

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Arūnas Varkalis

ELEKTROMECHANINĖS PLOKŠČIŲJŲ PAVIRŠIŲ
SKENAVIMO SISTEMOS VALDYMO ALGORITMŲ
SINTEZĖ IR TYRIMAS

Magistro darbas

Vadovas

prof. habil. dr. V.A. Geleževičius

TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

doc. dr. T. Šimkevičius

2006 06

ELEKTROMECHANINĖS PLOKŠČIŪJŲ PAVIRŠIŲ
SKENAVIMO SISTEMOS VALDYMO ALGORITMŲ
SINTEZĖ IR TYRIMAS

Magistro darbas

Vadovas

prof. habil. dr. V.A. Geleževičius

2006 06

Atliko

EM-4 gr. stud.

A. Varkalis

2006 06

Recenzentas

dokt. N. Šulčius

2006 06

ŠIAULIAI, 2006

SUMMARY

Varkalis A. Investigation of the optimum control flat surface scanning systems: Master thesis of electrical

engineer/research advisor Prof. V. A. Geleževičius; Šiauliai University, Technological Faculty, Electrical Engineering Department. – Šiauliai, 2006.

The final work of master studies reviews optimum controll methods of flat surface scanning systems. The main purpose of this work was to investigate and analyse the optimum controll of two coordinate scanning system and find the way how to compensate the load influence to the step drive. The load compensation was made using the signal adaptive control.

Concluding part present inferences and results of this work.

TURINYS

Įžanga.....	5
1. Elektromechaninės skenavimo sistemos uždavinys ir praktinis jo taikymas.....	6

1.1. Plokščiųjų paviršių skenavimo sistemos apibūdinimas ir techninio realizavimo principų analize.....	6
1.2. ESEMS praktinio taikymo pavyzdžiai.....	7
1.3. Skenavimo proceso valdymo algoritmų analizė.....	9
1.3.1. Skenavimo sistemos valdymas minimizuojant energijos nuostolius.....	10
1.3.2. Skenavimo sistemos valdymas minimizuojant mechaninį poveikį sistemai	11
2. Plokščiųjų paviršių skenavimo sistemos valdymo algoritmų modeliai.....	13
2.1. Skenavimo sistemos valdymo modelio sudarymas minimizuojant pastūmos pavaros maksimalų momentą.....	13
2.2 Skenavimo sistemos valdymo modelio sudarymas, kai minimizuojami pastūmos pavaros energijos nuostoliai.....	18
3. Skenavimo sistemos minimizuojančios pastūmos pavaros energijos nuostolius tyrimas.....	21
3.1 Apkrovos įtaka pastūmos pavaros žingsnio tikslumui.....	21
3.2 Pastūmos žingsnio tiesinio valdymo diapazono nustatymas.....	25
4. Skenavimo sistemos minimizuojančios pastūmos pavaros maksimalų momentą tyrimas.....	27
4.1 Apkrovos įtaka pastūmos pavaros žingsnio tikslumui.....	27
4.2 Pastūmos žingsnio tiesinio valdymo diapazono nustatymas.....	30
4.3 Pastūmos pavarų energijos sąnaudų palyginimas esant tam pačiam pozicionavimo žingsniui	30
5. Ištirtųjų skenavimo sistemų palyginimas ir darbo rezultatų apibendrinimas.....	33
Literatūra.....	35

IŽANGA

Elektromechaninės skenavimo sistemos priklauso dvikoordinačių vykdymo sistemų grupei. Dvikoordinatėmis vykdymo sistemomis laikysime sistemas, skirtas objektams pagal dvi koordinates suderintai valdyti. Pagal pagrindinio valdymo uždavinio pobūdį dvikoordinates vykdymo sistemas galima suskirstyti į tam tikras, grupes, iš kurių svarbiausiomis galima laikyti

dvikoordinates sekimo sistemas, dvikoordinates pozicionavimo sistemas ir mano tiriamas dvimačius paviršius eilutėmis skenuojančias sistemas. Šios sistemos plačiai naudojamos šlifavimo ir drožimo staklių stalams valdyti, plokščiųjų paviršių kokybei ultragarsiniais, sūkurinių srovių, elektrostatinio lauko potencialo, bei pan. zondais tirti ir kitur. Nuo valdymo sistemos kokybės labai priklauso šių įrenginių efektyvumas, apibūdinamas valdymo tikslumu, greitaveika, energetiniu efektyvumu ir įrenginių ilgaamžiškumu. Vadinasi šių valdymo sistemų kūrimas, tyrimas ir taikymas yra svarbi techninė problema.

Kuriant eilutėmis skenuojančios elektromechaninės sistemos (ESEMS) valdymo sistemą yra siekiama keletos tikslų, todėl ją galime laikyti daugiatisle valdymo sistema. Pagal prioritetiškumą, daugiatislio ESEMS valdymo sistemos tikslus galima išvardyti tokia tvarka: proceso kokybė, našumas, mechaninių – smūginių poveikių sistemai minimizavimas, energijos sąnaudų minimizavimas. Paskutiniai du tikslai yra tarpusavyje susiję, - minimizuojant smūginius poveikius sistemai, paprastai mažėja ir energijos sąnaudos.

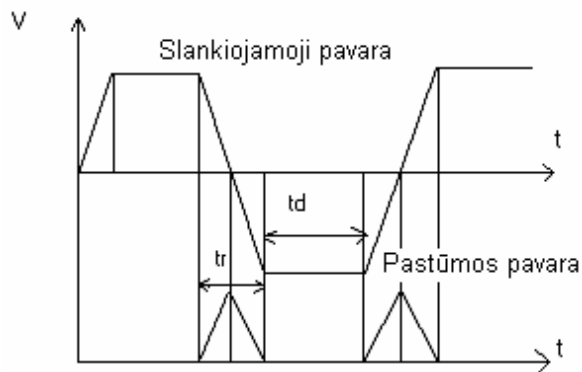
Darbe analizuojami ESEMS valdymo principai, kai minimizuojami pastūmos pavaros energijos nuostoliai ir minimizuojamas maksimalus dinaminis momentas. Tiriama apkrovos momento įtaka pastūmos pavarai, tiesinė žingsnio priklausomybė nuo stiprinimo signalo, bei ieškoma būdų apkrovai komensuoti. Darbo rezultatai aptariami ir palyginami.

1. ELEKTROMECHANINĖS PLOKŠČIŪJŲ PAVIRŠIŲ SKENAVIMO SISTEMOS UŽDAVINYS IR PRAKTINIS JO TAIKYMAS

1.1 Plokščiųjų paviršių skenavimo sistemos apibūdinimas ir techninio realizavimo principų analize

ESEMS sudaro dvi pavaros, viena iš pavarų formuoja slankiojamąjį judesį išilgai ašies l_1 (1.1 pav.), o kita skersinį pastūmos judesį. Slankiojamojo judesio pavara transportuoja darbo įrankį virš skenuojamo paviršiaus ir turi garantuoti stabilų linijinį transportavimo greitį, kurio dydį lemia technologinio proceso ypatumai. Pasiekus darbo zonos ribą, slankiojamoji pavara yra reversuojama. Reversas vyksta už darbo zonos ribų, todėl norint kuo didesnio sistemos našumo reversuoti reikia palaikant maksimalų leistiną pagreitį, kuris priklauso nuo konkrečios pavaros tipo.

Norint kuo didesnio sistemos našumo pastūmos judesį formuojančia pavarą reikia valdyti taip, kad nustatytasis pastūmos žingsnis būtų atliekamas per laiką, lygų slankiojamojo judesio pavaros reverso trukmei. Būdingos eilutėmis skenuojančios elektromechaninės sistemos trajektorijos atvaizduotos (1.2 pav.)



1.2 pav. ESEMS greičio diagramos

Stabiliaus greičio darbo zonos 1.2 pav. pažymėtos laiko intervalais t_d . Pasiekus šios zonos ribą, darbo įrankio judėjimo kryptis yra keičiama (slankiojamojo judesio pavaros reversuojama), o pats įrankis transportuojamas į kitą eilutę (pastūmos pavaros padaro žingsnį).

Galimi du ESEMS techninio realizavimo principai.

Nuoseklus pavarų valdymo būdas t.y., kai perėjimo į kitą darbo eilutę trukmė t_{per} apskaičiuojamas pagal formulę:

$$t_{per} = t_r + t_p; \quad (1.1)$$

čia: t_r –slankiojamojo judesio pavaros reverso trukmė, s;

t_p –pastūmos žingsnio vykdymo trukmė, s.

Nuoseklus valdymo privalumas būtų mažesnė įrenginio kaina, o trūkumas greitaeigiškumas.

Suderinto valdymo atveju slankiojamojo judesio pavaros turi būti reversuojama su pastoviu maksimaliu leistino dydžio pagreičiu, o pastūmos pavaros turi sugebėti atlikti per laiką t_r didžiausią galimą pastūmos žingsnį, t.y. turi būti įvykdyta sąlyga: $t_p = t_r$, kai $S_{max} \in S$; čia S – galimų pastūmos žingsnių sritis. Jei skenavimo žingsnis $S < S_{max}$, pastūmos procesą galima vykdyti mažesniais pagreičiais, kadangi esant trikampiui pozicionavimo pavaros greičio trajektorijai, per nustatytą laiką nueinamas pozicionavimo kelias yra tiesiog proporcingas pagreičiui. Taip galima sumažinti smūginį poveikį sistemai, bei pastūmos pavaros energetines sąnaudas.

1.2 ESEMS praktinio taikymo pavyzdžiai

Dvikoordinatės vykdymo sistemos yra plačiai paplitęs daugiakoordinačių valdymo sistemų atvejis. DKVS naudojamos metalo pjovimo staklių koordinatinio ir kontūrinio programinio valdymo sistemose apdorojamos detalės ir darbo įrankio

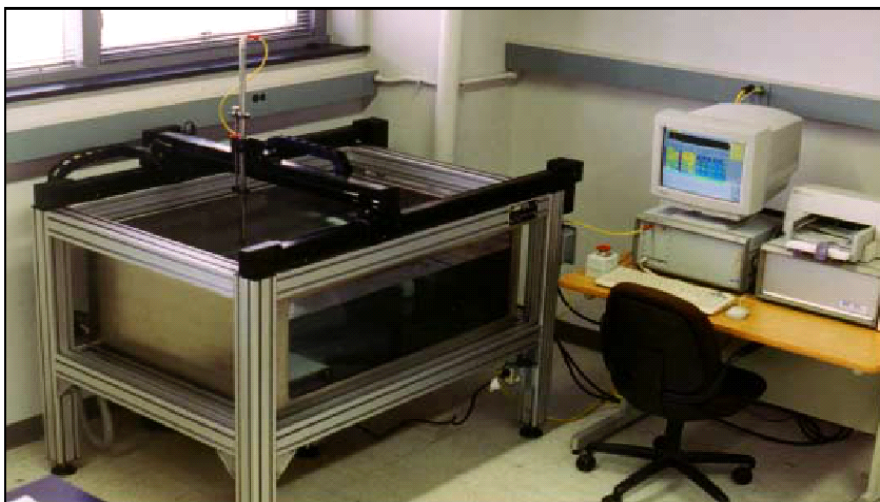
judesiams valdyti, matavimo mašinų koordinatiniams staleliams nustatytose padėtyse pozicionuoti, plokštiesiems paviršiams darbo įrankiu ar specialiu zonu eilutėmis skenuoti, pagrindiniam bei jį maitinantiems konvejeriams surinkimo linijose suderintai valdyti ir kitur.

