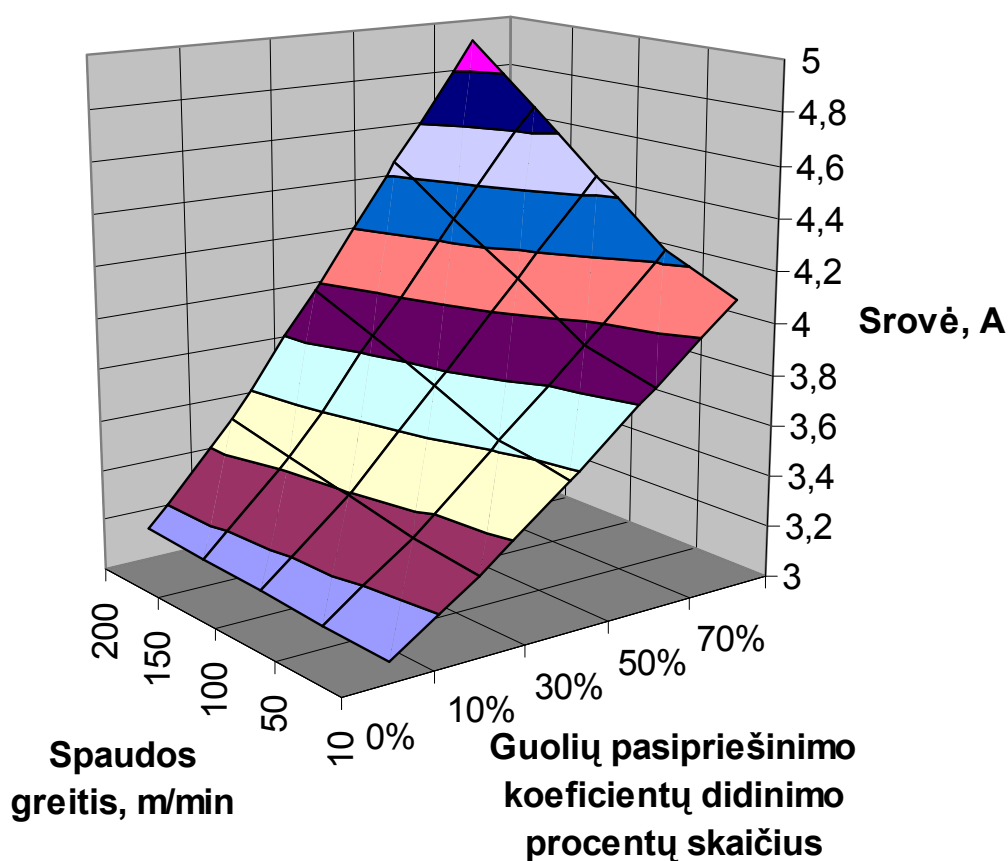
		Spaudos greitis, m/min				
		10	50	100	150	200
Guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičius	0%	9,67	10,36	11,22	12,07	12,94
	10%	9,69	10,45	11,4	12,35	13,3
	30%	9,73	10,63	11,76	12,89	14
	50%	9,76	10,81	12,12	13,43	14,74
	70%	9,8	10,99	12,48	14	15,45



6.33 pav. M_{a1} pasipriešinimo momento priklausomybė nuo spaudos greičio ir guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičiaus

6.5 lentelė. Elektros variklio V1 srovės I_{a1} reikšmės (A), esant įvairiems spaudos greičiams ir guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmėms

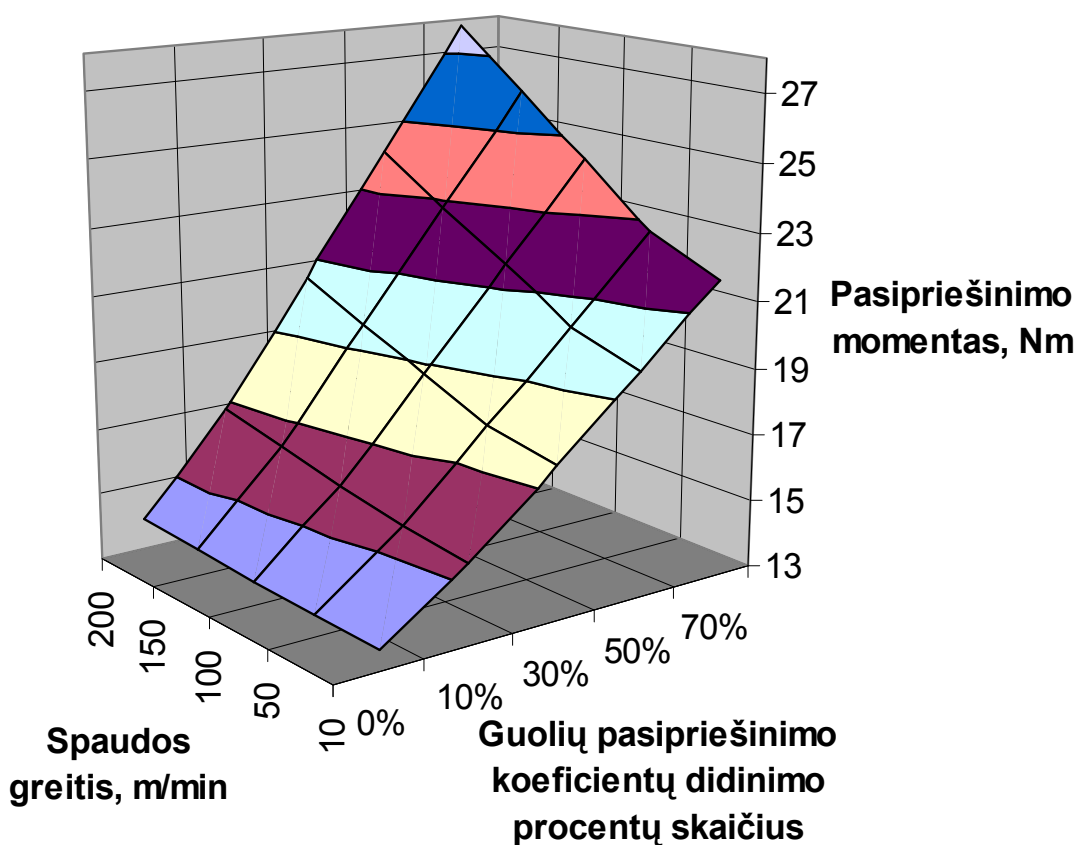
		Spaudos greitis, m/min				
		10	50	100	150	200
Guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičius	0%	3,08	3,3	3,57	3,85	4,12
	10%	3,09	3,33	3,63	3,93	4,24
	30%	3,1	3,39	3,75	4,11	4,47
	50%	3,11	3,44	3,86	4,28	4,69
	70%	3,12	3,5	3,97	4,45	4,92



6.34 pav. Elektros variklio V1 srovės I_{a1} priklausomybė nuo spaudos greičio ir guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičiaus

6.6 lentelė. Pasipriešinimo momento M_{a2} reikšmės (Nm), esant įvairiems spaudos greičiams ir guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmėms

