



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

AUTOMATIKOS KATEDRA

Marius Speičys

**TIESIAEIGIŲ ASINCHRONINIŲ PAVARŲ DINAMINIŲ VYKSMŲ
FORMAVIMAS**

**FORMATION OF DYNAMICS PROCESSES IN THE LINEAR INDUCTION
DRIVES**

Baigiamasis magistro darbas

Automatikos studijų programa, valstybinis kodas 621H62001

Automatinių sistemų specializacija

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2012

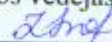
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

AUTOMATIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas



(Parašas)

Dita Savickienė

(Vardas, pavardė)

2012-06-12

Marius Speičys

**TIESIAEIGIŲ ASINCHRONINIŲ PAVARŲ DINAMINIŲ VYKSMŲ
FORMAVIMAS**

**FORMATION OF DYNAMICS PROCESSES IN THE LINEAR INDUCTION
DRIVES**

Baigiamasis magistro darbas

Automatikos studijų programa, valstybinis kodas 621H62001

Automatinių sistemų specializacija

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis

Vadovas prof. habil. dr. Algimantas Juozas Poška
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)


(Parašas)

2012-05-29
(Data)

Konsultantas doc. Dainius Udris
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)


(Parašas)

2012-05-31
(Data)

Konsultantas asist. Daiva Macko
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)


(Parašas)

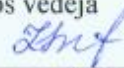
2012-05-30
(Data)

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis
Automatikos studijų programa, valstybinis kodas 621H62001
Automatinių sistemų specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėja



(Parašas)

Zita Savickienė
(Vardas, pavardė)

2012-02-15

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2012-02-15 Nr. 08

Vilnius

Studentui Mariui Speičiui
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: **Tiesiaiegių asinchroninių pavarų dinaminių vyksmų formavimas**
Formation of Dynamics Processes in the Linear Induction Drives

patvirtinta 2010 m. lapkričio 2 d. dekanų potvarkiu Nr. 195el.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2012 m. birželio 01 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. ĮVADAS.
2. LITERATŪROS APIE TIESIAIEGIUS ASINCHRONINIUS VARIKLIUS ANALIZĖ.
3. TYRIMO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI.
4. TEORINĖ DALIS.
 - 4.1. Tiesiaieigės asinchroninės pavaros parametrų skaičiavimas.
 - 4.2. Tiesiaieigės pavaros kompiuterinio modelio sudarymas, esant pastoviams TAV parametrų.
 - 4.3. Tiesiaieigės pavaros kompiuterinio modelio sudarymas, esant kintamiems TAV parametrų.
5. TIRIAMOJI DALIS.
 - 5.1. Tiesiaieigės elektros pavaros su pastoviais parametrais dinaminių charakteristikų imitavimas.
 - 5.2. Tiesiaieigės elektros pavaros su kintamais parametrais dinaminių charakteristikų imitavimas.
6. TYRIMO REZULTATŲ APIBENDRINIMAS.
 - 6.1. Išvados.
 - 6.2. Rekomendacijos ir pasiūlymai.
7. LITERATŪRA IR KITI ŠALTINIAI.

Vadovas



(Parašas)

prof. habil. dr. Algimantas Juozas Poška
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau



(Parašas)

Marius Speičys
(Vardas, pavardė)

2012 02 15

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Elektronikos fakultetas
Automatikos katedra

ISBN
Egz. sk.
Data-.....-..... ISSN

Antrosios pakopos studijų **Automatikos** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Tiesiaeigių asinchroninių pavarų dinaminių vyksmų formavimas**

Autorius **Marius Speičys**

Vadovas **prof. habil. dr. Algimantas Juozas Poška**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe apžvelgtos tiesiaeigių asinchroninių variklių panaudojimo sritys. Išnagrinėta tiesiaeigių asinchroninių variklių konstrukcija ir jų tradiciniai bei netradiciniai valdymo būdai. Teorinėje dalyje aprašyta tiesiaeigės asinchroninės pavaros parametrų skaičiavimo metodika, kuri reikalinga nagrinėjamų kompiuterinių modelių parametrų apskaičiuoti. Sudaryti nauji tiesiaeigių asinchroninių pavarų kompiuteriniai modeliai, esant įvairiai kintamiems TAV parametrų. Taip pat sudaryti dviejų tipų kompiuteriniai modeliai: x, y koordinatų sistemoje ir fazinėje koordinatų sistemoje. Tiriama dalyje pateiktos tiesiaeigės elektros pavaros su pastoviais ir kintamais parametrais dinaminės charakteristikos. Remiantis gautais rezultatais baigiamojo darbo pabaigoje suformuluotos išvados ir pasiūlymai. Prieduose pateikti TAV skaičiavimo rezultatai.

Darbą sudaro aštuonios dalys: įvadas, literatūros apie tiesiaeigių asinchroninių variklių konstrukciją analizė, tyrimo tikslas ir uždaviniai, teorinė dalis, tiriama dalis, tyrimo rezultatų apibendrinimas, literatūra ir kiti šaltiniai ir priedai.

Darbo apimtis – 65 p. teksto be priedų, 57 iliustr., 2 lent., 32 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai

antrinis elementas, dinaminės charakteristikos, tiesiaeigis asinchroninis variklis, induktorius, kompiuterinis modelis.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Electronics
Department of Automation

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Automation** study programme Master's Thesis

Title **Formation of Dynamics Processes in the Linear Induction Drives**

Author **Marius Speičys**

Academic supervisor **Prof Dr Habil Algimantas Juozas Poška**

**Thesis
language:**
Lithuanian

Annotation

The final paper includes the review of linear induction motors application fields. The structure and non-standard control methods of linear induction motors are discussed. Theoretical part provides calculation methods of linear induction drive parameters, required for calculation of parameters of the considered computer models. New computer models of linear induction drives are created under the condition of variously changing LIM parameters. Moreover, two types of computer models are created: in x, y coordinate system and phase coordinate system. The research part demonstrates dynamic characteristics of linear induction drives with constant and changing parameters. Considering the obtained results the final paper is completed with formulated conclusions and proposals. The annexes include LIM calculation results.

The paper consists of eight parts: introduction, analysis of literature related to the structure of linear induction motors, research objective and tasks, theoretical part, research part, generalization of the research results, references and other sources and annexes.

The paper scope – 65 pages of text excluding annexes, 57 figures, 32 tables, 32 bibliographic sources.

Keywords

secondary element, dynamic characteristics, linear induction motor, inductor, computer model.