ESEMS naudojamos šlifavimo ir drožimo staklių stalams valdyti, plokščiųjų paviršių defektiškumą kontroliuojantiems zondams transportuoti ir kt. Pavyzdžiui informacinėse matavimo sistemose elektrografinių informacijos nešiklių – elektrografinių plokštelių ir elektrografinių cilindrių defektiškumui tirti. Dėl didelio tiriamojo paviršiaus ploto ir didelės reikalaujamos skiriamosios gebos (pavyzdžiui, tiriant elektrografinių sluoksnių kokybę reikia fiksuoti vidutinį $0,1 \times 0,1$ mm² dydžio plotelių elektrostatinio lauko potencialą ant plokščio ar cilindrinio elektrografinio informacijos nešiklio paviršiaus) tyrimas atliekamas tam tikrose iš anksto nustatytose vietose specialiu zonu eilutėmis skenuojant nedidelius paviršiaus plotelius. Tokiu atveju, išeinant į nustatytuosius plotelius, DKVS veikia kaip dvikoordinatė pozicionavimo sistema, o tyrinėjant plotelį, ji veikia kaip eilutėmis skenuojanti sistema. Elektrografinio sluoksnio, ištirto naudojant ESEMS potencialinis reljefas parodytas (1.3 pav.).

Lėktuvo sparno skenavimo procesas pavaizduotas (1.4 pav.). Nedidelė stalo tipo skenavimo sistema – (1.5 pav).

1.3 pav. Elektrografinio sluoksnio, ištirto naudojant ESEMS potencialinis reljefas





1.5 Stalo tipo skenavimo sistema

1.3 Skenavimo proceso valdymo algoritmų analizė

ESEMS valdymo sistemos tikslus pagal jų prioritetiškumą galima suskirstyti tokia tvarka:

1. užtikrinti skenavimo proceso maksimalų našumą; maksimalų našumą sąlygoja suderintas su technologijos reikmėmis slankiojamojo judesio pavaros greitis ir jos reverso trukmė, kurią sąlygoja maksimalus leistinas slankiojamojo judesio pavaros reverso pagreitis, taip pat pastūmos pavaros gebėjimas per laiką, lygų reverso trukmei, padaryti nustatyto dydžio žingsnį skersine kryptimi;

2. garantuoti nustatytą pastūmos pavaros žingsnio pozicionavimo tikslumą;
3. minimizuoti pastūmos pavaros mechaninį – smūginį poveikį mechanizmui;
4. minimizuoti pastūmos pavaros energijos sąnaudas.

Visus šiuos tikslus galima pasiekti suderintai valdant slankiojamojo judesio ir pastūmos pavaras taip, kad pastūmos pavaros valdymo poveikis būtų formuojamas atsižvelgiant į du parametrus – slankiojamojo judesio pavaros reverso reverso laiką t_r ir nustatytojo poslinkio žingsnio s reikšmę. Galimi du valdymo būdai:

- formuojant minimalų būtiną ir pakankamą variklio momentą nustatytam žingsniui s per apibrėžtą laiko intervalą t_r atlikti;
- formuojant variklio momentą taip, kad nustatytasis žingsnis s per apibrėžtą laiko intervalą t_r būtų atliktas patiriant minimalius energijos nuostolius.

Skenavimo sistemą sudaro slankiojamojo judesio pavara ir pastūmos pavara. Slankiojamojo judesio pavaros abiem atvejais (minimizuojant energijos nuostolius ir minimizuojant pastūmos pavaros momentą) yra vienodos ir susideda iš greičio reguliavimo sistemos GRS (1.7 pav.), mechaninės grandies GK, skenavimo srities ribas kontroliuojančių poslinkio jutiklių SJJ ir valdymo laiko VLF ir srovės signalo formuotuvo SSF. Ši pavara yra vedančioji ir formuoja valdymo poveikį pastūmos pavarai. Slankiojamojo judesio formuotuvą pagal jutiklių signalus keičia greitį nustatančio signalo ženklą ir laiduoja tiesinį jo

kitimą nustatytųjų jo reikšmių intervale. Taip garantuojamas pastovus pagreitis šios pavaros reverso metu.

Pastūmos pavaros struktūra priklauso nuo pasirinktojo valdymo būdo. Kai valdoma pastūmos pavaros srovė valdymo signalui formuoti naudojamas srovės signalo formuotuvus SSF.

1.3.1 Skenavimo sistemos valdymas minimizuojant energijos nuostolius

Norint minimizuoti energijos nuostolius reikia ieškoti energijos nuostolius minimizuojančių elektros pavarų valdymo būdų. Remiantis optimalaus elektros variklių valdymo principais galima suformuluoti pastoviu srautu įmagnetinto elektros variklio valdančiojo poveikio – jo srovės, kitimo dėsnį, įgalinanti per apibrėžtą laiką atlikti nustatytą eigą su mažiausiais energijos nuostoliais:

$$I_{Mopt}(t) = I_M(t_0) \left[1 - \frac{2}{t_p} \left(1 - \frac{I_a}{I_M(t_0)} \right) t \right]; \quad (1.2)$$

čia $I_M(t_0)$ - variklio srovės reikšmė valdymo intervalo pradžioje, A;

I_a – variklio apkrovos srovės reikšmė, A

t_p - pozicionavimo laikas, s.

Iš (1.2) išraiškos matyti, kad variklio apkrovai esant 0, srovės valdymo išraiška dar su paprastės.

Optimalaus valdymo dėsnis savo forma sutampa su slankiojamojo judesio pavaros variklio greičio kitimo dėsniu jos reverso metu:

$$X_{12}(t) = -\text{sign}X_{12SN} \left[X_{12S} \left(1 - \frac{2}{t_p} t \right) \right]. \quad (1.3)$$

Slankiojamojo judesio pavaros reverso greičio išraiškoje esantis narys ($-\text{sign}X_{12SN}$) įvertina greičio krypties priklausomybę reverso metu nuo nustatančiojo signalo X_{12SN} ženklo. Kadangi pastūmos pavara - vienkryptė, padauginus (1.3) iš ($-\text{sign}X_{12SN}$) ir papildžius pastūmos kryptį nustatančia ženklo funkcija - $\text{sign}\lambda$, suformuojamas pastūmos variklio srovės valdymo dėsnis:

$$I_{MN}(t) = \text{sign}S \left\{ k_s \left[X_{12S} \left(1 - \frac{2}{t_p} t \right) \right] \right\} = \text{sign}S \left[I_M(t_0) \left(1 - \frac{2}{t_p} t \right) \right]; \quad (1.4)$$

čia $I_M(t_0) = k_s X_{12S}$, apsprendžia pastūmos žingsnio dydį; $\text{sign} S = -\text{sign} X_{12SN} \cdot \text{sign}\lambda$.

Modeliavimą atlieku taikydamas 1.7 pav. pavaizduota funkcinę schemą MATLAB/simulink terpėje kur:

SJF – slankiojamojo judesio formuotuvus;

GRS – tipinė greičio reguliavimo sistema;

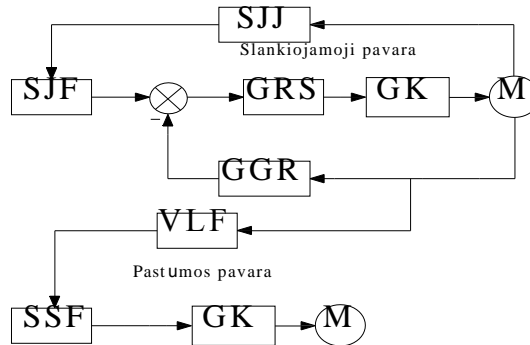
GK – galios keitiklis;

GGR –greičio grįžtamasis ryšys;

VLf – pastūmos pavaros valdymo laiko formuotuvus;

SSF – srovės signalo formuotuvus;

SJJ – slankiojamojo judesio jutiklis.



1.7 pav. Suderintai valdomos ESEMS funkcinė schema, kai minimizuojami energijos nuostoliai ir apkrovos momentas $M_a=0$.

1.3.2 Skenavimo sistemos valdymas minimizuojant mechaninį poveikį sistemai

Pastūmos pavara turi formuoti nustatyto dydžio žingsnį per laiką, priklausantį nuo slankiojamojo judesio pavaros greičio ir pagreičio. Pozicionavimo procesui turi būti skiriamas visas laiko rezervas, kuris keičiasi, kintant slankiojamojo judesio greičiui, arba kuris atsiranda sumažinus skenavimo žingsnį. Vadinasi, pastūmos pavaros valdymo poveikius reikia formuoti derinant su kintančiomis slankiojamojo judesio pavaros būsenos koordinatėmis reverso metu.

Pastūmos pavaros momento kitimo dėsnis apibūdinamas kaip:

$$M_{Ms} = (\text{sign}\lambda \cdot k_s \cdot \text{sign}X_{12}(t) \cdot \text{sign}X_{12N})f_c; \quad (1.5)$$

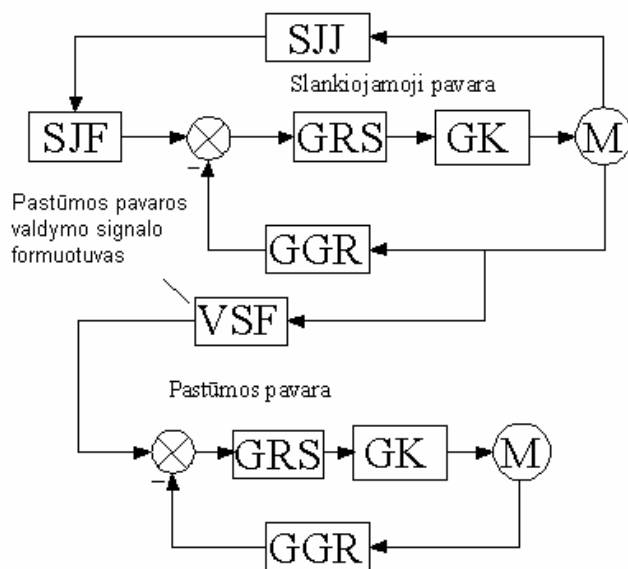
čia λ –judėjimo kryptį apsprendžiantis signalas;

X_{12N} –slankiojamojo judesio pavaros greitį nustatantis signalas;

$k_s=4J_M \cdot s/t_p^2$ pastūmos žingsnį apibrėžiantis koeficientas J_M -inercijos momentas;

f_c - pastūmos valdymo intervalą apibrėžianti loginė funkcija ($f_c=1 \quad \forall t \in (0, t_p)$ ir $f_c=0 \quad \forall t \notin (0, t_p)$).