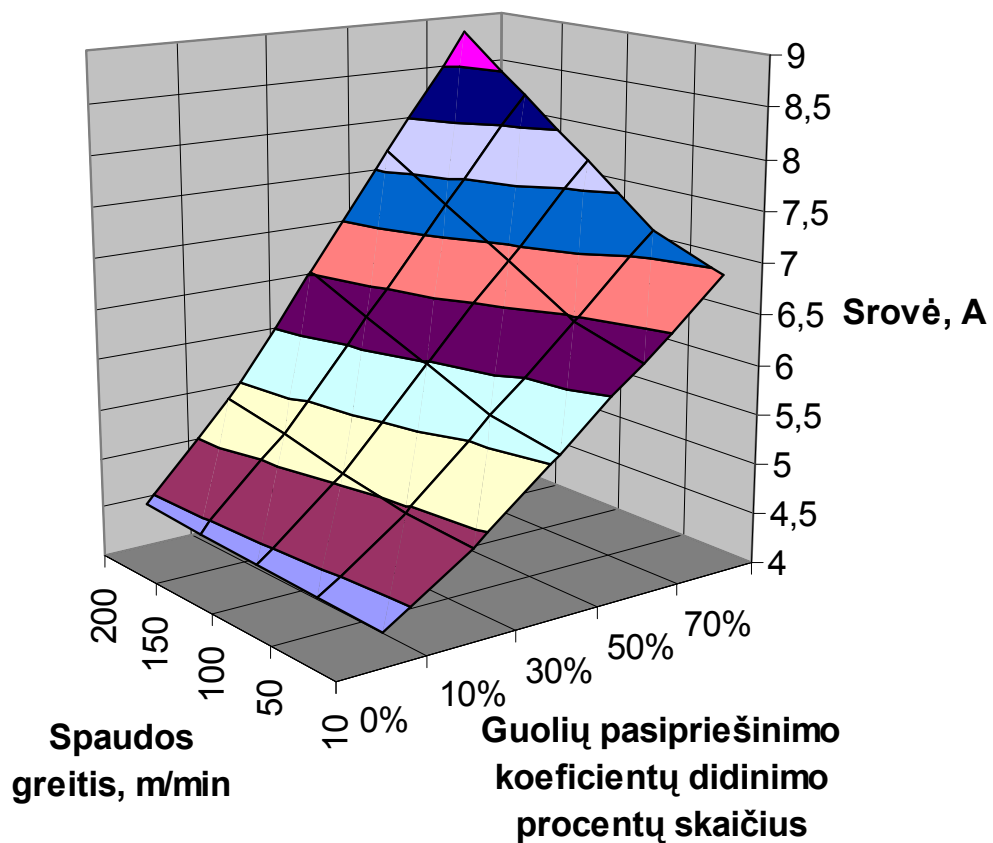
		Spaudos greitis, m/min				
		10	50	100	150	200
Guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičius	0%	13,59	15,32	17,49	19,65	21,82
	10%	13,63	15,54	17,91	20,3	22,7
	30%	13,72	15,96	18,76	21,6	24,4
	50%	13,81	16,39	19,62	22,8	26,1
	70%	13,89	16,81	20,5	24,1	27,8



6.35 pav. M_{a2} pasipriešinimo momento priklausomybė nuo spaudos greičio ir guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičiaus

6.7 lentelė. Elektros variklio V2 srovės I_{a2} reikšmės (A), esant įvairiems spaudos greičiams ir guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmėms

		Spaudos greitis, m/min				
		10	50	100	150	200
Guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičius	0%	4,33	4,88	5,57	6,26	6,95
	10%	4,34	4,95	5,7	6,46	7,22
	30%	4,37	5,08	5,98	6,87	7,76
	50%	4,4	5,22	6,25	7,28	8,3
	70%	4,42	5,35	6,52	7,68	8,84



6.36 pav. Elektros variklio V2 srovės I_{a2} priklausomybė nuo spaudos greičio ir guolių pasipriešinimo koeficientų didinimo procentų skaičiaus

Išvados:

Gautos pasipriešinimo momentų ir elektros srovių priklausomybės nuo spausdinimo greičio ir guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmių.

7. REZULTATŲ ANALIZĖ IR TOLESNI TYRIMAI

Šiame skyrelyje bus trumpai apžvelgti gauti rezultatai, paminėtos prielaidos, pasiūlytos tolesnių tyrimų kryptys ir suformuluoti tų tyrimų tikslai.

7.1. Rezultatų analizė

Vienas iš pagrindinių rezultatų yra tas, kad buvo sudarytas realiai egzistuojančios fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spaudos sekcijos pavaros modelis sukimo virpesiams tirti. Realiai vertinant šitą modelį, pabrėžtina, kad jis buvo sudarytas su prielaidomis, kurios paminėtos ketvirtajame skyriuje.

Apskritai apie analogiškus modeliavimo atvejus, kad būtų modeliuojama fleksografinės spaudos mašinos sekcija, nežinoma, kadangi įrangos gamintojai dėl tam tikrų priežasčių neviešina tyrimų rezultatų ir aprašymų. Todėl darbo rezultatų negalima palyginti su kokiais nors rezultatais.

Pagal nagrinėjamosios sistemos stabilumo bandymo rezultatus (6.2 pav.) galima pasakyti, kad sistema dirba stabiliai. Reakcija į vienetinį laiptinį žadinimą yra aperiodinis pereinamasis procesas, kurį nulėmė pakankamai dideli sistemos standumo ir pasipriešinimo koeficientai

Modeliuojant mašinos paleidimą ir darbo greičio didėjimą iki tam tikros reikšmės, paaiškėjo, kad kampinių greičių ir įtampų reikšmių stabilizavimas vyksta pagal silpnai išreikštą aperiodinį procesą. Nustatomo ir faktinio variklio posūkio kampų skirtumas, esant pastoviam kampiniam pagreičiui, didėja tiesiškai, o kai kampinio greičio reikšmė stabilizuojasi, skirtumas pradeda aperiodiškai mažėti asimptotiškai artėjant į nulį.

Pasipriešinimo momentų, veikiančių elektros variklius, priklausomybės nuo laiko grafikas, paleidžiant mašiną, rodo, kad greičiui didėjant, didėja ir momentai. Kadangi šiame modelyje elektros pavara pateikta apibendrintos formos, tai pakeitus ją elektros pavara, atitinkančią realiąją spaudos sekcijos elektros pavara, kai-kurie parametrai ir dinaminės charakteristikos gali pasikeisti.

Remiantis sistemos apibendrintųjų koordinačių amplitudinėmis-dažninėmis charakteristikomis, taip pat gautomis keičiant spaudos formą apibūdinančius koeficientus $c_{1,2}, c_{1,3}, r_{1,2}, r_{1,3}$, prieinama prie išvados, kad mašinos darbo greitis ir konstrukcija yra parinkti taip, kad savieji dažniai būtų labai silpnai išreikšti ir nepatektų į vadinamąjį darbo greičių diapazoną ir pavojingų dažnių diapazoną (iki 600 rad/s). Pagal amplitudines-dažnines charakteristikas buvo nustatyta, kad iki 600 rad/s (100 Hz) zonoje apibendrintosios

koordinatės $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ neturi akivaizdžiai pastebimų savųjų dažnių. Modelio darbo kampinių dažnių (greičių) diapazonas yra nuo 3 rad/s iki 60 rad/s.