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Marius Speičys, 20064953

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Automatika, AUSfm-10

(Studijų programa, akademinė grupė)

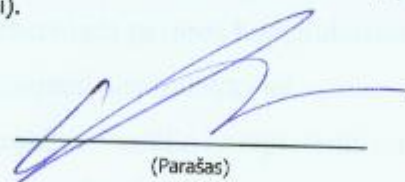
**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2012 m. gegužės 30 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Tiesiaeigių asinchroninių pavarų dinaminių vyksmų formavimas“ patvirtintas 2010 m. lapkričio 2 d. dekanų potvarkiu Nr. 195el, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: doc. dr. Dainius Udris, Daiva Macko. Mano darbo vadovas prof. habil. dr. Algimantas Juozas Poška.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Marius Speičys

(Vardas ir pavardė)

Turinys

1. ĮVADAS.....	8
2. LITERATŪROS APIE TIESIAEIGIUS ASINCHRONINIUS VARIKLIUS ANALIZĖ	10
2.1. Tiesiaeigių asinchroninių variklių konstrukcijų apžvalga.....	10
2.2. Tiesiaeigių asinchroninių variklių induktorių apvijos.....	14
2.3. Tiesiaeigių asinchroninių variklių taikymas	16
2.4. Tradiciniai tiesiaeigių asinchroninių variklių valdymo būdai.....	17
2.4. Netradiciniai tiesiaeigių asinchroninių variklių valdymo būdai	23
3. TYRIMO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI.....	32
4. TEORINĖ DALIS	32
4.1. Tiesiaeigės asinchroninės pavaros parametrų skaičiavimas	32
4.2. Tiesiaeigės pavaros kompiuterinio modelio sudarymas, esant pastoviams TAV parametrms	38
4.3. Tiesiaeigės pavaros kompiuterinio modelio sudarymas, esant kintamiems TAV parametrms	42
4.3.1. Tiesiaeigės asinchroninės pavaros kompiuterinis modelis, esant kintamiems parametrms, kai junginėjamas vienas induktorius	42
4.3.2. Tiesiaeigės asinchroninės pavaros kompiuterinis modelis, esant kintamiems parametrms, kai junginėjami abu induktoriai.....	45
4.4. Tiesiaeigio asinchroninio variklio kompiuterinis modelis fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjamas vienas induktorius	48
4.4.1. Tiesiaeigio asinchroninio variklio kompiuterinis modelis fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjami abu induktoriai	50
5. TIRIAMOJI DALIS	52
5.1. Tiesiaeigės elektros pavaros su pastoviais parametrais dinaminių charakteristikų imitavimas	52
5.2. Tiesiaeigės elektros pavaros su kintamais parametrais dinaminių charakteristikų imitavimas	54
5.2.1. Tiesiaeigės elektros pavaros su kintamais parametrais dinaminių charakteristikų imitavimas, kai junginėjamas vienas induktorius	54
5.2.2. Tiesiaeigės elektros pavaros su kintamais parametrais dinaminių charakteristikų imitavimas, kai junginėjami abu induktoriai.....	57

5.3. Tiesiaeigės elektros pavaros kompiuterinio modelio fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjamas vienas induktorius, dinaminų charakteristikų imitavimas	60
5.3.1. Tiesiaeigės elektros pavaros kompiuterinio modelio fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjami abu induktoriai, dinaminų charakteristikų imitavimas.....	62
6. TYRIMO REZULTATŲ APIBENDRINIMAS	64
6.1. Išvados.....	64
6.2. Rekomendacijos ir pasiūlymai	64
7. LITERATŪRA IR KITI ŠALTINIAI	65
PRIEDAI	67

1. ĮVADAS

Pramonėje dažniausiai naudojami rotaciniai asinchroniniai varikliai. Dažnai reikalingas slenkamasis judesys: šiam judesiui gauti naudojamos įvairios kinematinės grandys, kurios yra įrengiamos tarp variklio ir mechanizmo. Tokiam judesio pakeitimui naudojami: reduktoriai, variatoriai, papildomi velenai, papildomi guoliai, diržai ir kt. Tokiai konstrukcijai reikia daug vietos, sunaudojama daug medžiagų (metalo ir kt.), jos patikimumas yra mažas, jai reikia daug priežiūros ir blogėja dinaminės charakteristikos.

Norint efektyviau automatizuoti lanksčiąją gamybą slenkamajam judesiui reikia naudoti nestandartinius tiesiaeigius asinchroninius variklius ir jų valdymo galimybes. Šių variklių energetinės charakteristikos prastesnės negu sukiojo, todėl mechatroninėse sistemose su TAV pranašumai atsiranda tik tuo atveju, kai jis yra projektuojamas konkrečiam įrenginiui ir tampa neatsiejama jo dalimi.

Kuriant tiesiaeiges elektros pavaras visuomet reikia analizuoti alternatyvą: elektros pavara su tiesiaeigiu elektros varikliu be reduktoriaus ar standartinė sukioji elektros pavara su kinematinėmis grandimis, keičiančiomis sukamąjį judesį tiesiaeigiu. Todėl dažniausiai TAV racionalu naudoti tuomet, kai: pavyksta sutapatinti TAV antrinį elementą su valdomo mechanizmo srovinėmis dalimis, reikia ypač didelės veikimo spartos, keliamas technologinio lankstumo reikalavimas.

Tiesiaeigės elektros pavaros taikomos puslaidininkių ir elektronikos pramonėje, sprogimų lokalizavimo sistemose, pramonės robotuose, transporto sistemose, kompiuterinėje technikoje, medicinos prietaisuose, staklėse, energetikos objektų apsaugos ir valdymo sistemose.

Dažnai yra didžiulės galimybės taikyti standartines dažnines pavaras su reduktoriais arba be jų. Tokios pavaros yra ekonomiškos ir galima formuoti platų valdymo diapazoną. Tačiau naudojant tokią konstrukciją netaupomos medžiagos ir finansiniai resursai. Naudojant specifines tiesiaeiges pavaras ir jų netradicinius valdymo būdus, galima išvengti daug papildomų grandžių (dažnio keitiklių, reduktorių, guolių, papildomų velenų) ir taip sumažinti pavaros kainą ir padidinti jos patikimumą.