Funkcinė ESEMS schema garantuojanti suderintą slankiojamosios ir pastūmos pavaros valdymą, kai apkrovos momentas $M_a=0$ pavaizduota 1.8 paveiksle.



1.8 pav. Suderintai valdomos ESEMS funkcinė schema, kai minimizuojamas pastūmos pavaros momentas ir apkrovos momentas $M_a=0$.

2 PLOKŠČIŲJŲ PAVIRŠIŲ SKENAVIMO SISTEMOS VALDYMO ALGORITMŲ MODELIAI

2.1 Skenavimo sistemos valdymo modelio sudarymas minimizuojant pastūmos pavaros maksimalų momentą

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

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

Užrašykime variklio inkaro grandinės lygtį operatorine forma:

$$U_i(p) = R_i I_i(p) + p L_i I_i(p) + E_i(p); \quad (2.1)$$

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

$$E_i(p) = C \Phi(p) - v(p); \quad (2.2)$$

čia C – koeficientas, susijęs su variklio konstrukcija.

Tikrąjį srautą variklio oro tarpe Φ kuria žadinimo apviją ir ekvivalentinio sūkurinių srovių kontūro MVJ suma:

$$\Phi(p) = k \{ w_z I_z(p) + w_s I_s(p) \}; \quad (2.3)$$

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

$$M_v(p) = J_v p \omega_v(p) M_a(p). \quad (2.4)$$

Variklio momentas M_v yra proporcingas variklio srautui ir inkaro srovei:

$$M_v(p) = C \Phi(p) I_i(p). \quad (2.5)$$

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

$$I_i(p) = \frac{[U_i(p) - E_i(p)] R_i^{-1}}{T_i p + 1}; \quad (2.6)$$

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

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

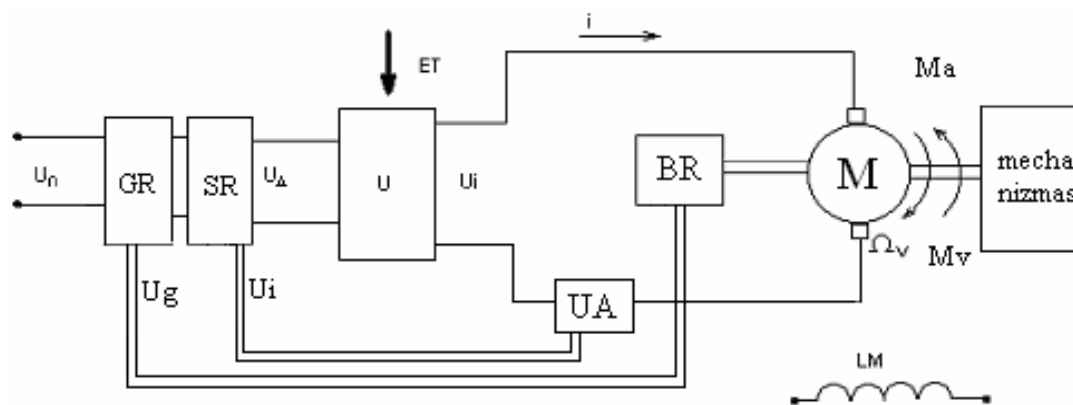
Siekiant sumažinti pagrindinio trikdančio poveikio – apkrovos momento – įtaką variklio sukimosi greičiui, schemoje panaudotas variklio inkaro srovės teigiamas grįžtamas ryšys. Variklio apkrovos momentui padidėjus dydžiu ΔM_a , inkaro srovė padidėja dydžiu ΔI_i , o greitis sumažėja dydžiu $\Delta \omega_v$.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

Pereinamieji procesai variklio inkaro grandinėje, taigi ir inkaro srovės reguliavimo kontūre, baigiasi daug greičiau, negu išsisuka variklis. Todėl jo priešinė EVJ E_i per inkaro srovės pereinamąjį procesą pasikeičia labai nežymiai; galima laikyti, kad ji tuo metu yra pastovi. Kitaip sakant, galima laikyti, kad per inkaro srovės pereinamąjį procesą priešinės EVJ E_i ryšys neveikia. Padarius tokią prielaidą, galima gerokai supaprastinti inkaro reguliavimą, nedaug tepakeičiant pereinamąjį procesą inkaro srovės reguliavimo kontūre. Srovės reguliavimo kontūro dinamikos struktūrinė schema (2.1 pav.). Laikoma, kad daviklis yra neinertiškas ir turi perdavimo koeficientus k , galios keitiklio laiko konstanta T_k yra daug mažesne už konstantą T_i , kurios sąlygojamas inertiškumas turi būti sukompensuotas.

Vienąkart integruojančios greičio ir momento valdymo sistemos turi išorinį greičio reguliavimo kontūrą su greičio regulatoriumi GR, greičio davikliu BR ir jam pavaldų inkaro srovės reguliavimo kontūrą (2.1 pav.).

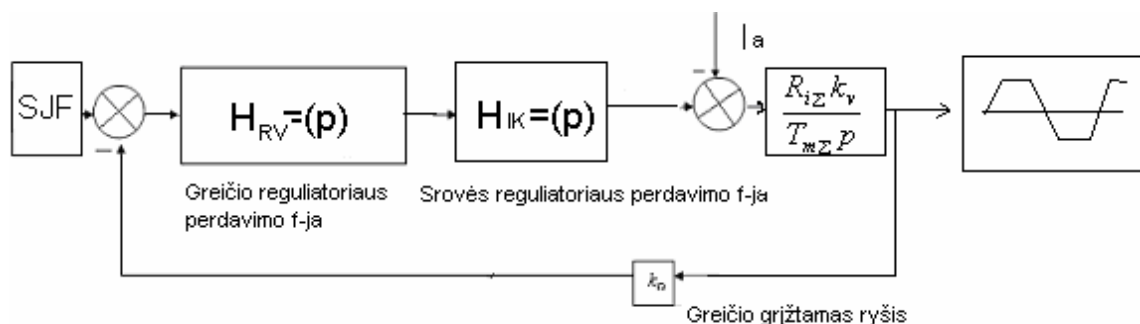
Greičio regulatorių galima parinkti pagal techniškojo optimumo sąlygą. Perdavimo funkcijai apskaičiuoti taikoma supaprastinta srovės reguliavimo kontūro perdavimo funkcija (2.7). Toks supaprastinimas priimtinas, nes vidinis inkaro srovės kontūras parinktas pagal techniškojo optimumo sąlygą ir turi optimalų slopinimą ($\chi = 0,707$). Tuo atveju atmetus narį su p^2 srovės

kontūro atstojamojoje perdavimo funkcijoje, greičio kontūro reguliavimo kokybė nukenčia nežymiai.



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

Sudarant modelį, galima valdymo objektą išskaidyti taip, kaip tai būna daugiakontūrinėje reguliavimo sistemoje (2.2 pav). Čia kintamasis parametras yra mechanizmo inercijos momentas J_M .



2.2 pav. Vienąkart integruojančios greičio ir momento dinamikos struktūrinė schema

Modeliuojant reikia remtis konkrečiais duomenimis, todėl duomenis parenkami iš nuolatinės srovės variklių katalogo (Ред. Копылова И. П., 1988). Pasirinkto variklio duomenys pateikti 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė

Variklio duomenų lentelė

Nr.	Variklio duomenys		Vertė
1.	Variklio tipas	ИБВ112	-
2.	Inkaro srovė	I_n	28 A
3.	Nominali įtampa	U_n	50 V
4.	Apsisukimai	$?_{v_n}$	500 aps/min
5.	Nominalus momentas	M_n	21 Nm

6.	Inkaro varža	$R_i = R_a + R_p$	0,144 Ω
7.	Elektromechaninė laiko konstanta	T_m	8,6 ms
8.	Greičio perdavimo koef.	$k_\Omega = \frac{10}{\Omega_{\max}}$	0,047
9.	Inkaro srovės perdavimo koef.	$k_i = \frac{10}{I_{\max}}$	0,197
10.	Variklio perdavimo koef.	$k_v = \frac{1}{C\Phi}$	1,331/Vs
11.	Koef. susijęs su varikliu	$C\Phi = \frac{M_n}{I_n}$	0,75Vs
12.	Inercijos momentas	J_m	0,049kg m ²
13.	Maksimalus momentas	M_{\max}	38Nm
14.	Maksimali srovė	I_{\max}	50,66A

Randamiesi variklio momento reguliavimo perdavimo funkciją

Randame greičio regulatoriaus perdavimo funkciją

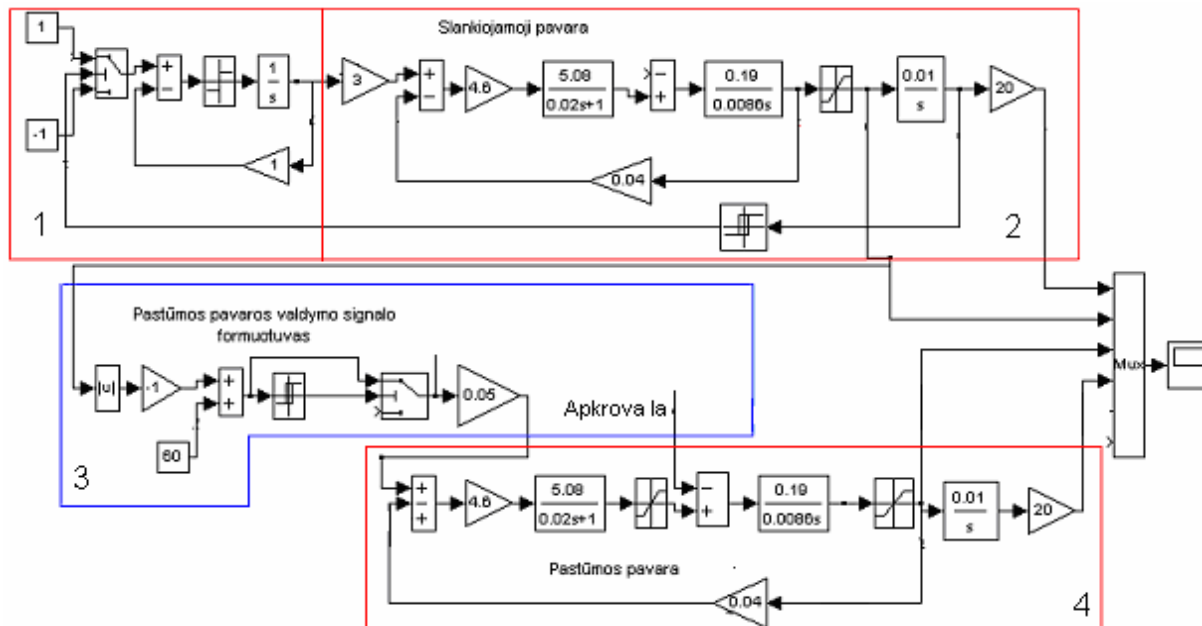
$$H_{R\Omega}(p) = \frac{k_i \cdot T_m}{k_v k_\Omega R_i \Sigma 4T_k} = \frac{0.0017}{0.00036} = 4.6; \quad (2.7)$$