Spaudos formų kokybės (tinkamumo spaudai) vienas iš pagrindinių kriterijų yra jos kietumas, todėl atlikus kelis modeliavimus, kuriuose buvo keičiami spaudos formos parametrai, kurie gali apibūdinti kietumą, buvo gauti įdomūs rezultatai, kurie parodo, kad ypač forminio cilindro virpesių amplitudė ir fazė priklauso nuo fleksografinės spaudos formos parametro (ypač kietumo). 6.20 paveiksle pavaizduotame grafike matyti, kad didinant formos standumo ir mažinant formos pasipriešinimo koeficientus, virpesių amplitudė mažų dažnių zonoje sumažėja, bet didesnių dažnių zonoje (11-60 rad/s) padidėja, lyginant su virpesių amplitude, kai spaudos forma dar nesukietėjo.

Forminio cilindro virpesių fazė irgi pasikeičia, kai spaudos forma sukietėja, tai ypač gerai pastebima darbo greičių diapazone (6.21 pav.). Didėjant spaudos formos kietumui, didėja ir virpesių fazė. Šitas būdas leidžia pagal sukimo virpesių parametrus nustatyti spaudos formos tinkamumą.

Modeliuojant sistemą su skirtingų reikšmių krumpliaračių ciklinių harmoninių paklaidų amplitudžių dydžiais, nustatyta, kad paklaida, priklausanti nuo detalių gamybos tikslumo ir eksploatacijos ypatumų, turi įtakos pasipriešinimo momentų ir variklių srovių dydžiams. Didėjant paklaidai, didėja ir anksčiau minėtų dinaminių charakteristikų (variklių srovių ir pasipriešinimo momentų) dydžių virpesių amplitudės. Esant nulinės reikšmės paklaidai pasipriešinimo momentų (6.26 pav.) ir variklių srovių dydžių (6.27 pav.) virpesių amplitudė sumažėja iki nulio, todėl darytina išvada, kad naudojant dabartinę aukšto tikslumo mašinos elementų gamybos įrangą, kuri leidžia gauti kelių dešimtųjų mikrometro tikslumą, galima ženkliai sumažinti neigiamas pasekmes, sukiamas detalių gamybos paklaidų.

Lyginant apibendrintųjų koordinačių ADC, gautas atjungus elektros pavaras, su ADC, gautomis neatjungiant elektros pavarų, nustatyta, kad elektros pavaros leidžia iki 30% sumažinti sukimo virpesių amplitudes ir iki 20% sumažinti sukimo virpesių fazes.

Keičiant guolių pasipriešinimo koeficientus kartu su spausdinimo greičiais, buvo gautos pasipriešinimo momentų ir variklių srovių įvairios reikšmės. Kurias apibendrinant, galima pasakyti, kad esant mažiems spaudos greičiams, pasipriešinimo koeficientų didinimas nestipriai veikia pasipriešinimo momentų reikšmes. Spaudos greičiui ir guolių pasipriešinimo koeficientams didėjant didėjant, pastebimai padidėja pasipriešinimo momentai. Momentai gali padidėti iki 27% esant tam pačiam spaudos greičiui, padidinus pasipriešinimo koeficientus 70%.

7.2. Tolesni tyrimai ir rekomendacijos

Šiame darbe yra sumodeliuota fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spausdinimo sekcija, tačiau modeliavimui supaprastinti buvo laikomasi tam tikrų prielaidų. Mažinant prielaidų kiekį atsiranda tolesnių tyrimų galimybių. Tolesniems tyrimams atlikti, šitą darbą galima naudoti kaip pagrindą. Tolesniuose tyrimuose gali būti įvertinti šie veiksniai:

1. Spaudos forma nėra ištisinė. Tai reiškia, kad spaudos formos standumo ir pasipriešinimo koeficientai keisis cikliška priklausomai nuo forminio cilindro posūkio kampo. Kadangi šitie koeficientai priklauso nuo spaudos elementų bendro ploto, tai rekomenduojama duomenis šiems koeficientams apskaičiuoti paimti iš dizainerių arba iš spaudos formų gamybos skyriaus.

Taip pat realiai dirbant reikia įvertinti ir spaudos elementų dilimą. Kadangi fotopolimerinių spaudos formų spaudos elementai yra nupjauto kūgio ar nupjautos piramidės formos, tai jiems truputį nudilus, jų spausdinimo paviršių plotas padidėja, tai reiškia, kad pasikeis standumo ir pasipriešinimo koeficientai, bet reikia kartu įvertinti ir formos senėjimą.

2. Užspausdinamas substratas. Nors užspausdinama juosta labai didelės įtakos mašinoje kylantiems virpesiams nedaro, tačiau vertinant juostą, galima pamatyti ir jos įtaką sukimo virpesiams. Kadangi juosta gali būti įvairių pločių, storių ir tipų (popierius, folija, plėvelė), tai priklausomai nuo šių juostos parametrų keisis ir virpesių parametrai. Atlikus modeliavimą su įvairiais substratą apibūdinančiais parametrais, po to pagal atliktų eksperimentų gautus sukimo virpesių parametrus galima nustatyti tikruosius tam tikrų substratų parametrus. Įvertinant užspausdinamą substratą dėl substrato parametrų rekomenduojama kreiptis į substrato gamintojus ar gamintojų atstovus.

3. Elektros pavaros. Modeliuojant prielaidose buvo priimta, kad bus naudojama supaprastinta elektros pvara su nuolatinės srovės varikliais. Tačiau tikrovėje mašinos sekcijoje yra sinchroniniai servovarikliai, turintys atitinkamas servopavaras. Tai yra netiesinės sistemos, todėl jų modeliavimas yra pakankamai sudėtingas. Tolesniuose tyrimuose galima modeliuoti realias elektros pavaras tikslesniems išėjimo parametrams gauti, tam tikslui rekomenduojama kreiptis į elektros pavarų specialistus arba šios įrangos gamintojus.

4. Pagalbiniai velenėliai ir krumpliaračiai. Mašinos sekcijos mechaninėje dalyje galima vertinti visus velenus, įskaitant ir juostą transportuojančius velenėlius, ir krumpliaračių kontaktinį standumą. Šis įvertinimas leistų pakankamai tiksliai aprašyti mašinos vienos sekcijos veikimą ir išsiaiškinti juostą transportuojančių velenėlių poveikį juostai ir krumpliaračių kontaktinio standumo dydžio poveikį sukimo virpesių parametrams.

5. Eksperimentiniai tyrimai. Atlikus teorinius tyrimus, galima visus rezultatus patikrinti eksperimentiškai, tai yra prijungti prie mašinos jutiklius ir pamatuoti realiai egzistuojančių virpesių

amplitudes. Remiantis matavimo rezultatais galima būtų patobulinti teorinių skaičiavimų metodikas ir įvertinti kitus veiksnius, turinčių įtakos sukimo virpesių parametrų dydžiams, pavyzdžiui užspausdinant plonas plėveles, užteptų dažų sluoksnis gali būti 4-5 kartus plonesnis už patį substratą, o tai sukelia substrato parametrų pasikeitimą. Arba vertinama tai, kad krumpliaratinės perdavos yra atviros, ir ant jų gali būti įvairių kietų mažų dalelių, turinčių įtakos sukimo virpesių parametams.

6. Netiesiškumai sistemoje. Modeliuojant sistema buvo priimta, kad ji yra tiesinė, tačiau realios dinaminės sistemos yra netiesinės. Netiesiškumai elektros dalyje jau buvo paminėti anksčiau (3 punkte), tačiau netiesiškumų yra ir mechaninėje pavaroje, kurios irgi galima būtų vertinti.