Šiame magistro baigiamajame darbe apžvelgtos tiesiaeigio asinchroninio variklių konstrukcijos ir jų tradiciniai bei netradiciniai valdymo būdai. Darbe tiriama tiesiaeigė asinchroninė pavara, įvairiai komutuojuojant elektriškai ir magnetiškai dvipusio tiesiaeigio asinchroninio variklio induktorius, t. y. keičiant TAV parametrus. Tiriamos tiesiaeigių asinchroninių variklių dinaminės charakteristikos esant pastoviems ir kintamiems TAV parametrams. Dinaminės charakteristikos esant kintamiems TAV parametrams tyrinėjamos dviem skirtingais modeliais: x , y transformuotų koordinačių sistemoje ir fazinėje koordinačių sistemoje. Šios charakteristikos tyrinėjamos taikant du

skirtingus metodus: kai vienas induktorius dirba nuolat, o kitas komutuojamas, ir kai abu induktoriai komutuojami.

Baigiamajame darbe įrodoma, kad ištirtas tiesiaeigių asinchroninių pavarų dinaminų charakteristikų formavimo būdas gali būti sėkmingai pritaikytas automatizuotose lanksčiosios gamybos sistemose.

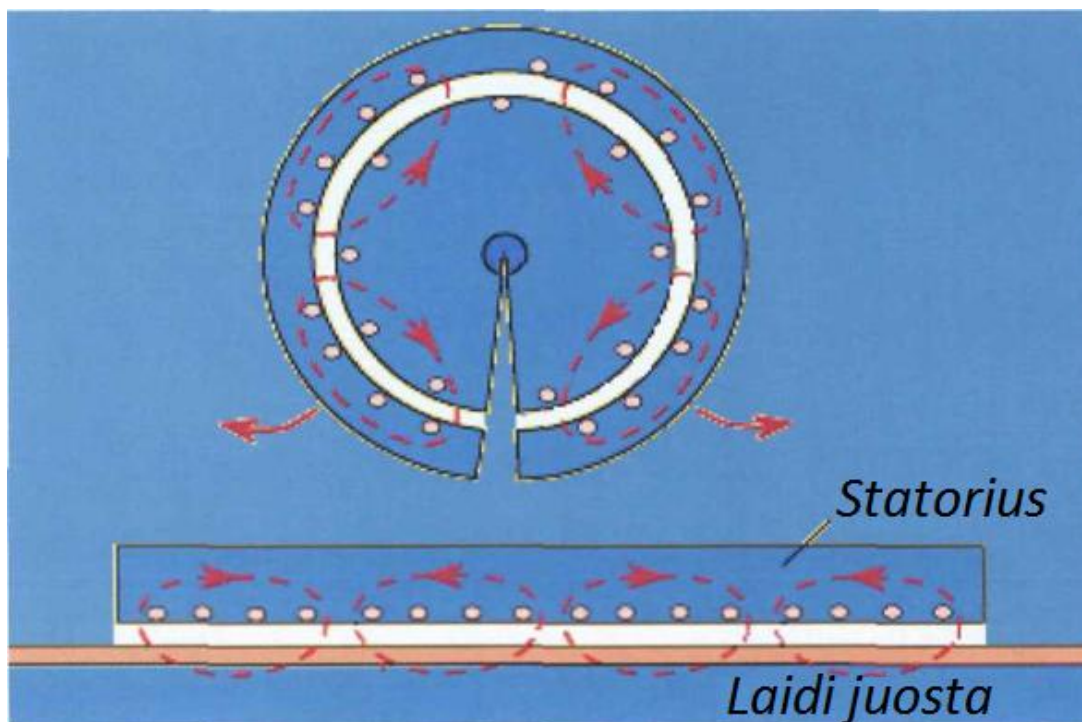
2. LITERATŪROS APIE TIESIAEIGIUS ASINCHRONINIUS VARIKLIUS ANALIZĖ

2.1. Tiesiaeigių asinchroninių variklių konstrukcijų apžvalga

Tiesiaeigį asinchroninį variklį (TAV) sudaro dvi pagrindinės dalys: induktorius ir antrinis elementas. Jei sukamojo judesio variklio statorių tariamai perpjausime ir ištiesinsime, tai gausime TAV (2.1 pav.).



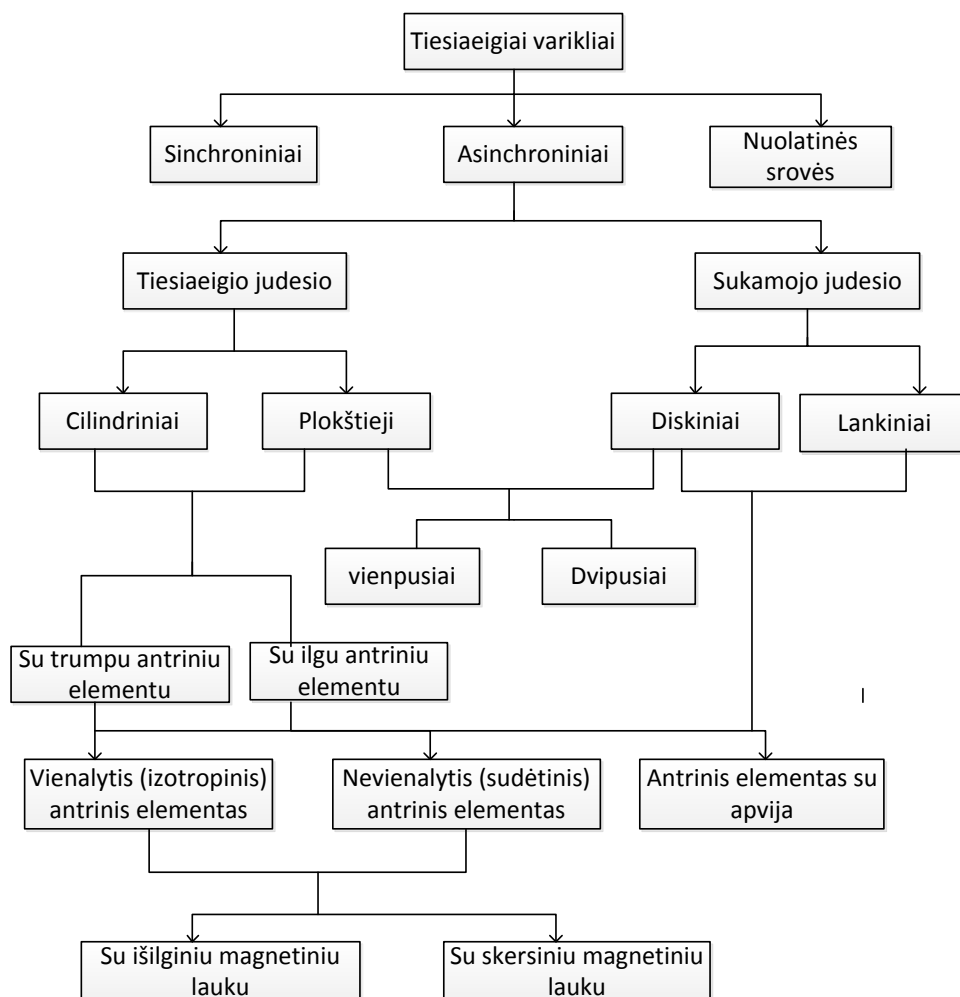
a)



b)

2.1 pav. Mintinė realaus sukamojo judesio variklio transformacija į tiesiaeigį (a) ir grafinis jo vaizdas (b) [31]

TAV skiriasi nuo sukamojo judesio asinchroninio variklio tuo, kad TAV pirminis elementas (induktorius) kuria ne sukamąjį, o bėgamąjį magnetinį lauką. TAV klasifikavimas pateiktas 2.2 pav.