Taip pat sustatau duomenis ir į variklio momento perdavimo funkciją H_{IK} :

$$H_{IK} = \frac{k_l^{-1}}{2T_k p + 1} = \frac{5.08}{0.02 p + 1}; \quad (2.8)$$

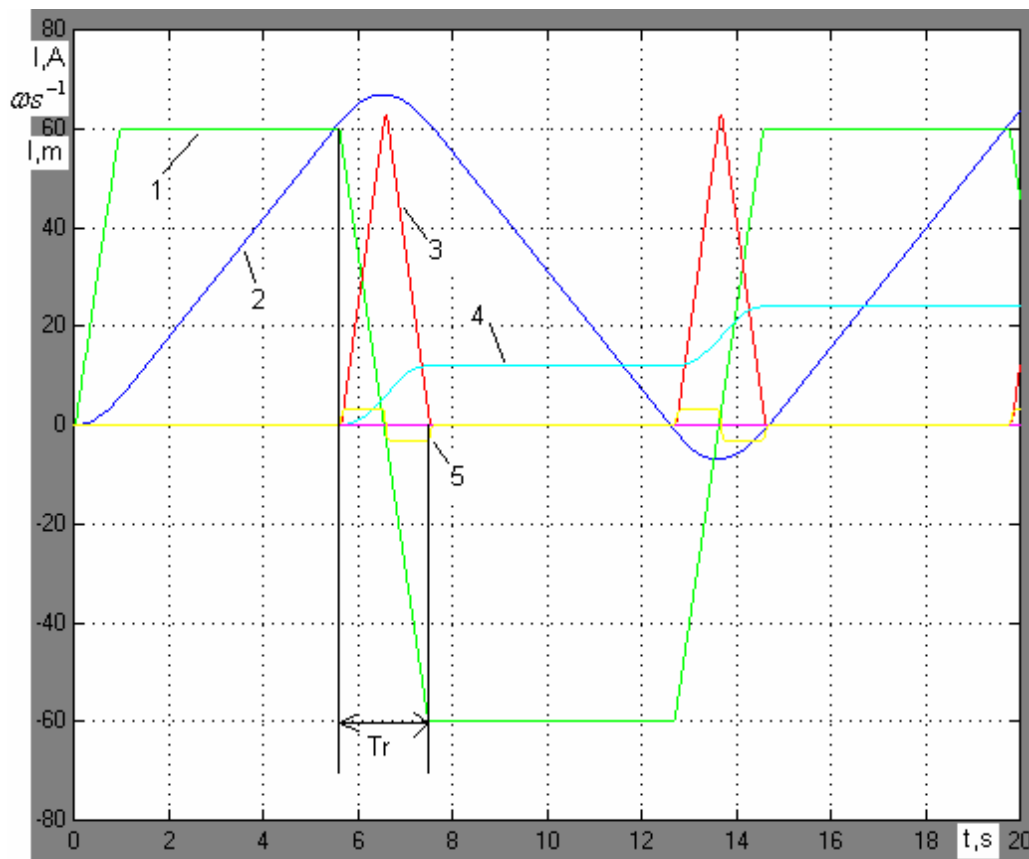
Sustatę gautus duomenis į greičio valdymo sistemos modelį su variklio grįžtamoju ryšiu, gauname modelį (2.3 pav.).

Pastūmos pavaros matematinis modelis bus analogiškas slankiojamosios pavaros modeliui (2.4 pav.). Valdymo signalas į pastūmos pavarą paduodamas iš valdymo signalo formuotuvo. Valdymo signalo formuotuvui priklausomai nuo slankiojamosios pavaros revarsavimo greičio ir pagreičio formuoja trikampės formos valdymo signalą pastūmos pavarai. Pastūmos pavara slankiojamosios pavaros reverso metu padaro žingsnį.



2.4 pav. Suderintai valdomos ESEMS modelis su greičio valdymo sistema, kai minimizuojamas pastūmos pavaros momentas. Pagrindiniai blokai sudarantys sistemą 1- slankiojamojo judesio formuotuvai; 2- slankiojamoji pavara; 3 – pastūmos pavaros valdymo signalo formuotuvai; 4- pastūmos pavara.

Skenavimo proceso diagramos pavaizduotos (2.5 pav.).



2.5 pav. Skenavimo proceso diagramos, kai minimizuojamas pastūmos pavaros momentas.

1-slankiojamosios pavaros greičio charakteristika; 2-slankiojamosio pavaros poslinkis; 3- pastūmos pavaros greičio charakteristika; 4- pastūmos pavaros poslinkis; 5-pastūmos pavaros srovės charakteristika.

Pastaba: visuose pavaikslėliuose kur pavaizduotos skenavimo proceso diagramos pastūmos ir slankiojamosios pavaros nueitas kelias yra padaugintas iš stiprinimo koeficiento $k_s=20$.

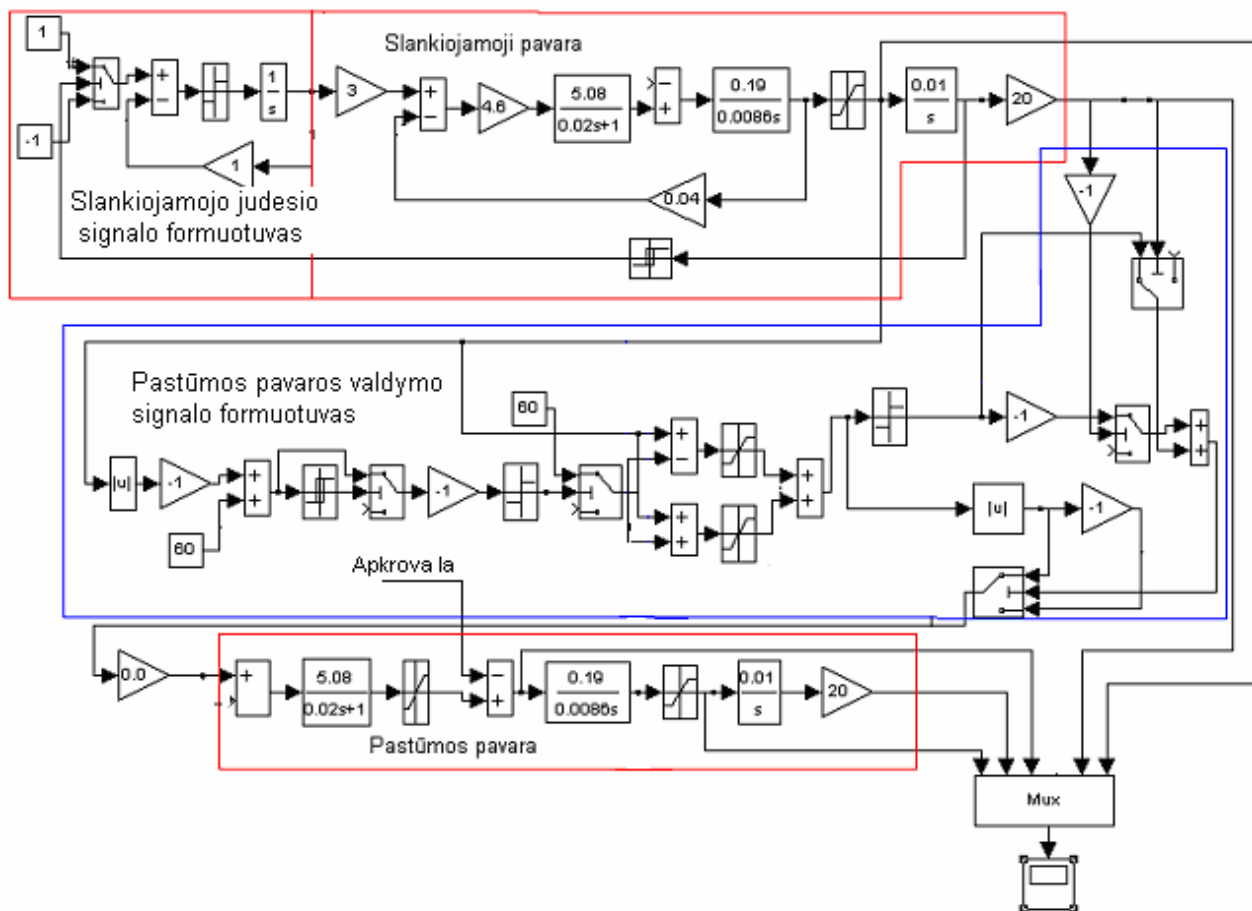
Iš grafiko matyti, kad slankiojamoji pavara palaiko pastovų darbo greitį, o reversuojama pastoviu pagreičiu. Abiejų pavarų judesiai yra suderinti, pastūmos pavara reversuojama, kai darbo įrankis yra už skenavimo zonos ribų. Pastūmos pavara išnaudoja visą slankiojamosios pavaros reverso laiką Tr , nustatyto dydžio žingsniui atlikti. Pastūmos pavara yra veikiamą minimaliu reikiamu momentu nustatyto dydžio žingsniui atlikti.

2.2 Skenavimo sistemos valdymo modelio sudarymas, kai minimizuojami pastūmos pavaros energijos nuostoliai

Slankiojamosios ir pastūmos pavarų modeliai bus analogiški aptartiems 2.1 skyriuje, skiriasi tik srovės signalo formuotuvo formuojamas signalas pastūmos pavarai ir pastūmos pavaroje nebėra greičio reguliavimo sistemos. Suderinta su slankiojamojo judesio pavaros reverso greičiu optimalų pastūmos pavaros valdymo dėsnį galima formuoti pagal (1.4) priklausomybę, srovę nustatantįjį signalą proporcinga slankiojamojo judesio pavaros greičiui.