IŠVADOS

1. Sukurtas linijinės komponuotės fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spausdinimo sekcijos pavaros veikiantis matematinis modelis struktūrinės automatinio valdymo sistemos pavidale, kuris leidžia gauti rezultatus priklausomai nuo įvestų duomenų, apibūdinančių spausdinimo sekcijos parametrus.
2. Modeliuojant sistemos reakciją į vienetinį laiptinį žadinimą, gautas aperiodinis pereinamasis procesas, patvirtinantis, kad sudarytas modelis yra adekvatus ir sistema yra stabili.
3. Modeliuojant spaudos sekcijos paleidimą ir greitėjimą iki tam tikro kampinio sukimosi greičio reikšmės, buvo gautos spaudos sekcijos veikimo, esant šitam pereinamajam procesui, charakteristikos, pagal kurių kitimo pobūdį galima pasakyti, kad:
 - 3.1. nagrinėjamosios sistemos slopinimas yra pakankamai didelis;
 - 3.2. gauti elektros variklių srovių ir įtampų priklausomybių nuo laiko grafikai;
 - 3.3. parodyta, kaip kinta nustatomo ir faktinio variklio rotorius posūkio kampų skirtumas: esant pastoviam kampiniam pagreičiui, lygiam $3,0 \text{ rad/s}^2$, jis tiesiškai didėja, o pagreičiui sumažėjus iki nulio, kampų skirtumas irgi asimptotiškai artėja į nulį.
4. Iš sistemos amplitudinių-dažninių charakteristikų buvo nustatyta, kad nagrinėjamoji sistema mažų dažnių zonoje dėl didelių standumo ir pasipriešinimo koeficientų reikšmių neturi savųjų dažnių. Todėl galima teigti, kad sekcijos konstrukcija buvo sukurta ir darbo greičių diapazonas (pvz., spaudos cilindrai $3 \div 60 \text{ rad/s}$) buvo parinkti taip, kad savieji dažniai nepatektų į darbo greičių diapazoną rezonansų pasekmėms išvengti.
5. Modeliuojant spausdinimo formos senėjimą (keičiant spausdinimo formos būklę apibūdinančius standumo ir pasipriešinimo koeficientus) nustatyta, kad pagal forminio cilindro sukimo virpesių amplitudę ir fazę (kurias galima gauti ir eksperimentiškai), galima įvertinti fleksografinės spaudos formos tinkamumą spaudai.
6. Nustatyta, kad ciklinių harmoninių krumpliaračių paklaidų amplitudžių dydis turi įtakos pasipriešinimo momentų ir variklių srovių dydžių virpesių amplitudėms. Didėjant krumpliaračių paklaidai, apibūdinančiai gamybos tikslumą, didėja pasipriešinimo momentų ir variklių srovių dydžių virpesių amplitudės.
7. Gautos pasipriešinimo momentų ir elektros variklių srovių priklausomybės nuo guolių pasipriešinimo koeficientų reikšmių ir mašinos spausdinimo greičių. Modeliuojant nustatyta, kad didinant guolių pasipriešinimo koeficientus ir spausdinimo greičius, padidėja pasipriešinimo momentų ir variklių elektros srovių reikšmės.

8. Pagal tam tikrų apibendrintųjų koordinačių amplitudines-dažnines ir amplitudines-fazines charakteristikas, gautas su prijungtomis elektros pavaromis ir be elektros pavarų, nustatyta, kad elektros pavara leidžia iki 30% sumažinti mechaninių sukimo virpesių amplitudę ir iki 20% mechaninių sukimo virpesių fazes.
9. Kadangi modelis yra sukurtas su tam tikromis prielaidomis, tai darbe numatyti veiksniai, kurie gali būti įvertinti tolesniuose tyrimuose.

LITERATŪRA:

1. Omet Varyflex. *Omet revolution in flexo print on flexible packaging: labels, film, aluminum, paper, folding carton...* 2005. 16 p.
2. Varyflex. *The ideal solution to print plastic film and labels.* 2006-04-27. Interneto prieiga <http://www.omet.it>
3. Gallus. *Servo Drives in Labelprinting Machines.* 2004, 12 p.
4. Control Techniques. *CTD Brushless Servo Motors.*[interaktyvus] 2006-04-27. Interneto prieiga <http://www.controltechniques.com>
5. KIPPHAN H. *Handbook of printmedia. Technology and production methods.* Berlin: Springer, 2001. 1250 p. ISBN 3-540-67326-1.
6. AUGUSTAITIS V.K and others. *Model of a multisectional web offset printing press drive section, controlled by electronic shaft.* International conference of mechatronic systems and materials 2005. Konferencijos, įvykusios 2005 m. spalio 20-23 dienomis.
7. AUGUSTAITIS V.K. *Mechaninių virpesių pagrindai.* Vilnius: Žiburio Leidykla, 2000. 320 p. ISBN 9986-524-27-X.
8. MASIOKAS S. *Elektrotechnika: vadovėlis aukštųjų mokyklų studentams.* 2-asis leidinys, pataisytas ir papildytas. Kaunas: Candela, 1994. 432 p. ISBN 9986-400-00-7.
9. GELEŽEVIČIUS V. ir kt. *Elektros pavarų valdymo sistemos.* Vilnius: Mokslas, 1990. 360 p.
10. LYSHEVSKI S.E. *Electromechanical systems, electric machines and applied mechatronics.* London: CRC Press, 2000. ISBN 0-8493-2275-8.
11. TP+ *High precision performance. Low-backlash planetary gearheads. TP+ and TP gearheads.* [interaktyvus] 2006-04-27. Interneto prieiga <http://www.alphagetriebe.com>
12. Машины серии VARYFLEX. 2006-04-27. Interneto prieiga www.printsys.com.ua
13. ЗИРНЗАК Л. Ф. и др. *Листовые офсетные печатные машины: печатные системы фирмы Heidelberg.* Москва: МГУП, 1998. 136 с. ISBN 5-8122-0032-7.
14. ОСИН И. Л. и др. *Синхронные микродвигатели с постоянными магнитами.* Москва: Энергия, 1976. 232 с.
15. ЛАЗАРЕВ Ю. *Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс.* Санкт Петербург: Питер, 2005. 512 с. ISBN 5-469-00600-X.
16. БЕЙЗЕЛЬМАН Р.Д. *Подшипники качения. Справочник.* Москва: Машиностроение, 1967. 564 с.
17. МИХАЙЛОВ О. П. *Динамика электромеханического привода металлорежущих станков.* Москва: Машиностроение, 1989. 224 с.
18. РИВИН И. Е. *Динамика привода станков.* Москва: Машиностроение, 1966.

STRAIPSNIS

Elektroniniu vėlenu valdomos fleksografinės spaudos mašinos spausdinimo sekcijos pavaros modelis

Černych K., Augustaitis V.K.

Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas

Anotacija

Straipsnyje nagrinėjamas linijinės sudėties fleksografinės spaudos mašinos sekcijos modelis. Modeliuojama firmos „Omet“ spaudos mašinos „Varyflex 420 FP“ sekcija. Pateiktas trumpas šios sekcijos aprašymas, šio tyrimo tikslas, būtinumas, padarytos prielaidos. Trumpai aprašyti modelio sudarymo etapai, bandymų eiga ir aptarti rezultatai. Modelio pagrindinė paskirtis yra virpamųjų procesų mechaninėje dalyje tyrimas, todėl procesai, vykstantys sekcijos elektros pavaroje, nedetalizuojami. Išnagrinėjus šį modelį, pateikiamos išvados ir siūlymai.