2.2 pav. TAV klasifikavimas

TAV slenkamojo magnetinio lauko greitis

$$v_1 = 2\tau f_1 = \frac{f_1 L_c}{p}; \quad (2.1)$$

čia f_1 – statoriaus apvijos srovės dažnis;

τ – poliaus žingsnis;

L_c – statoriaus (induktoriaus) ilgis.

Judant antriniam elementui („ištiesintam“ rotorui), variklio darbinė dalis vis mažėja ir antrinis elementas išeina iš indukatoriaus veikimo zonos. Norint gauti judesį ilgesnėje kelio atkarpoje, reikia pailginti induktorių arba antrinį elementą. Kadangi asinchroninių elektros variklių statorius ir rotorius gaminami iš elektrotechninio plieno plokštelių, kurių grioveliuose

sudedamos spalvotojo metalo (vario, aliuminio) apvijos, tai, pailginus vieną jų, variklis brangsta. Kai kelio atkarpa yra didelė, klasikinį ištiesintą variklį gaminti per brangu. Ieškoma paprastesnės konstrukcijos. Tiesiaeigį asinchroninį variklį (TAV) galima pagaminti pigiau, antrinį elementą su trumpai sujungta apvija pakeičiant aliuminio ar kito laidaus metalo šyna.

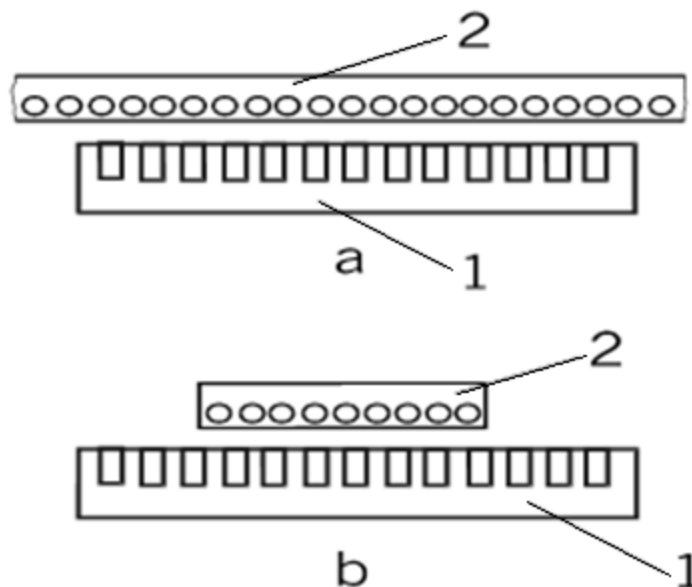
Palyginus sukamojo judesio pavarą ir pavarą su tiesiaeigiu asinchroniniu varikliu, aiškiai matomi pastarosios pranašumai: mažesnis mechaninių grandžių skaičius, mažesnė inercija dėl sumažėjusios judančių dalių masės, mažesnis nusidėvėjimas. Tačiau dėl didesnio oro tarpo padidėja nuostoliai. Todėl dažniausiai TAV tikslinga taikyti tose mechatroninėse sistemose, kurių vykdymo elementai veikia trumpalaikiu ar trumpalaikiu kartotiniu režimu. Veikiant pavarai tokiais režimais, judamosios dalies greitis paprastai nepasiekia nusistovėjusios vertės, todėl ir statoriaus apvijų srovės nepasiekia nusistovėjusių verčių. Pavara dirba dinaminio režimu. Tiriant tokių elektros pavarų charakteristikas, būtina įvertinti elektromagnetinius pereinamuosius procesus elektros variklyje.

TAV induktoriaus apvijų sukurtas bėgamas magnetinis laukas yra kintamasis laukas. Šis magnetinis laukas kerta antrinį elementą ir indukuoja jame elektrovarą. Antriniame elemente tam tikrais kontūrais ima tekėti srovės (sukūrinės srovės), kurių pasiskirstymas priklauso nuo pirminio, t. y. induktoriaus, magnetinio lauko.

Šios srovės po induktoriais yra beveik lygiagrečios induktoriaus srovės kryptims, o už jų šonų užsidaro. Antrinio elemento dalyse, kurios yra už induktoriaus šonų ir nėra pirminio magnetinio lauko, srovės pasiskirsto savaime ir sudaro uždarus kontūrus. Dėl pirminio magnetinio lauko ir antrinio elemento srovių sąveikos atsiranda elektromagnetinė jėga. Ši jėga veikia slankiojančią variklio dalį nejudamos dalies atžvilgiu.

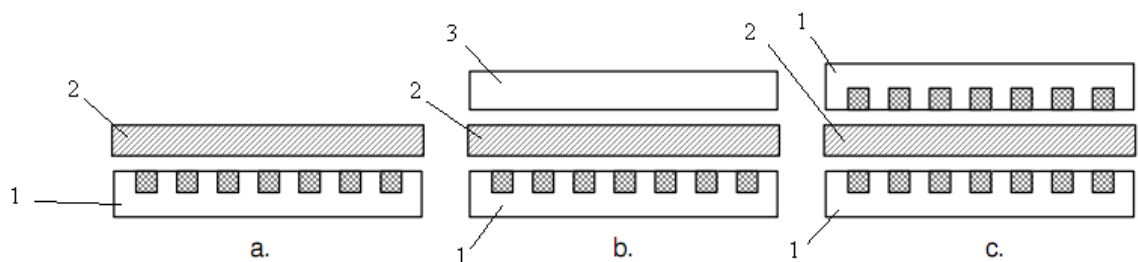
Kai kuriose TAV konstrukcijose slankiojanti dalis yra induktorius, o kai kuriose – antrinis elementas. Kadangi vientisas antrinis elementas pigesnis, o nesant feromagnetinių detalių, TAV daug spartesnis (greitaeigiškesnis), tai tokiu atveju panaudojamas juostos tipo antrinis elementas, kuris gaminamas iš vario, aliuminio arba feromagnetinio plieno. Labai gerų charakteristikų pasiekama tuomet, kai tiesiaeigio variklio antrinis elementas yra sudėtinis, pavyzdžiui pagamintas iš feromagnetinio plieno juostos, padengtos vario sluoksniu.