Skenavimo sistemos modelio sudarymui variklio duomenis paimu iš 2.1 lentelės.

Suderintai valdomos ESEMS su srovės reguliavimo sistema modelis parodytas (2.6 pav.).

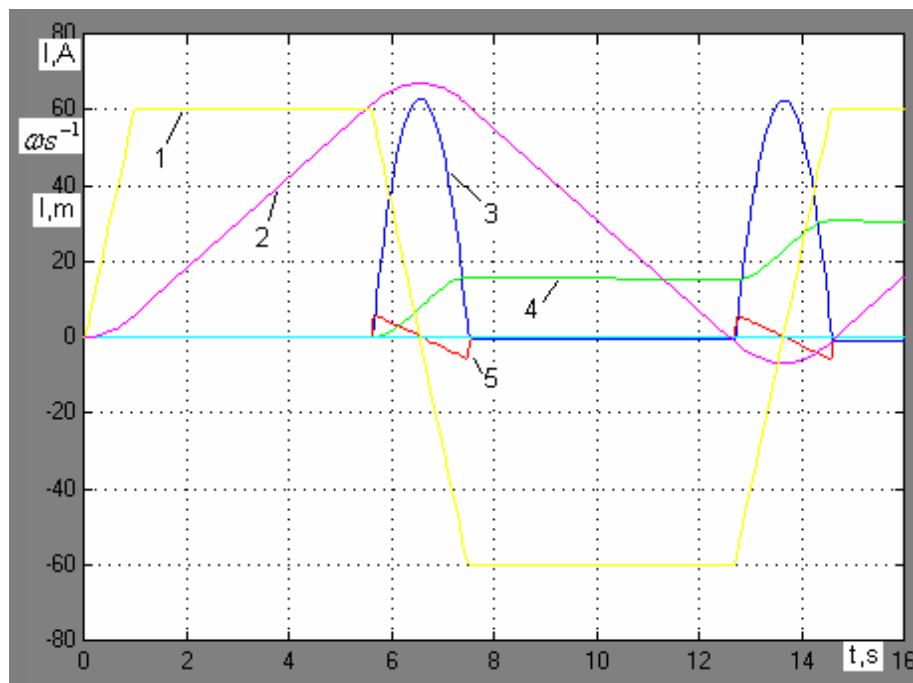


2.6 pav. Suderintai valdomos ESEMS modelis su srovės reguliavimo sistema, kai minimizuojami pastūmos pavaros energijos nuostoliai.

Palyginus ESEMS modelius (2.6 ir 2.4 pav.) minimizuojant energijos nuostolius ir minimizuojant dinaminį momentą matyti, kad skiriasi pastūmos pavaros. Kai minimizuojami pastūmos pavaros energijos nuostoliai nebėra greičio reguliavimo sistemos ir pastūmos pavaros valdymo signalo formuotuvus daug sudėtingesnis.

Skenavimo proceso diagramas, kai minimizuojami energijos nuostoliai pavaizduota 2.7 pav.. Slankiojamojo judesio pavaros greitis priodiškai, atkartodamas slankiojamojo judesio formuotuvo suformuota trapecini kitimo dėsnį. Pastūmos pavara atlieka žingsnį, slankiojamosios pavaros reverso metu. Skenavimo procesas vyksta suderintai.

Palyginus abiejų valdymo būdų skenavimo proceso diagramas, matyti, kad skiriasi srovės signalo forma, o tuo pačiu ir pastūmos pavaros greičio charakteristika.



2.7 pav. Skenavimo proceso diagramos, kai minimizuojami pastūmos pavaros energijos nuostoliai. 1-slankiojamosios pavaros greičio charakteristika; 2-slankiojamosio pavaros poslinkis; 3- pastūmos pavaros greičio charakteristika; 4- pastūmos pavaros poslinkis; 5-pastūmos pavaros srovės charakteristika.

3 SKENAVIMO SISTEMOS MINIMIZUOJANČIOS PASTŪMOS PAVAROS ENERGIJOS NUOSTOLIUS TYRIMAS

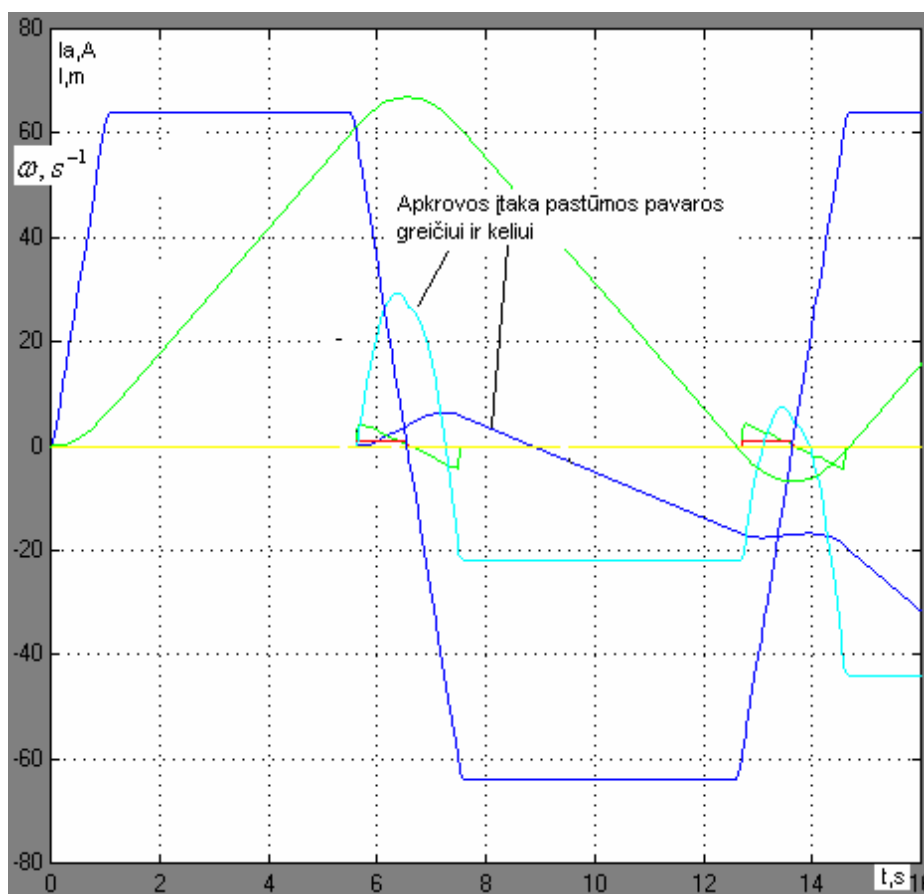
Antrame skyriuje išnagrinėti pastūmos pavaros valdymo algoritmai duoda pageidaujama rezultata tik tuo atveju, kai garantuojamas greičio invariantiškumas trikdžių atžvilgiu. Svarbiausiu elektros pavrų trikdančiuoju poveikiu yra apkrovos momentas M_o , todėl reikia ieškoti valdymo būdų įgalinančių kompensuoti apkrovos momentą.

3.1 Apkrovos įtaka pastūmos pavaros žingsnio tikslumui

Pažiūrėsime, kaip apkrova veikia šią valdymo sistemą.

Pastūmos pavaros variklį apkrauname stačiakampės formos apkrovos signalu, kuris veikia, kol variklis išibėgeja.

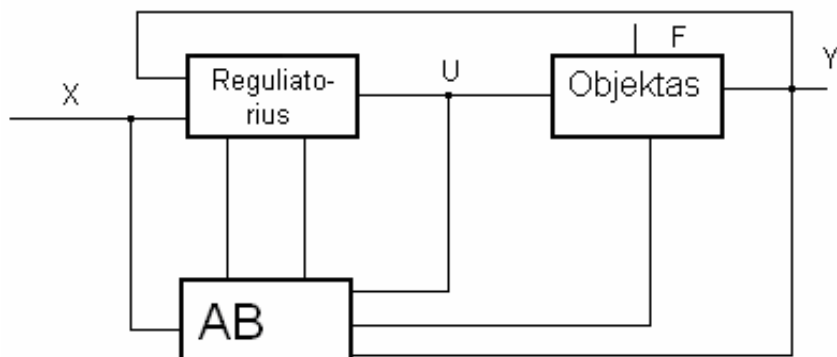
Apkrovus pastūmos pavarą $I_o=0,035I_N$ apkrova, pastūmos pavara visiškai išsiderina (3.1 pav.). Apkrova pastūmos pavarą veikia už srovės reguliavimo sistemos, todėl įtaka pastūmos pavarai tiesiogiai priklauso nuo apkrovos dydžio. Šitokia sistema negali dirbti. Reikia ieškoti adaptyvių elektros pavarų valdymo būdų.



3.1 pav. Apkrovos įtaka pastūmos pavarai

Adaptyvios valdymo sistemos funkcionavimui, reikia nuolat identifikuoti valdymo objektą (matuoti jo parametrus) ir, remiantis šia informacija, perderinti regulatoriaus arba formuoti valdymo signalus taip, kad valdymo kokybė tenkintu keliamus reikalavimus.

Charakteringas adaptyvių valdymo sistemų požymis yra tas, kad jų veikimas yra paremtas nuolatiniu informacijos apie objektą papildymu valdymo proceso bėgyje (Geleževičius V., Krikščiūnas K., Kubilius V., 1990.). Apie informacijos pilnumą ir jos kokybę galima spręsti remiantis tam tikrais kokybės kriterijais. Tipinė adaptyvios valdymo sistemos struktūrinė schema pavaizduota (3.2 pav.).



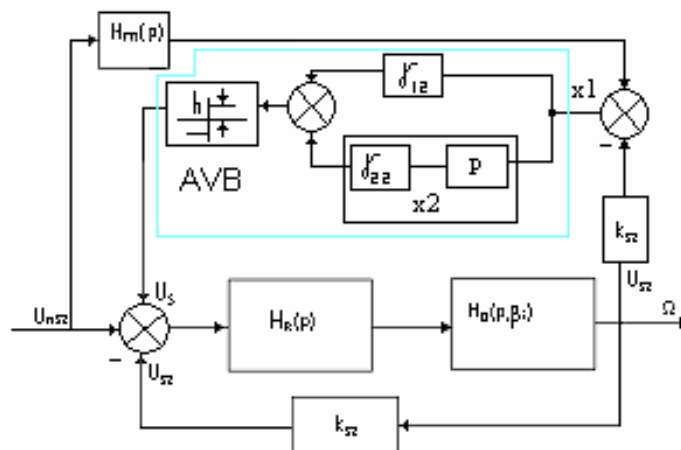
3.2. pav. Adaptivios valdymo sistemos struktūrinė schema

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

Adaptivios pavarų valdymo sistemos sudaromos taikant parametrinės, signalinės arba kombinuotos adaptacijos principą. Adaptyvioje valdymo sistemoje, sudarytoje parametrinės adaptacijos principu, kintant valdymo objekto parametrams, keičiami regulatorių parametrai taip, kad valdymo kokybė nepakistu. Naudojant signalinės adaptacijos principą, adaptacijos blokas formuoja papildomo vldymo signalą, kuris veikia regulatoriaus įėjime ir garantuoja pastovia valdymo kokybę, kintant valdymo objekto parametrams.