Reikšminiai žodžiai: dinamika, fleksografinės spaudos mašina, modelis, pavara, struktūrinė schema, virpesiai.

Ivadas

Pastaruoju metu sukuriami vis daugiau spaudos mašinų, valdomų elektroniniu vėlenu [1, 3, 6]. Elektroninio vėleno koncepcija įgyvendinama taikant spaudos mašinose servopavaras. Iš jų pagrindinių privalumų galima išskirti didelį gamybos lankstumą, taupesnę produkcijos gamybą, padidėjusį tikslumą ir atspaudo ilgio bežingsnio keitimo galimybę [11].

Fleksografinė spauda pastaruoju metu tampa vis populiareesnė, bet apie fleksografinės spaudos mašinų dinamikos tyrimus yra žinoma nedaug.

Problemos ištyrimo lygis

Kadangi dabar didžiausią spaudos rinkos dalį užima plokščioji ofsetinė spauda, tai daugiausiai dėmesio yra skiriama šios spaudos rūšies mašinoms tirti [5, 6]. Nors fleksografinės spaudos mašinos savo konstrukcija yra panašios į ofsetines, bet jos turi ir savo ypatumų, pvz., nagrinėjant spaudos sekciją galima neatskiriamai nagrinėti dažų ir spaudos aparatus. Taip pat, dėl to, kad fleksografija yra iškiliosios spaudos rūšis, atsiranda tam tikrų niuansų, ypač tiriant spaudos aparatą. Tyrimo metodika, pateikta [6, 7] yra universali, todėl šiuo atveju galima ja pasinaudoti.

Darbo tikslas ir būtinumas

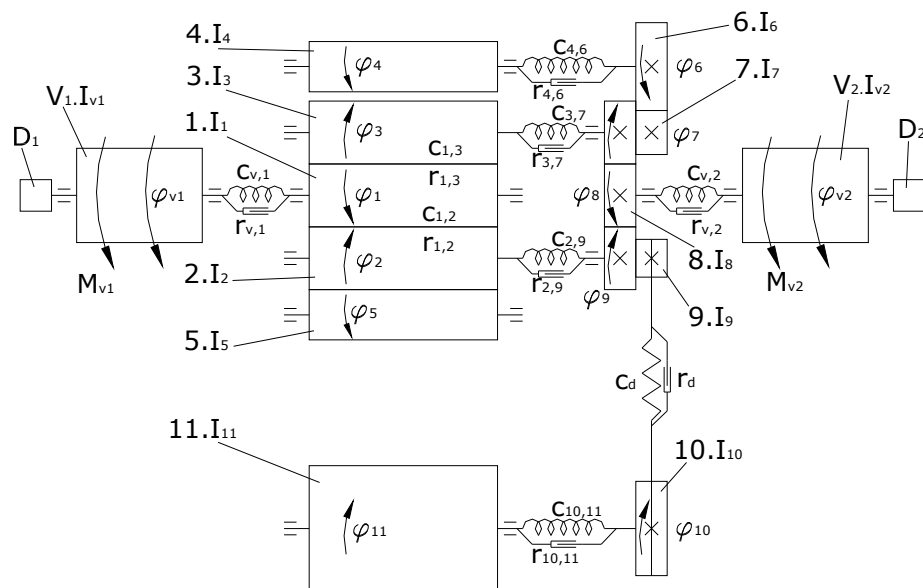
Šio darbo tikslas yra sukurti fleksografinės spaudos mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ [1, 11] vietinės pavaros (servopavaros) kaip autonominės mechatroninės sistemos matematinį modelį sukimo virpesiams tirti, naudojant analitinį kompiuteriniais skaičiavimais paremtą struktūrinės simuliacijos metodą. Taip pat nustatyti nagrinėjamų virpesių parametrus.

Darbo būtinumą nusako tokie veiksniai:

- naujos mašinos (taip pat ir Lietuvos Respublikos rinkoje) tyrimas;
- noras atkreipti dėmesį į fleksografinės spaudos techniką ir jos ypatumus;
- kadangi poligrafinės įrangos gamintojų tyrimai dažniausiai neviešinami, tai šis tyrimas yra siekis gauti daugiau informacijos dominančiais klausimais.

Modeliuojamas objektas

Nors tyrimo objektas yra visa minėtos mašinos spausdinimo sekcija, tačiau toje sekcijoje daugiausiai dėmesio yra skiriama dažų bei spaudos aparatams ir aušinimo cilindrai. Sekcijos pavaros mechaninės dalies dinaminis modelis sukimo virpesiams tirti pavaizduotas 1 pav.



I – inercijos momentai; φ – pasisukimo kampai; r – pasipriešinimo koeficientai; c – standumo koeficientai; M – sukimo momentai; D – grįžtamojo ryšio įrenginys; V_1 – elektros variklis forminiam cilindrai sukui; V_2 – elektros variklis kitiems cilindrams sukui; 1 – forminis cilindras; 2 – spaudos cilindras; 3 – aniloksinis velenas; 4 – duktorinis velenas; 5 – juostos prispaudimo velenas; 6 – duktorinio veleno krumpliaratis; 7 – krumpliaraičių blokas ant aniloksinio veleno ašies; 8 – krumpliaratis, perduodantis sukimo judesį visiems cilindrams ir velenams, išskyrus forminį; 9 – krumpliaraičio ir krumplinio diržo perdavos skriemulio blokas; 10 – krumplinio diržo perdavos skriemulys; 11 – juostos aušinimo cilindras.

1 pav. Spausdinimo sekcijos pavaros mechaninės dalies dinaminis modelis sukimo virpesiams tirti

PASTABA: 1 pav. nepavaizduoti pasipriešinimo koeficientai guoliuose (g) ir visus dinaminio modelio elementus veikiantys pasipriešinimo momentai (M), bet sudarant sistemą aprašančias diferencialines lygtis, pasipriešinimo koeficientai ir momentai yra įvertinami.

Prielaidos, padarytos modeliuojant spaudos sekciją:

- atsižvelgiant į [6] užspausdinamo substrato juosta nevertinama, nes vertinant juostą tyrimas tampa sudėtingesnis, rezultatų tikslumas pagerėja maždaug 5%;
- sistema laikoma teisine su pastoviais parametrais;
- cilindrai 2 ir 5 (1 pav.) sukasi be praslydimo;
- modelio elektros dalis yra pateikta supaprastintos formos, be to atsižvelgiant į [3, 4, 8, 12], sinchroniniai servovarikliai ir jų elektros pavaros yra pakeistos nuolatinės srovės elektros varikliais su atitinkamomis elektros pavaromis;
- krumpliaračių kontaktinis standumas nevertinamas;
- atsižvelgiant į [6] pasipriešinimo koeficientai variklių guoliuose yra prilyginti nuliui, nes praktiškai jų įtaka beveik nepastebima;
- spaudos forma yra ištisinė.