Perpjauto ir ištiesinto sukamojo judesio asinchroninio variklio, pirminės ir antrinės dalies ilgiai bus praktiškai vienodi. Prijungus tokį variklį prie elektros tinklo, antrinis elementas iš karto pradeda išeiti iš aktyviosios sąveikos zonos, t.y. katapultuojamas. Norint gauti sąveiką ilgesnėje kelio atkarpoje, daroma dvejopai: arba pirminė dalis – induktorius – gaminamas ilgas, o antrinis elementas - trumpas, arba pirminė dalis gaminama trumpa, o antrinis elementas – ilgas (2.3 pav.).



2.3 pav. Tiesiaeigio asinchroninio variklio konstrukcijos: tiesiaeigis asinchroninis variklis su ilgu induktoriumi (a); tiesiaeigis asinchroninis variklis su trupu antriniu elementu (b); 1 – induktorius; 2 – antrinis elementas

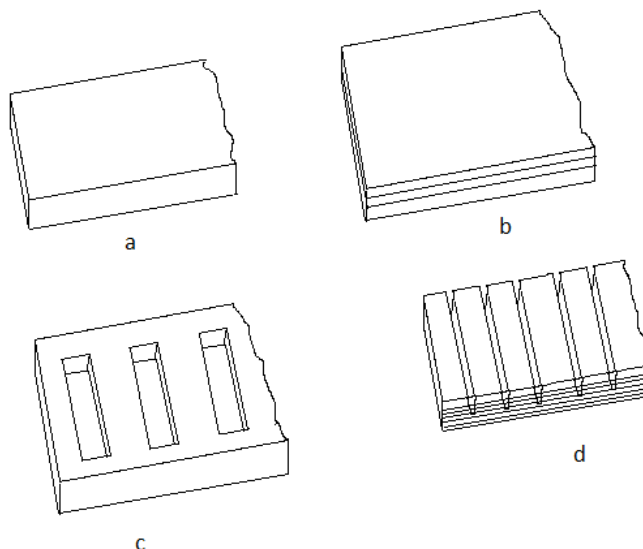
Siekiant atpiginti variklį, reikia ieškoti paprastesnių konstrukcinių sprendimų. Vienas iš jų – narvelinio antrinio elemento pakeitimas vientisa aliuminio ar kito metalo šyna. 2.4 pav., b parodytas elektriškai vienpusis, o magnetiškai dvipusis TAV. Pašalinus šuntą gaunamas elektriškai ir magnetiškai vienpusis TAV 2.4 pav., a. Vietoj šunto naudojant antrąjį induktorių (2.4 pav., c) gaunamas elektriškai ir magnetiškai dvipusis TAV [1 - 3].



2.4 pav. Elektriškai ir magnetiškai vienpusis (a) ; elektriškai vienpusis, magnetiškai dvipusis (b) ir ; elektriškai ir magnetiškai dvipusis (c) tiesiaeigis asinchroninis variklis; 1 – induktorius; 2 – antrinis elementas; 3 – magnetinis šuntas

Kita išskirtinė antrinio elemento savybė yra jo konstrukcija (2.5 pav.). Pati paprasčiausia antrinio elemento konstrukcija yra vientisos elektrai laidžios šynos pavidalo (2.5 pav. a). Dažnai naudojami sluoksniuoti antriniai elementai, sudaryti iš feromagnetinės juostos 2.5 pav. (b), kuri iš vienos arba abiejų pusių uždengta varinėmis arba aliumininėmis šynomis. 2.5 pav. (c) pavaizduota

antrinio elemento konstrukcija, jis pagamintas iš aliumininės arba varinės šynos su kiaurymėmis, kurios paliekamos tuščios, arba yra užpildomos feromagnetine medžiaga. 2.5 pav. (d) parodytas antrinis elementas su grioveliais narvelinio tipo apvijai [21].

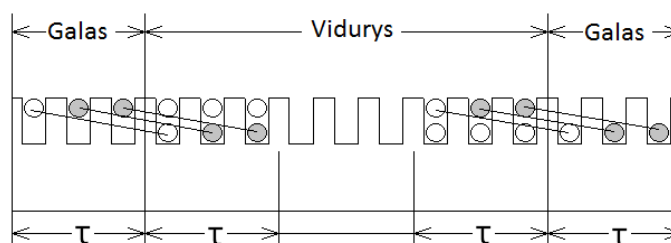


2.5 pav. TAV antrinio elemento konstrukcijos

2.2. Tiesiaeigių asinchroninių variklių induktorių apvijos

Magnetinį lauką tiesiaeigiuose asinchroniniuose varikliuose kuria tokios pačios konstrukcijos apvijos, kaip sukiosiose asinchroninėse mašinose. TAV induktorių apvijos gali būti dvisluoksnės arba vienasluoksnės. Dažniausiai naudojamos dvisluoksnės paskirstytosios apvijos [3].

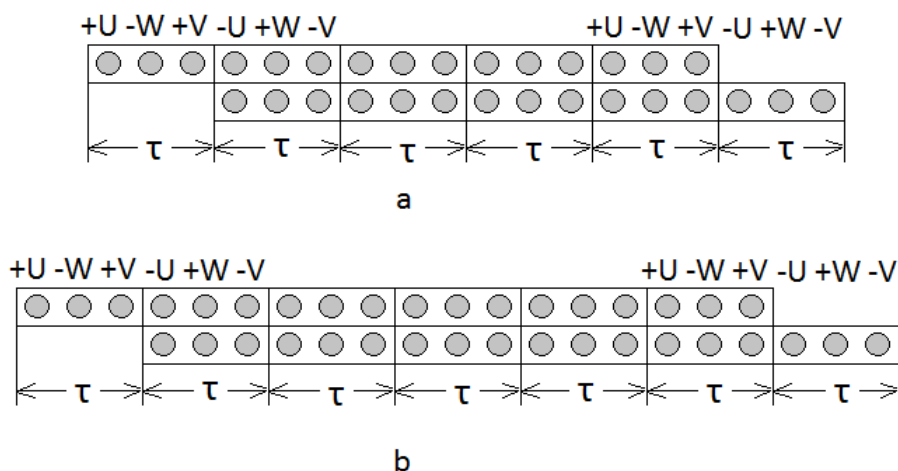
Dvisluoksnių TAV apvijos pasižymi pusiau užpildytais grioveliais induktoriaus galuose (2.6 pav.).