Apkrovos momentą bandome kompensuoti taikant signalinės adaptacijos principus.

Adaptivios elektros pavaros, sudarytos naudojant signalinės adaptacijos principą, struktūrinė schema yra atvaizduota (3.3 pav.) Pagrindinį kontūrą sudaro valdymo objektas $H_0(p, \beta_i)$ su kintamais parametrais, regulatorius $H_R(p)$, kurio parametrai nederinami, ir greičio grįžtamasis ryšys k_{s2} .



3.3 pav. Signalinės adaptacijos principo realizavimo schema

Adaptacijos kontūrą sudaro etaloninis modelis $H_M(p)$ ir adaptyvaus valdymo blokas AVB. Adaptyvaus valdymo bloko išėjime formuojamas adaptacijos signalas U_s , veikiantis pagrindinio kontūro įėjime ir koreguojantis jo dinamiką taip, kad kintant valdymo objekto parametrams, pavaros kokybė nekistų.

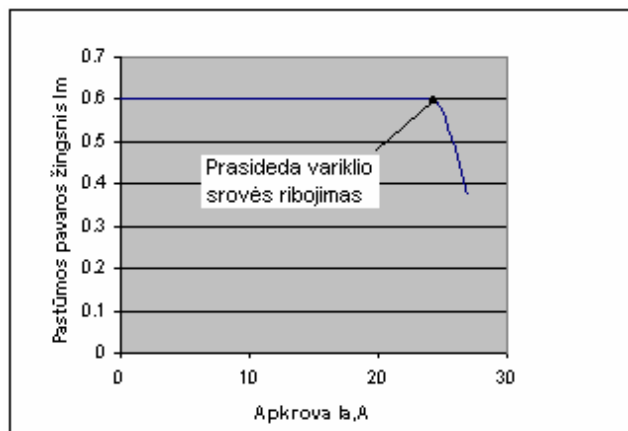
$$U_s = h_{\max} \operatorname{sign}(\gamma_{12}x_1 + \gamma_{22}x_2) \quad (1.3.6)$$

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

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

Pastūmos pavaros apkrovai kompensuoti naudosiu signalinės adaptacijos principą.

Prijungus signalinės adaptacijos bloką prie pastūmos pavaros gautų rezultatų duomenys 3.1 lentelėje, o grafikas pavaizduotas 3.4 pav..



3.1 lentelė

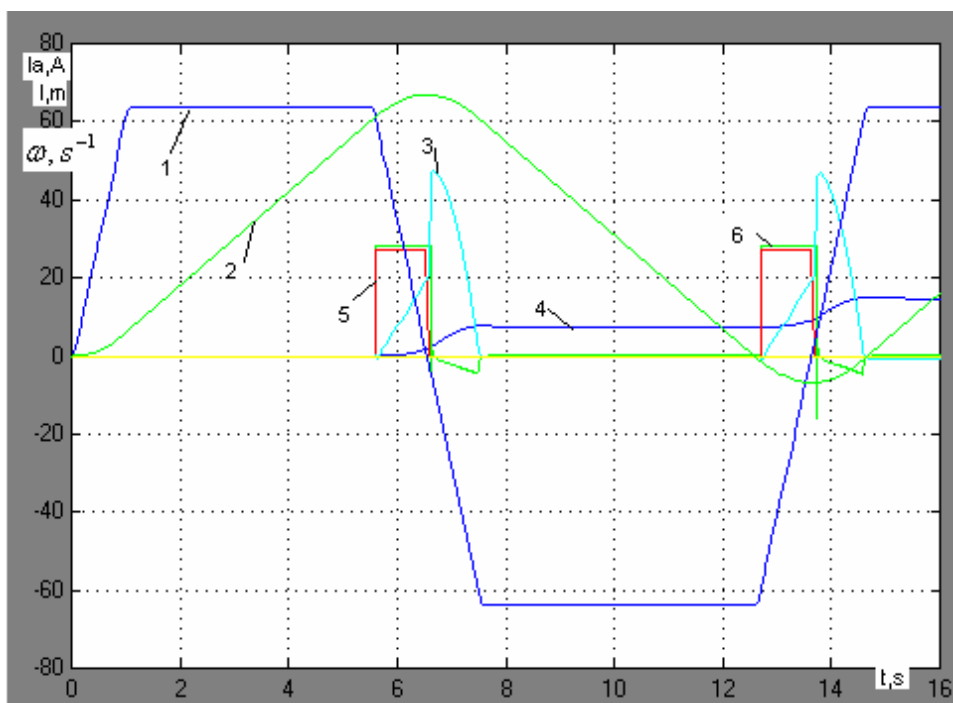
Apkrova I_a , A	Pastūmos s žingsnis, m
0	0,6
10	0,6
20	0,6
24	0,6

25	0,57
27	0,375

3.4 pav. Pastūmos pavaros žingsnio priklausomybė
nuo apkrovos momento prijungus adaptacijos bloką.

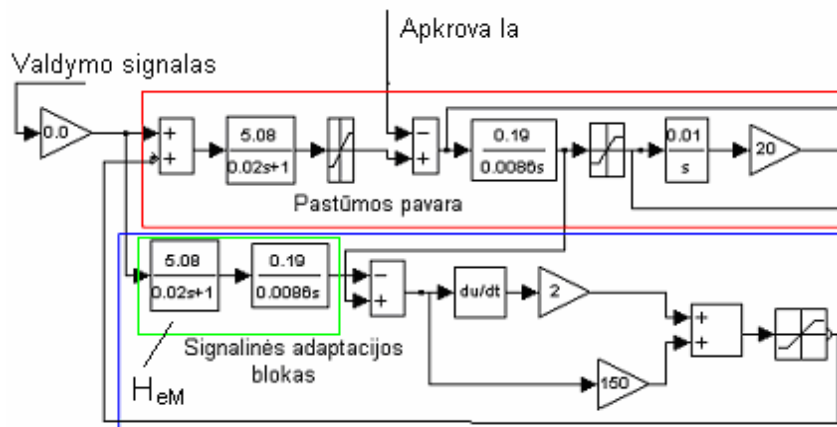
Iš gautų rezultatų galima teigti, kad signalinės adaptacijos blokas puikiai kompensuoja apkrovos momentą. Ties 25A apkrovos verte (3.4 pav) adaptacijos blokas nebesukompensuoja apkrovos, kadangi pradeda riboti variklio inkaro srovė.

Pastūmos pavara su prijungtu adaptacijos bloku parodyta 3.6 pav., o skenavimo sistemos diagramos, kai pradeda riboti inkaro srovės vertė, esant 27A apkrovos srovei 3.5 pav. Adaptacijos blokas nebesukompensuoja apkrovos, kadangi ties 28A pradeda riboti srovė.



3.5 pav. Skenavimo sistemos diagramos , kai pradeda riboti inkaro srovė.

1-slankiojamosios pavaros greitis; 2-slankiojamosios pavaros poslinkis; 3-pastūmos pavaros greitis; 4 – pastūmos pavaros poslinkis; 5-apkrovos srovė; 6-inkaro srovės forma.

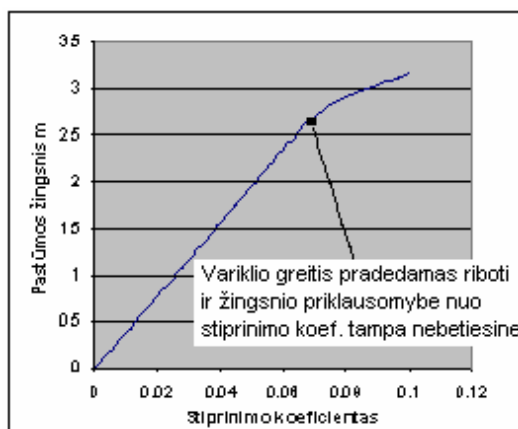


3.6 pav. Pastūmospavara su signalinės adaptacijos bloku.

Iš 3.6 pav. matyti, kad adaptacijos blokas sulygina realios ir etalonišios pastūmos pavaros signalus ir jų skirtumas paduodamas į pastūmos pavaros srovės reguliatorių. Tokiu principu yra kompensuoja apkrovos srovė.

3.2 Pastūmos žingsnio tiesinio valdymo diapazono nustatymas

Nustatysiu pastūmos pavaros žingsnio priklausomybę nuo stiprinimo koeficiento. Tyrimo duomenys pateikti 3.2 lentelėje, o grafikas 3.7 pav.



3.2 lentelė

Stiprinimo koeficientas	Pastūmos žingsnis m.
0	0
0.005	0.195
0.01	0.39
0.015	0.587
0.02	0.78
0.04	1.57

0.06	2.35
0.065	2.54
0.07	2.7
0.08	2.91
0.09	3.05
0.1	3.17

3.7 pav. Pastūmos pavaros žingsnio priklausomybė
nuo stiprinimo koeficiento

Išvada pastūmos žingsnio dydis yra tiesiai proporcingas stiprinimo koeficiento reikšmei tol, kol pozicionavimo metu pastūmos pavaros greitis nesiekia maksimalios greičio reikšmės ir nepradedamas riboti.

4 SKENAVIMO SISTEMOS MINIMIZUOJANČIOS PASTŪMOS PAVAROS MAKSIMALŲ MOMENTŲ TYRIMAS

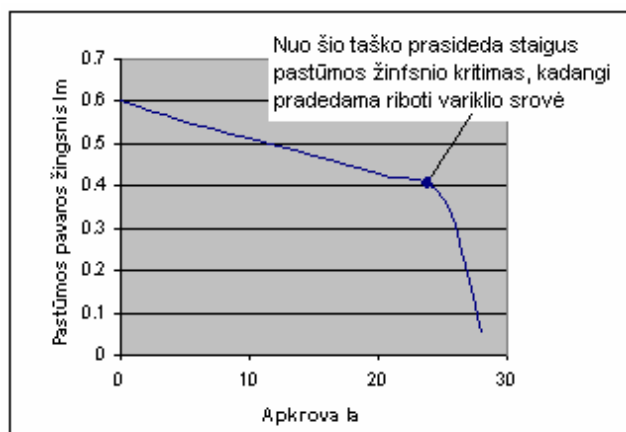
4.1 Apkrovos įtaka pastūmos pavaros žingsnio tikslumui

Ištirsiu apkrovos įtaką pastūmos pavaros žingsniui, kai pastūmos pavara neprijungta prie adaptacijos bloko. Tyrimo duomenys pateikti 4.1 lentelėje, o grafikas 4.1 pav..Pavara yra apkraunama stačiakampės formos apkrova, kuri veikia

pastūmos variklį tol kol šis įsibėgeja.