Mechaninio posistemio matematinis modelis

Matematinio modelio sudarymas gali būti suskaidytas į kelis etapus:

1. Pagal [7] sudaromas dinaminis modelis (1 pav.), susidedantis iš bėmasių elastinių ir slopinimo elementų ir kietų kūnų. Sistemos padėties apibrėžiamos apibendrintosiomis koordinatėmis $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_8, \varphi_{10}, \varphi_{11}$, kitos koordinatės išreiškiamos per φ_8 koordinatę ir perdavimo skaičius $i_{m,n}$.
2. Į krumpliaračių kampus apibrėžiančių apibendrintųjų koordinačių išraiškas įvedami nariai, įvertinantys krumpliaračių paklaidas: $\alpha_{6,8}, \alpha_{8,7}, \alpha_{8,9}$.
3. Užrašomos sistemos kinetinės bei potencinės energijos ir disipacijos funkcijos išraiškos.
4. Sudaromos apkrovos momentų M_{ai} , veikiančių elektros variklius, išraiškos:

$$M_{ai} = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_{vi}} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_{vi}}, \quad (1)$$

čia: Φ – disipacinė funkcija; Π – potencinė energija; $\dot{\varphi}_{vi}$ - i-tojo variklio rotoriaus apibendrintasis sukimosi greitis; φ_{vi} - i-tojo variklio rotoriaus apibendrintasis pasisukimo kampas.

5. Kiekvienai apibendrintajai koordinatei išreikšti sudaroma Lagranžo antrojo tipo diferencialinė lygtis [6, 7]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} = M_i(t), \quad (2)$$

čia: T – kinetinė energija; Φ – disipacinė funkcija; Π – potencinė energija; $M_i(t)$ – išorinis apibendrintasis momentas; φ_i – i-toji apibendrintoji koordinatė; $\dot{\varphi}_i$ – i-tasis apibendrintas greitis.

6. Pagal gautą Lagranžo lygčių sistemą sudaromas mechaninės dalies struktūrinis modelis (2 pav.), kuriame yra šie žymėjimai:

$p = d/dt$ – diferencijavimo operatorius;

$$A_1 = I_1 p^2 + (r_{v,1} + r_{1,2} + g_1 + r_{1,3})p + c_{v,1} + c_{1,2} + c_{1,3}; B_1 = r_{v,1}p + c_{v,1}; C_1 = r_{1,2}p + c_{1,2}; D_1 = r_{1,3}p + c_{1,2}.$$

$$A_2 = (I_2 + i_{2,5}^2 I_5) p^2 + (r_{2,9} + r_{1,2} + g_2 + g_5 i_{2,5})p + c_{2,9} + c_{1,2}; B_2 = r_{2,9} i_{8,9} p + c_{2,9} i_{8,9};$$

$$C_2 = r_{1,2}p + c_{1,2}; D_2 = r_{2,9} \alpha_{8,9} + r_{2,9} \dot{\alpha}_{8,9}.$$

$$A_3 = I_3 p^2 + (r_{3,7} + g_3 + r_{1,3})p + c_{3,7} + c_{1,3}; B_3 = r_{3,7} i_{8,7} p + c_{3,7} i_{8,7}; C_3 = r_{1,3}p + c_{1,3}; D_3 = c_{3,7} \alpha_{8,7} + r_{3,7} \dot{\alpha}_{8,7}.$$

$$A_4 = I_4 p^2 + (r_{4,6} + g_4)p + c_{4,6}; B_4 = r_{4,6} i_{6,8} p + c_{4,6} i_{6,8}; C_4 = c_{4,6} \alpha_{6,8} + r_{4,6} \dot{\alpha}_{6,8}.$$

$$A_5 = (I_8 + I_6 i_{6,8}^2 + I_7 i_{8,7}^2 + I_9 i_{8,9}^2) p^2 + (g_8 + r_{3,7} i_{8,7}^2 + r_{2,9} i_{8,9}^2 + r_d i_{8,9}^2 + r_{v,2} + g_9 i_{8,9}^2 + g_7 i_{8,7}^2 + g_6 i_{6,8}^2 + r_{4,6} i_{6,8}^2) p + c_{v,2} + c_{4,6} i_{6,8}^2 + c_{3,7} i_{8,7}^2 + c_{2,9} i_{8,9}^2 + c_d i_{8,9}^2;$$

$$B_5 = r_{v,2}p + c_{v,2}; C_5 = r_d i_{8,9} i_{10,9} p + c_d i_{8,9} i_{10,9}; D_5 = r_{3,7} i_{8,7} p + c_{3,7} i_{8,7};$$

$$E_5 = r_{4,6} i_{6,8} p + c_{4,6} i_{6,8}; F_5 = r_{2,9} i_{8,9} p + c_{2,9} i_{8,9};$$

$$G_5 = I_6 i_{6,8} p \dot{\alpha}_{6,8} + I_7 i_{8,7} p \dot{\alpha}_{8,7} + I_9 i_{8,9} p \dot{\alpha}_{8,9} + r_{4,6} i_{6,8} \dot{\alpha}_{6,8} + r_{3,7} i_{8,7} \dot{\alpha}_{8,7} + r_{2,9} i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9} + r_d i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9} + g_6 i_{6,8} \dot{\alpha}_{6,8} + g_7 i_{8,7} \dot{\alpha}_{8,7} + g_9 i_{8,9} \dot{\alpha}_{8,9} + c_{4,6} i_{6,8} \alpha_{6,8} + c_{3,7} i_{8,7} \alpha_{8,7} + c_{2,9} i_{8,9} \alpha_{8,9} + c_d i_{8,9} \alpha_{8,9};$$

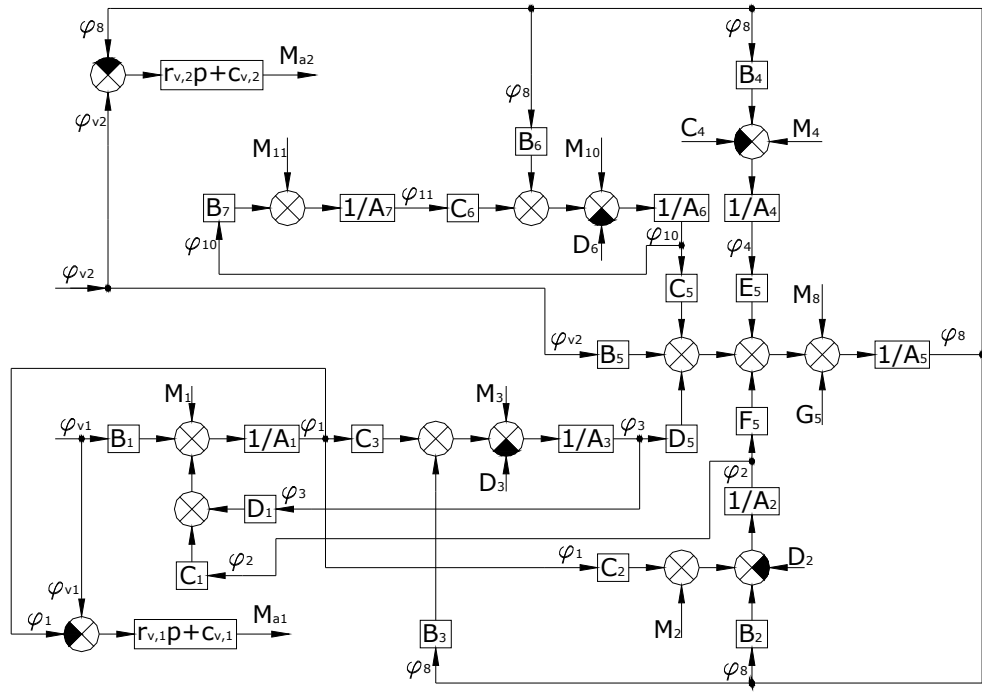
$$A_6 = I_{10} p^2 + (r_d i_{10,9}^2 + r_{10,11} + g_{10})p + c_d i_{10,9}^2 + c_{10,11}; B_6 = r_d i_{10,9} i_{8,9} p + c_d i_{10,9} i_{8,9};$$

$$C_6 = r_{10,11}p + c_{10,11}; D_6 = c_d i_{10,9} \alpha_{8,9} + r_d i_{10,9} \dot{\alpha}_{8,9};$$

$$A_7 = I_{11} p^2 + (r_{10,11} + g_{11})p + c_{10,11}; B_7 = r_{10,11}p + c_{10,11}.$$