2.6 pav. Dvisluoksnė apvija

Iš 2.6 pav. matyti, kad induktoriaus viduryje yra normali dvisluoksnė apvija, o abiejuose galuose yra tik vienas apvijos sluoksnis. Šios apvijos gali būti su lyginiu arba nelyginiu aktyviųjų zonų skaičiumi (2.7 pav.). Aktyvioji zona yra induktoriaus dalis, kurios grioveliuose esančiais

laidininkais teka tos pačios krypties srovė. Dažniausiai aktyviosios zonos plotis yra lygus poliaus žingsniui [3].



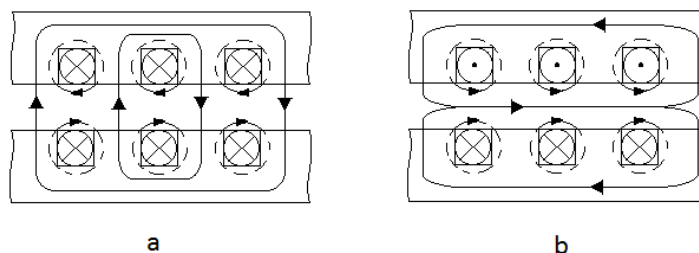
2.7 pav. Induktoriaus aktyviosios zonos: a – kai aktyviųjų zonų skaičius lyginis, b – kai aktyviųjų zonų skaičius nelyginis

Aktyviosios zonos daro nevienodą įtaką varikliniam ir stabdymo režimams. Jos priklauso nuo magnetinės sistemos konstrukcijos.

Magnetiniai laukai, kuriuos kuria dvipusio TAV induktoriai, sąveikauja vienas su kitu, todėl didelę reikšmę suminiam TAV laukui turi laidininkų, esančių vienas priešais kitą, srovių fazės.

Galimi du atvejai: suderintasis jungimas, kai kampas tarp srovių fazių lygus nuliui ($\varphi=0$), ir priešpriešinį jungimas, kai srovių fazės skiriasi 180 el. laipsnių.

Esant suderintam jungimui (2.8 pav., a) aplink abu laidininkus, kurių srovių fazės yra vienodos, susidaro bendras magnetinis laukas. Jo dydis priklauso nuo oro tarpo magnetinės varžos, nes magnetolaidžių magnetinė skvarba yra labai didelė, todėl $H_z=0$. Esant suderintajam jungimui, magnetinis laukas oro tarpą pereina beveik statmenai. Todėl oro tarpe yra tik viena normalinė H_z dedamoji, kuri dalyvauja kuriant TAV traukos jėgą [3].



2.8 pav. Dvipusio TAV induktorių srovės: a – suderinto jungimo atveju, b – priešinio jungimo atveju

Esant priešiniam jungimui (2.8 pav. b), induktorių kuriamo magnetinio lauko normalinės dedamosios viena kitą kompensuoja, todėl oro tarpe $H_z=0$. Šiuo atveju induktorių kuriamas magnetinis laukas turi tik vieną dedamąją, nukreiptą išilgine kryptimi. Išilginė magnetinė dedamoji H_x nedalyvauja kuriant išilginę TAV traukos jėgą, todėl priešinio jungimo atvejis praktikoje nenaudojamas [3].

2.3. Tiesiaeigių asinchroninių variklių taikymas

Dažniausiai tiesiaeigiai varikliai naudojami norint gauti tiesiaeigį, slenkamąjį, slenkamąjį - grįžtamąjį judesį arba sukamajam judesiui gauti.

Priklausomai nuo taikymo srities, tiesiaeigius asinchroninius variklius galima suskirstyti į tris grupes:

1) varikliai skirti mechaninei jėgai kurti. Jie taikomi mechatroninėse sistemose, kuriose reikšmingiausia yra paleidimo ar palaikymo jėga. Tokių variklių eiga maža arba lygi nuliui, greitis mažas, veikimas trumpalaikis, energetinės charakteristikos ne tokios svarbios kaip santykinė jėga (jėga, tenkanti iš tinklo imamos galios, variklio masės ar induktoriaus aktyviojo paviršiaus ploto vienetui) [2, 3];

2) varikliai, kuriantys mechaninę energiją. Jie įgalina nedidelėje kelio atkarpoje sukaupti maksimalią energiją (jie naudojami elektros katapultuose, automobilių ar laivų pagreitinimui avarinių situacijų bandymų stenduose ir pan.) [2,3];

3) varikliai, kuriantys mechaninę galią. Tai transporto sistemų ar pramonės įrenginių elektros pavarų varikliai, skirti ilgalaikio darbo režimui. Tokiems varikliams greta kitų keliama aukštų energetinių rodiklių (pvz., aukšto energetinio faktoriaus – naudingumo ir galios koeficientų sandaugos) reikalavimai [2, 3].

Tiesiaeigės pavaros dažniausiai naudojamos šiose srityse:

- greitaeigiame transporte ir katapultose;
- pramonės transporto sistemose;
- rūšiavimo sistemose;
- vertikaliojo transporto sistemose;
- sprogimo lokolizavimo sistemose;
- pramonės robotuose ir staklėse;
- energetikos objektų apsaugos ir valdymo sistemose;
- medicinos prietaisuose;
- kompiuterinėje technikoje.

2.4. Tradiciniai tiesiaeigių asinchroninių variklių valdymo būdai

Tiesiaeigėms elektros pavaroms ir elektros pavaroms su rotaciniais elektros varikliais galioja tie patys valdymo būdai, pavyzdžiui, pavaros greitį galima valdyti keičiant maitinimo įtampą impulsiniu ar kitais metodais arba keičiant maitinimo įtampos dažnį ir amplitudę.

Tiesiaeigių asinchroninių variklių greičio reguliavimas, perjungiant statoriaus polių porų skaičių.