Apkrova nepriklauso nuo variklio greičio.

4.1 lentelė



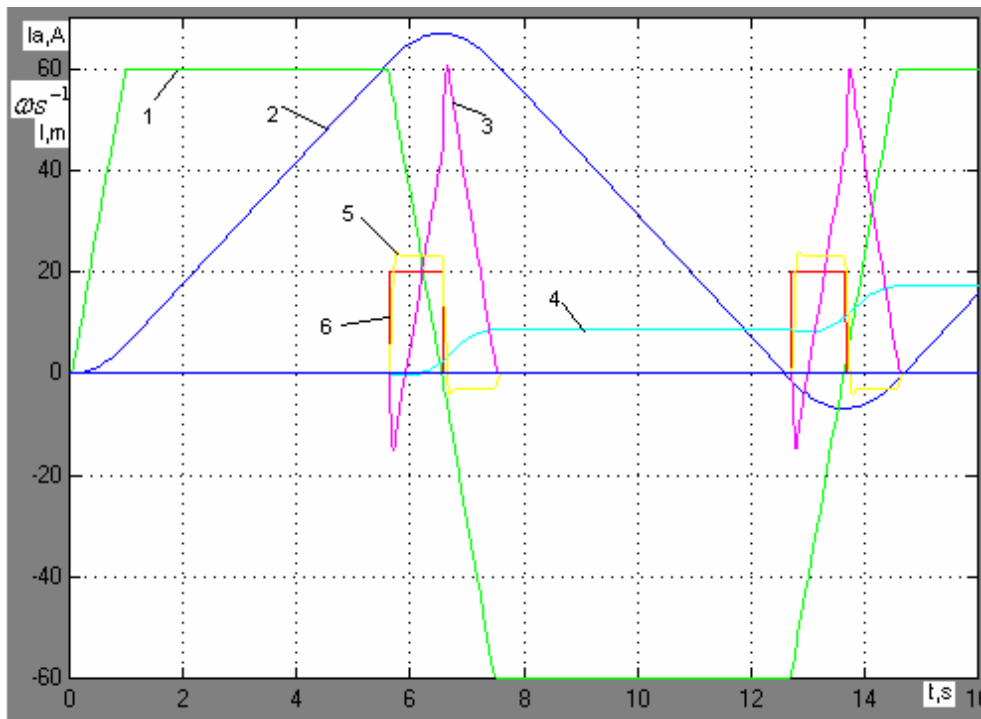
Apkrova Ia, A	Pastūmos žingsnis, m
0	0.6
2	0.58
5	0.55
10	0.51
20	0.43
25	0.37
28	0.05

4.1 pav. Pastūmos pavaros žingsnio priklausomybė

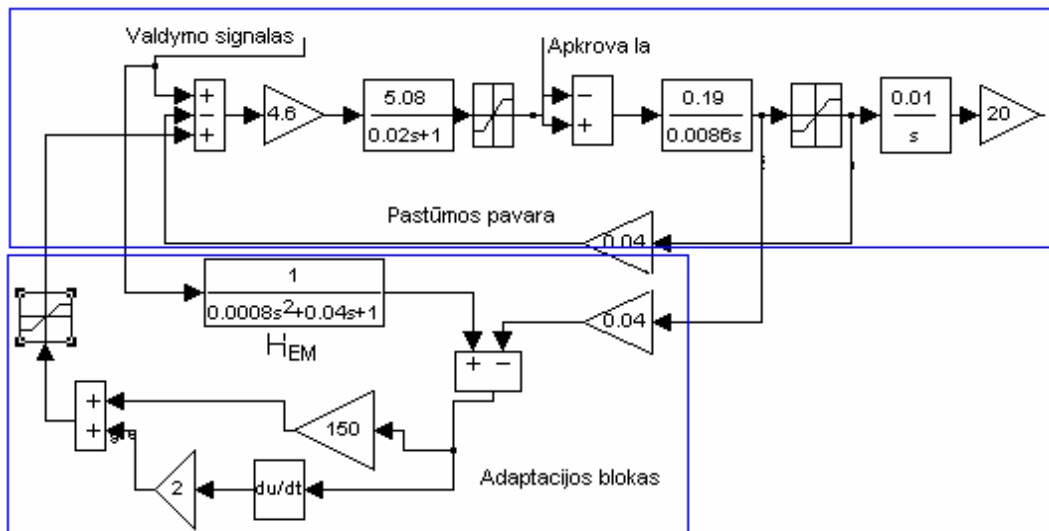
nuo apkrovos momento neprijungus adaptacijos bloko.

Iš gautų rezultatų matyti, kad pavara visiškai neišsiderina, kaip, kad buvo pavaroje su srovės reguliavimu. Ši pavara turi greičio grįžtamąjį ryšį, kuris išdalies kompensuoja apkrovą. Staigus pastūmos pavaros žingsnio kritimas prasideda, kai pradedama riboti variklio srovė ir grįžtamasis rišys nebesukompensuoja išaugusios apkrovos.

Pastūmos pavaros skenavimo proceso diagramos, kai pastūmos pavara apkrauta ir atjungtas adaptacijos blokas parodytos 4.2 pav. iš jų matyti, kad pastūmos pavara beveik atlieka jai užduota žiungsnį, tačiau yra iškraipoma variklio greičio trjektorija. Variklio įsibėgėjimas ir stabdymas vyksta skirtingais pagreičiais.



4.2 pav. Skenavimo sistemos diagramos, kai pastūmos pavara apkrauta 20A ir atjungtas adaptacijos blokas. 1-slankiojamosios greitis; 2-slankiojamosios kelias; 3-pastūmos greitis; 4-pastūmos žingsnis; 5-pastūmos variklio srovė; 6-pastūmos pavaros apkrova.



4.3 pav. Pastūmos pavara su signalinės adaptacijos bloku, kai minimizuojamas dinaminis momentas.

Prie pastūmos pavaros prijungiame signalinės adaptacijos bloką 4.3 pav. ir žiūrime, kaip apkrova įtakoja pastūmos žingsnį. Apkrovos įtakos žingsnio didumui rezultatai surašyti į 4.2 lentelę, o grafikas pateiktas 4.3 pav.

4.2 lentelė

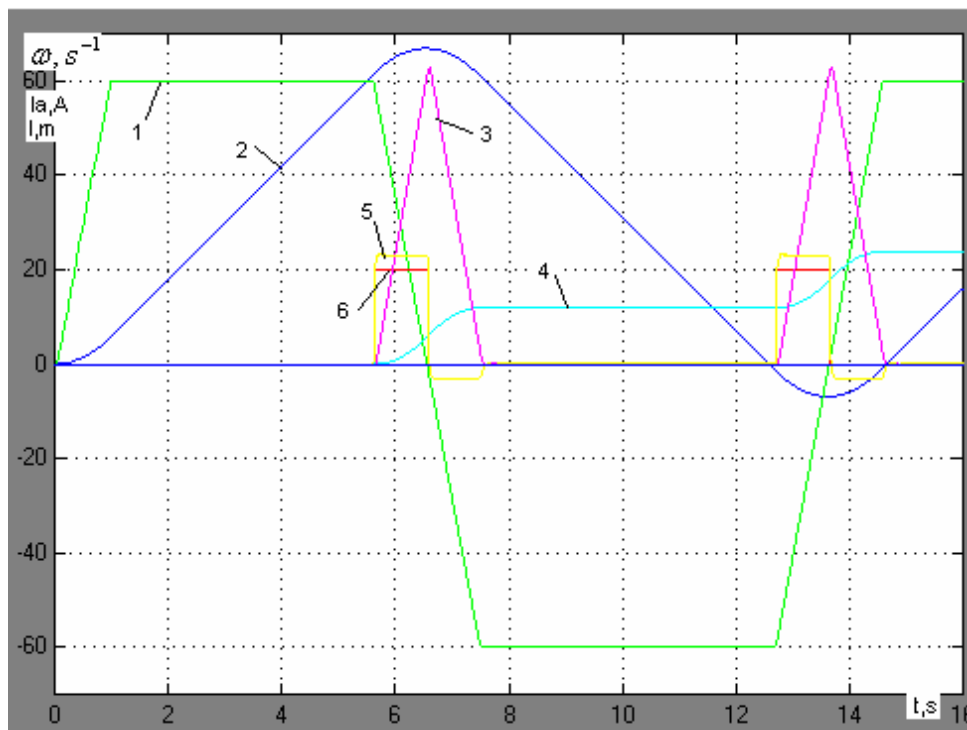


Apkrova Ia, A	Pastūmos žingsnis, m
0	0.6
2	0.6
5	0.6
10	0.6
20	0.6
25	0.59
26	0.495
28	0.275

4.4 pav. Pastūmos pavaros žingsnio priklausomybė nuo apkrovos momento prijungus adaptacijos bloką.

Iš gautų rezultatų matome (4.4pav.), kad signalinės adaptacijos blokas pilnai kompensuoja apkrovos įtaką pastūmos pavarai. Apkrovai pasiekus 25A apkrova nebesukompensuojama, kadangi prasideda inkaro srovės ribojimas.

Skenavimo proceso diagramos, kai pavara apkrauta 20A parodytos 4.5pav. Iš diagramų ma



4.5 pav. Skenavimo sistemos diagramos , kai apkrova 20A

1-slankiojamosios pavaros greitis; 2-slankiojamosios pavaros poslinkis; 3-pastūmos pavaros greitis; 4 – pastūmos pavaros poslinkis; 5-variklio srovė; 6-apkrovos srovė.

Palyginus skenavimo proceso diagramas su prijungtu ir atjungtu adaptacijos bloku (4.2;4.4 pav.) matyti, kad su adaptacijos bloku pastūmos variklis išibėja ir stabdo vienodais pagreičiais. Neiškraipoma greičio charakteristika. Adaptacijos blokas puikiai kompensuoja apkrovą.