Elektros pavaros matematinis modelis

Kaip buvo minėta anksčiau, modeliuojamojo objekto elektros pavara nedetalizuojama. Sudarant elektros pavaros matematinį modelį, laikoma, kad įėjimo signalai yra: $U_{\varphi i}$ – pavaros koordinatę aprašantis signalas ir M_{ai} – mechaninės dalies pasipriešinimo momentas. Išėjimo signalas – φ_{vi} – variklio posūkio kampas.



2 pav. Mechaninio posistemo struktūrinis modelis

Atsižvelgiant į [6], kiekvieno variklio elektros pavaroje yra greičio reguliatorius (PID-regulatorius), srovės kontūras (turintis srovės reguliatorių, galios stiprintuvą, elektros variklio inkaro charakteristiką ir grįžtamąjį ryšį pagal srovę) ir elektros variklio perdavimo funkciją (įvertinančią rotoriaus inertiškumą). Bendruoju atveju elektros pavarą galima aprašyti naudojant šias lygtis:

$$M_v(p) = H_\omega(p) \frac{k_m / k_i}{2T_e^2 p^2 + 2T_e p + 1} (U_\varphi(p) - k_\omega \omega_r(p)) \quad (3)$$

$$\omega_r(p) = \frac{1}{I_v p} [M_v(p) - M_a(p)] \quad (4)$$

čia: $M_v(p)$ - variklio sukuriamas sukimo momentas; k_m - variklio momento koeficientas; k_i , k_ω - srovės ir greičio jutiklių perdavimo koeficientai; M_a - rotorius veikiantis pasipriešinimo momentas; U_φ - pavaros tiesioginis valdymo signalas; ω_r - kampinis sukimosi dažnis; T_e - galios stiprintuvo laiko konstanta; $H_\omega(p)$ - variklio greičio kontrolės kontūro PID reguliatorius; I_v - variklio rotoriaus inercijos momentas.

Pavaros valdymas

Valdomos koordinatės φ_i turi atitikti signalą U_{pi} su mažiausia galima paklaida. Šiam tikslui sistemoje yra grįžtamasis ryšys. Dėl didelių standumo koeficientų reikšmių jutikliai, matuojantys posūkio kampus, yra tvirtinami ant elektros variklių rotorius. Signalai, siunčiami iš šių jutiklių, yra transformuojami į elektros signalus $U_{gi} = k_\varphi \varphi_{vi}$ (k_φ - perdavimo koeficientas). Tada

Toliau sudaromas korekcijos signalas $U_{\varphi} = H_{\varphi}(p)\varepsilon$, veikiantis elektros pavarą.

[illegible]

Modelio duomenys ir tyrimų eiga

1. Inercijos momentai ($kg \cdot m^2$): $I_{v1} = 0,00143$; $I_{v2} = 0,0028$; $I_1 = 0,015$; $I_2 = 0,040$; $I_3 = 0,043$;
 $I_4 = 0,00778$; $I_5 = 0,01526$; $I_6 = 0,0032$; $I_7 = 0,00268$; $I_8 = 0,00207$; $I_9 = 0,00235$; $I_{10} = 0,01106$;
 $I_{11} = 1,695$.

2. Standumo koeficientai ($\times 10^4 Nm/rad$): $c_{v,1} = 2,35$; $c_{v,2} = 4,39$; $c_{4,6} = 56,4$; $c_{3,7} = 327$; $c_{2,9} = 131,6$;
 $c_{10,11} = 458$; $c_d = 1$; $c_{1,2} = c_{1,3} = 0,5$.

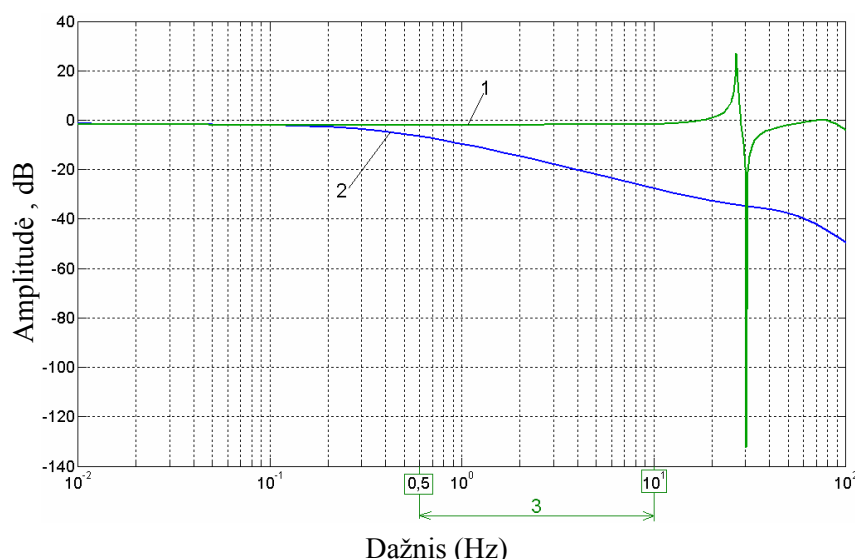
3. Pasipriešinimo koeficientai ($N \cdot m \cdot s / rad$): $r_{v,1} = 25$; $r_{v,2} = 45$; $r_{4,6} = 500$; $r_{3,7} = 3000$; $r_{2,9} = 1300$; $r_{10,11} = 4500$; $r_d = 50$; $r_{1,2} = r_{1,3} = 500$, $g_1 = g_2 = g_3 = g_4 = g_5 = g_{11} = 0,04$; $g_6 = g_7 = g_9 = 0$; $g_8 = 0,02$.

4. Pasipriešinimo momentai (Nm): $M_1 = -10$; $M_2 = -5$; $M_3 = -7,5$; $M_4 = -0,01$; $M_8 = -0,0745$; $M_{11} = -0,3$, kiti pasipriešinimo momentai nevertinami.

5. Elektros dalies parametrų reikšmės: $T_{e1} = T_{e2} = 0,01$; $k_{m1} = k_{m2} = 1,274 \text{ Nm/A}$; $k_{i1} = k_{i2} = 0,05 \text{ V/A}$; $k_{w1} = k_{w2} = 0,032 \text{ V} \cdot \text{s} / \text{rad}$; $H_{w1} = H_{w2} = 100$; $H_{\varphi 1} = H_{\varphi 2} = 0,5 / p + 0,06p + 10$.