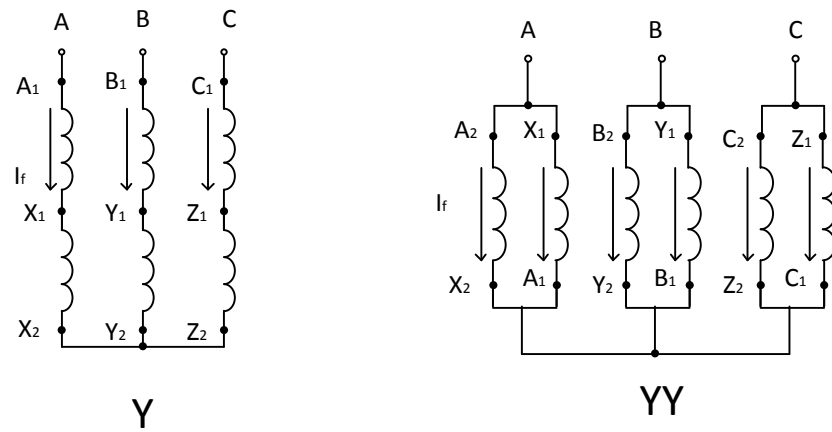
Tiesiaeigių asinchroninių variklio polių poras galima perjunginėti esant dviem induktoriaus apvijoms su įvairiu polių porų skaičiumi. Toks polių keitimo būdas yra brangus, nes statoriaus apvijoms suvartojama dvigubai daugiau vario.

Daugiagrečiai varikliai gaminami dviejų, trijų ir keturių sukimosi greičių. Jų statoriuje gali būti suklota viena arba dvi apvijos.

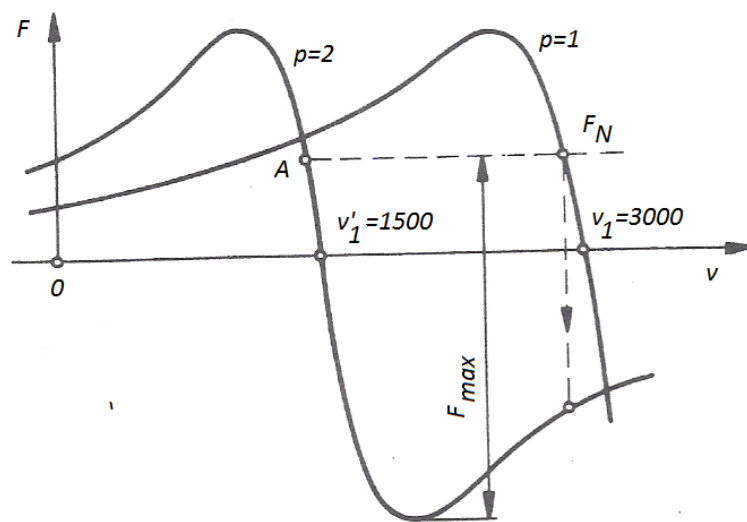
Daugiagrečiai asinchroniniai varikliai priklausomai nuo veleno apkrovos gali dirbti:

- 1) esant skirtingam polių porų skaičiui, kai elektromagnetinis momentas išlieka pastovus, o galia kinta proporcingai antrinio elemento greičiui;
- 2) esant skirtingam polių porų skaičiui, kai galia išlieka pastovi, o elektromagnetinis momentas kinta atvirkščiai proporcingai antrinio elemento greičiui.

Dažnai eksploatuojami dviejų greičių tiesiaeigiai asinchroniniai varikliai, kurių polių porų skaičius $p=2$ ir $p=1$. Tokių variklių statorių apvijų jungimo schemas pateiktos 2.9 pav. a. Jungimas žvaigžde (Y) atitinka $p=2$, jungimas dviguba žvaigžde (Y Y) – $p=1$. 2.9 pav. b pateiktos mechaninės charakteristikos, atitinkančios apvijų jungimą parodytą 2.9 pav. a [4].



a



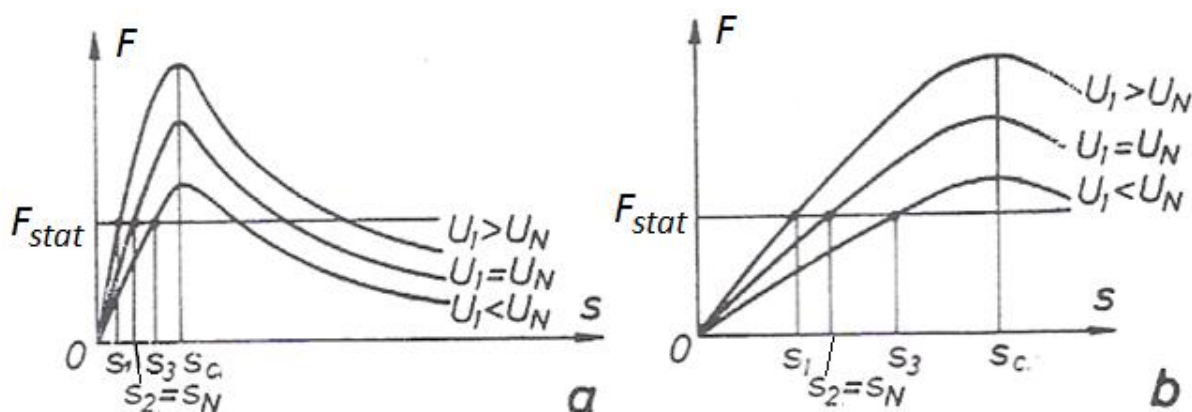
b

2.9 pav. Asinchroninių variklių charakteristikų formavimas, perjungiant polių porų skaičių: a - jungimo schemas Y ir YY; b – mechaninės charakteristikos

Perjungiant induktoriaus apviją iš schemas (Y Y) $p=1$ į schemą (Y) $p=2$, darbo taškas F_N (2.9 pav. b) pereina į mechaninės charakteristikos, kuri atitinka $p=2$, apatinę dalį. Tiesiaiegis asinchroninis variklis ima dirbti generatoriniu režimu. Antrinį elementą veikia didelis stabdymo jėga, kurios maksimumas F_{max} . Antrinio elemento greitis lėtėja tol, kol elektromagnetinė jėga susilygina su apkrovos jėga F_N taške A [4].

Tiesiaiegių asinchroninių variklių greičio reguliavimas, keičiant maitinimo įtampą.

Keičiant maitinimo įtampą, jėga kinta kvadrato dėsnio, tačiau kritinis slydimas s_c lieka pastovus. TAV kritinis slydimas santykinai mažas; vadinasi, keičiant (mažinant) maitinimo (tinklo) įtampą, slydimą galima didinti nuo s_N iki s_c (2.10 pav.).