4.2 Pastūmos žingsnio tiesinio valdymo diapazono nustatymas

Nustatysiu pastūmos pavaros žingsnio priklausomybę nuo stiprinimo koeficiento. Tyrimo duomenys pateikti 4.3 lentelėje, o grafikas 4.6 pav.

Stiprinimo koeficientas	Pastūmos žingsnis, m
0	0
0.005	0.06
0.01	0.12
0.015	0.18
0.02	0.24
0.04	0.48
0.08	0.96
0.12	1.44
0.16	1.92
0.17	2.05
0.2	2.3
0.25	2.5

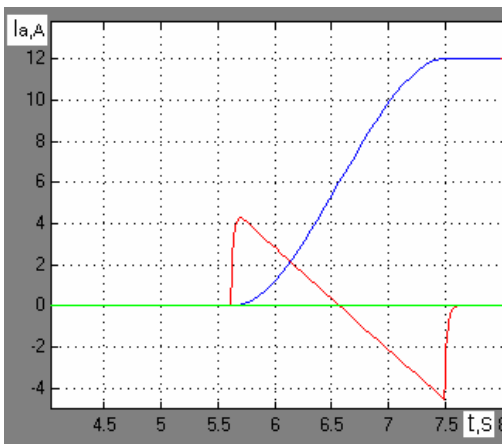
4.6 pav. Pastūmos pavaros žingsnio priklausomybė nuo stiprinimo koeficiento

Pastūmos pavaros žingsnio priklausomybė nuo stiprinimo koeficiento tampa nebetiesinė, kai pradedamas riboti pastūmos variklio greitis. Pastūmos pavaros varikliui pasiekus masimalų leidžiamą greitį prasideda greičio ribojimas ir pradeda mažėti pastūmos žingsnis.

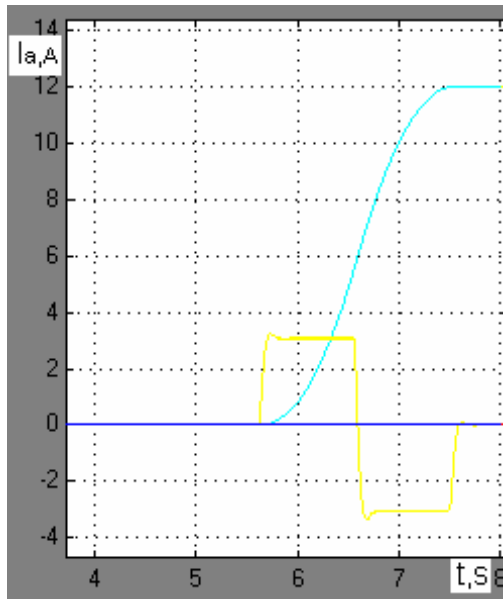
4.3 Pastūmos pavarų energijos sąnaudų palyginimas esant tam pačiam pozicionavimo žingsniui

Abiem pastūmos pavaros valdymo atvejams nustatau $0,6m$ pozicionavimo žingsnio didumą.

Paveikslėliuose 4.7 ir 4.8 pozicionavimo žingsnis yra padaugintas iš stiprinimo koeficiento 20. Palyginus gautas diagramas, palaikant pastovų dinaminį variklio momentą, reikalingą žingsniui atlikti per apibrėžta laiką (4.7 pav), su diagramomis gautomis, kai pozicionuojant minimizuojami energijos nuostoliai (4.8 pav), matyti, kad momentai yra skirtingi, o atliekams pastūmos žingsnis vienodas. Sistemoje su greičio regulatoriumi variklio momentas yra mažesnis, bet jis veikia ilgesnį laiką, o sistemoje su srovės regulatoriumi momentas yra didesnis, bet jis palaikomas trumpesni laiką.



4.7 pav. Žingsnio ir srovės diagramos
minimizuojant dinaminį momentą



4.8 pav. Žingsnio ir srovės diagramos
minimizuojant energijos nuostolius

Maksimali srovė įveikiant tą patį kelią per tą patį laiką apskaičiuojama, pagal lygtis 4.1 ir 4.2.

$$I_{\max_o} = \frac{4SJ_v}{T^2 C\Phi} ; \quad (4.1)$$

čia: I_{\max_o} – srovė, kai pozicionuojama palaikant pastovią srovę, A;

S – pozicionavimo žingsnis, m;

J_v – inercijos momentas, kgm^2 ;

T – pozicionavimo laikas, s;

C^ϕ – koeficientas susijęs su varikliu.

$$I_{\max_e} = \frac{6SJ_v}{T^2 C\Phi} . \quad (4.2)$$

čia: I_{\max_e} – srovė kai pozicionuojama minimizuojant energijos sąnaudas, A.

$$\frac{I_{\max_o}}{I_{\max_e}} = \frac{4}{6} = 0,6666 \quad (4.3)$$

Energijos sąnaudų palyginimas, kai pozicionuojamas tas pats kelias per tą patį laiką

Energijos sąnaudos prie pastovaus momento

$$Q_{\max_o} = (0,666 I_{\max_e})^2 TR_i = 0,4444 I_{\max}^2 TR_i \quad (4.4)$$

Energijos sąnaudos, kai minimizuojami energijos nuostoliai:

$$Q_e = \frac{1}{3} I_{\max_e}^2 TR_i = 0,3333 I_{\max}^2 TR_i ; \quad (4.5)$$

čia R_i – inkaro varža, Ω .

(4.6)

$$Q_{\max_o} = 1,333 Q_{\max_e} \quad (4.7)$$

Kaip matyti iš 4.7 energijos sąnaudos pozicionuojant su pastoviu momentu yra 1.333 karto didesnės.

5 IŠTIRTŲJŲ SKENAVIMO SISTEMŲ PALYGINIMAS IR DARBO REZULTATŲ APIBENDRINIMAS

Lyginant pastūmos pavaros valdymo sistemas su srovės regulatoriumi ir su greičio regulatoriumi matyti, kad tuščios veikos sąlygomis abu variantai yra vienodi. Padavus apkrova pastūmos pavarai išryškėja jų skirtumai. Sistemoje su srovės regulatoriumi apkrovas momentas visiškai išderina sistemą, o apkrovos įtaka sistemoje su greičio regulatoriumi turi mažesnę įtaką, kadangi šioje sistemoje yra greičio grįžtamas rišys kuris beveik kompensuoja apkrovos įtaką.

Apkrovos įtakos kompensavimui panaudotas signalinės adaptacijos blokas visiškai pasiteisino. Signalinės adaptacijos blokas palygina etaloninės ir realios pastūmos pavaros greitį ir jeigu tarp jų atsiranda skirtumas, tada yra formuojamas nuokrypos signalas ϵ , kuris paduodamas vienu atveju į greičio regulatorių, o kitu atveju į srovės regulatorių priklausomai nuo pasirinktos pastūmos pavaros valdymo sistemos. Iš gautų grafikų 3.4 pav. ir 4.3. pav. matyti, kad abiejose valdymo sistemose su greičio regulatoriumi ir su srovės regulatoriumi adaptacijos blokas vienodai kompensuoja apkrovos įtaką. Abiejose pavaros valdymo sistemose adaptacijos blokas nebesugeba sukompensuoti apkrovos, kai pasiekama 25A apkrova, kadangi pradeda riboti variklio inkaro srovė ir yra nebepraleidžimas visas adaptacijos bloko formuojamas apkrovos kompensavimo signalas.

Lyginant pastūmos pavaros padaroma žingsnio didumą abiejose valdymo sistemose, matyti, kad sistemas su srovės regulatoriumi padaro didesnę žingsnį, negu pavara su greičio regulatoriumi iki to momento kol pradamas riboti pastūmos pavaros greitis. Tiriama variklio atveju su srovės regulatoriumi 2,6 m, o su greičio regulatoriumi 2m. Taigi galima teigti, kad pavara su srovės regulatoriumi turi didesnę tiesinę priklausomybę, negu pavara su greičio regulatoriumi. Suprantama, kad šių pavrų maksimalus žingsniai prikalsu nuo slankiojamosios pavaros reverso laiko, ir kuo slankiojamji pavara greičiau reversuosiu tuo bus mažesnis laiko rezervas pastūmos žingsniui atlikti ir pastūmos pavara sugebės atlikti mažesni žingsnį.

Palyginus gautus momentus (srovę $M = I C^\phi$) pastūmos pavarai atliekant to paties dydžio žingsnį matyti (4.6; 4.7 pav), kad minimizuojant energijos nuostolius variklį veikia didesnis momentas, negu tuomet kai pavaros žingsnis yra atliekamas su pastoviu dinaminium momentu (4.6 pav).

Apibendrinant tiriamąjį darbą galime suformuluoti šitokias išvadas:

1. Dirbant tuščios veikos sąlygomis abi išnagrinėtos valdymo sistemos yra vienodos.
2. Pastūmos pavaroms dirbant su apkrova matyti, kad invariantiškesnė apkrovai yra pavara su greičio regulatoriumi, nes šioje pavaroje apkrovą beveik pilnai kompensuoja greičio grįžtamas rišys.
3. Pastūmos pavaros akrovai kompensuoti pasirinktas signalinės adaptacijos principas, tai atlieka visiškai gerai.
4. Pastūmos pavara kurios variklis maitinamas iš srovės šaltinio turi didesnę pralaidumo juostą, negu pavara su greičio

regulatoriumi.

5. Energijos sąnaudos sistemoje su greičio regulatoriumi yra 1,333 karto didesnės, negu sistemoje su srovės regulatoriumi.

Literatūra

1. Geleževičius V., Krikščiūnas K., Kubilius V., Elektros pavarų valdymo sistemos. Vilnius: Mokslas, 1990

2. Daunoras J., Dinaminių sistemų modeliavimas naudojant matlab/simulink. Kaunas: Technologija, 2001.
3. Ред. Копылова И. П., Справочник по электрическим машинам. Т.1.- М.: Энергоатмиздат, 1988.
4. Geleževičius V. Skenavimo sistemų optimalaus valdymo principai // Elektronika ir elektrotechnika: - Kaunas: Technologija, 1997. – Nr. 3(12). – P. 35-37.
5. Geleževičius V., Dvikoordinatės vykdomo sistemos: Habilitacinis darbas. 1997.
6. Ramonas Z. Technologijos fakulteto studijų darbų parengimo tvarka:mokomoji knyga/Z.Ramonas,V.Petronis,D.Čikotienė. Šiauliai, 2004.
7. www.saic.com/gov/rtis/saicuii
8. www.renishaw.com
10. Борцов Ю. А. Электро-механические системы с адаптивным и модальным управлением. Энергоатомиздат. Ленинград,1984.
11. Павлов Б.В., Соловьев И.Г., Системы прямого адаптивного управления. М.: Наука,1989.