6. Perdavimo skaičiai: $i_{10,9} = 2,5$; $i_{6,7} = 0,5$; $i_{2,5} = 1,13$, $i_{8,7} = i_{8,9} = 1$.

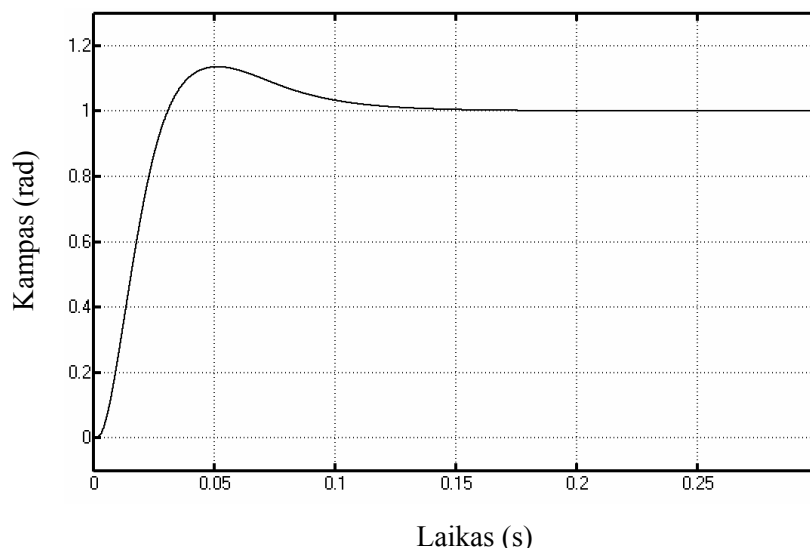
Tyrimo pradžioje, prilyginus visus mechaninės dalies pasipriešinimo koeficientus nuliui, buvo gauta amplitudinė-dažninė charakteristika (toliau ADC), kurios rezonansiniai dažniai yra lygūs: 26,8 ir 63,9 Hz (4 pav.) Koordinatę φ_3 ADC, įvertinant sistemos pasipriešinimą, atitinka kreivė 2 (4 pav.).



1 – ADC gauta prilyginus nuliui visus pasipriešinimo koeficientus; 2 – ADC gauta neprilyginus nuliui pasipriešinimo koeficientų; 3 – dažnių intervalas, kuris vaizduoja mašinos darbo zoną.

4 pav. Koordinatės φ_3 amplitudinė-dažninė charakteristika

Rezonanso nebuvimą mažų dažnių zonoje (kreivė 2) galima paaiškinti didelių reikšmių slopinimo koeficientų įtaka. 4 pav. pateiktas grafikas vaizduoja slopinimo įtaka sistemos savajam dažniui. Esant 26,8 Hz dažniui amplitudė neina į begalybę (kreivė 1), nes yra vertinamos sistemos elektros pavaros. Sistemos stabilumui pavaizduoti 5 pav. pateikta sistemos reakcija (kampų φ_1 pokytis) į vienetinį laiptinį žadinimą (kurio pradžia: 0 s).



5 pav. Sistemos reakcija (kampas φ_l pokytis) į vienetinį laiptinį žadinimą

Su šiuo modeliu galima atlikti daug bandymų, kuriose galima keisti visus žinomus modelio parametrus, stebėti modelio reakciją į tam tikro žadinimo pobūdį ir kt.

Rezultatų apibendrinimas

Ištyrus fleksografinės mašinos „Omet Varyflex 420 FP“ spaudos sekcijos modelį su tam tikromis prielaidomis, paaiškėjo, kad dėl didelių pasipriešinimo ir standumo koeficientų reikšmių jo savojo dažnio iš pereinamojo proceso nustatyti negalima. Darytina išvada, kad dėl teisingai parinkto darbo greičių intervalo (0,5-10 Hz) ir tinkamai suprojektuotos konstrukcijos, pavyko išvengti neigiamų poveikių, susijusių su rezonansu.

Išvados:

1. Sukurtas matematinis modelis pereinamiems procesams fleksografinės spaudos mašinos sekcijos vietinėje elektromechaninėje pavaroje stebėti.
2. Nustatyta nagrinėjamosios sistemos slopinimo įtaka kylantiems virpesiams.
3. Ištirtos sistemos dažninės ir laikinės charakteristikos; parodyta, kad pavaros darbo diapazone rezonansinių dažnių nėra.

Literatūra:

1. *Omet Varyflex. Omet revolution in flexo print on flexible packaging: labels, film, aluminum, paper, folding carton...* 2005. 16 p.
2. *Varyflex. The ideal solution to print plastic film and labels.* 2006-04-27. Interneto prieiga <http://www.omet.it>
3. *Gallus. Servo Drives in Labelprinting Machines.* 2004, 12 p.

4. *Control Techniques. CTD Brushless Servo Motors*. [interaktyvus] 2006-04-27. Interneto prieiga <http://www.controltechniques.com>
5. KIPPHAN H. *Handbook of printmedia. Technology and production methods*. Berlin: Springer, 2001. 1250 p. ISBN 3-540-67326-1.
6. AUGUSTAITIS V.K and others. *Model of a multisectional web offset printing press drive section, controlled by electronic shaft*. International conference of mechatronic systems and materials 2005. Konferencijos, įvykusios 2005 m. spalio 20-23 dienomis.
7. AUGUSTAITIS V.K. *Mechaninių virpesių pagrindai*. Vilnius: Žiburio Leidykla, 2000. 320 p. ISBN 9986-524-27-X.
8. MASIOKAS S. *Elektrotechnika: vadovėlis aukštųjų mokyklų studentams*. 2-asis leidinys, pataisytas ir papildytas. Kaunas: Candela, 1994. 432 p. ISBN 9986-400-00-7.
9. ЛАЗАРЕВ Ю. *Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс*. Санкт Петербург: Питер, 2005. 512 с. ISBN 5-469-00600-X.
10. РИВИН И. Е. *Динамика привода станков*. Москва: Машиностроение, 1966.
11. Машины серии VARYFLEX. 2006-04-27. Interneto prieiga www.printsys.com.ua
12. ЗИРНЗАК Л. Ф. и др. *Листовые офсетные печатные машины: печатные системы фирмы Heidelberg*. Москва: МГУП, 1998. 136 с. ISBN 5-8122-0032-7.

Abstract

The model of flexographic printing press, controlled by electronic shaft, unit drive

Černych K., Augustaitis V.K.

Vilnius Gediminas Technical University

The research object, which is described in the article, is the drive one unit of “Omet Varyflex 420 FP” flexographic printing press. It was chosen because too little information can be found about flexographic printing press dynamics. Unit drive’s mathematical model was created to investigate transitional processes and torsion vibrations in the mechanical part of the research object, that is why the processes in electric drive are not detailed. As the model was created with some assumptions, it can be used as a basis for further research.

Keywords: drive, dynamics, flexographic printing press, model, structural diagram, vibration.

PRIEDAI:

Čia pateiktas kompaktinis diskas su šiais failais:

1. „Diplominis darbas“ – elektroninė šio aiškinamojo rašto versija.
2. „Antr“ – antraštinis lapas, užduotis, anotacija ir turinys.
3. „ov420fpmot“ – „MATLAB Simulink“ terpėje sudarytas fleksografinės spaudos mašinos sekcijos pavaros struktūrinis modelis.
4. „ov420fpmotdat“ – sudaryto struktūrinio modelio duomenų failas.