2.10 pav. Mechaninės charakteristikos esant įvairioms įtampoms

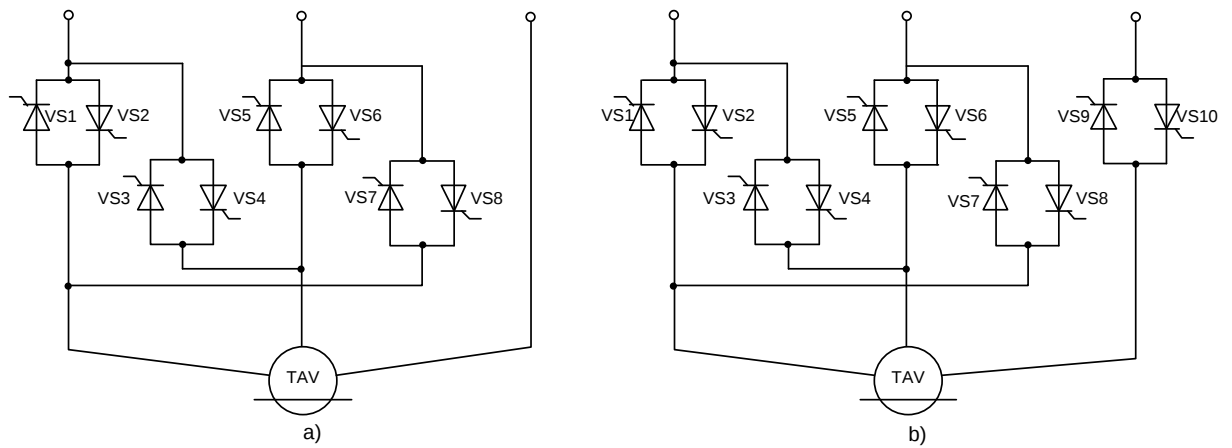
Esant antrinio elemento grandinėje padidintai aktyviajai varžai, šitas greičio reguliavimo būdas gana efektyvus.

Maitinimo įtampą galima mažinti šiais būdais :

- jungiant varžas nuosekliai su statoriaus apvija;
- autotransformatoriumi;
- pamagnetinančiu droseliu.

Šis greičio reguliavimo būdas nėra ekonomiškąs, nes didėjant rotoriaus slydimui didėja rotoriaus elektriniai nuostoliai ΔP_{e2} , todėl šis reguliavimo būdas taikomas tik mažos galios varikliuose.[4]

TAV gali būti valdomi panaudojant tiristorinius įtampos keitiklius. Įtampos keitiklių schemas gali būti įvairios. Jų parinkimas priklauso nuo technologinių reikalavimų ir pavaros darbo sąlygų. Dažniausiai panaudojamos schemas pateiktos 2.11 pav. Jas taikant variklis gali būti reversuojamas.



2.11 pav. Tiristorinių įtampos keitiklių schemos

Tiristoriniai įtampos keitikliai yra greitai veikiantys elektroniniai jungikliai. Šiais elektroniniais jungikliais galima komutuoti kintamosios srovės grandines ir pakeisti vidutinius srovės dydžius apkrovos grandinėje. Naudojant 2.11 pav. a schemą reikės mažiau tiristorinių negu 2.11 pav. b schemoje, tačiau pirmuoju atveju yra žymiai sunkesnės komutavimo sąlygos. Lengva gauti asinchroninio variklio dinaminį stabdymą. Todėl 2.11 pav. a schemoje panaudojami VS2, VS4, VS6, o 2.11 pav. b schemoje VS1, VS4, VS6, VS7 tiristoriai. 2.11 pav. a schemoje VS1 ir VS2 tiristoriai dirba kaip lygintuvai: keičiant valdymo kampą α reguliuojama išlyginta srovė TAV fazėse. Norint reguliuoti visų trijų fazių įtampos pirmosios harmonikos amplitudę naudojama 2.11 pav. b schema, kurioje lygiagrečiai priešpriešai sujungti tiristoriai yra ir trečiojoje fazėje [5].

Tiristoriai parenkami atsižvelgiant į įtampą, nominaliąją srovę, jungimo schemą ir nominaliąją galią.

Tiristorių klasė parenkama pagal formulę:

$$U = 1,2 \cdot U_l \cdot k_1 \cdot k_z; \quad (2.2)$$

čia $k_1 = (1,05 \div 1,07)$ koeficientas, įvertinant galimą tinklo įtampos padidėjimą;

k_z – tiristoriaus įtampos padidėjimo, kuris galimas gėstant rotoriaus magnetiniam laukui, koeficientas; $k_z = 1,4 \div 1,5$ (varikliams iki 4,5 kW) ir $1,5 \div 1,8$ (esant didesnei galiai).

Pagal srovę tiristorius renkamas taikant formulę:

$$I \geq i_p \cdot I_N / k_{sch} \cdot k_0; \quad (2.3)$$

Čia $i_p = \frac{I_p}{I_N}$ - santykinė pavaros variklio paleidimo srovė;

k_{sch} - schemos koeficientas, priklausantis nuo tiristorių sujungimo būdo; k_0 - koeficientas, priklausantis nuo aušinimo sąlygų surandamas iš tiristorių katalogų.

Esant natūraliajam aušinimui k_0 apytikriai galima priimti: tiristoriams iki 50 A - $k_0 = 0,5$; iki (160÷500) A - $k_0 = 0,3$.

Tiristorių perkrovos galimybės yra mažos, todėl jiems turi būti numatyta apsauga. Apsaugos būna dviejų tipų: nuo stiprių srovių (trumpųjų jungimų metu) ir nuo viršįtampių. Tiristoriai gali būti perkrauti ir lygiagrečiai juos sujungiant su nevienodomis charakteristikoms. Nuo trumpųjų jungimų apsisaugoma naudojant greit veikiančius saugiklius arba automatinius išjungiklius. Greitam srovės augimui (di/dt) apriboti naudojami prisotinamieji reaktoriai. Jie jungiami tarp tinklo ir tiristorinio komutatoriaus. Tiristoriai dirba geriau, kai valdymo impulsų priekinis frontas būna status. Nereversuojamose pavarose reikia naudoti srovės atkirtas. Joms suveikus, tiristorių valdymo impulsai visiškai nepaduodami. Tokiu būdu avarijų metu tiristoriai visiškai apsaugomi. Lygiagrečiai tiristoriams jungiamos RC grandinės. Taip apribojamas tiristoriaus įtampos augimo greitis. RC grandinė turi būti montuojama prie pat tiristoriaus [5].

Tiesiaiegių asinchroninių variklių greičio reguliavimas, keičiant maitinimo įtampos dažnį.

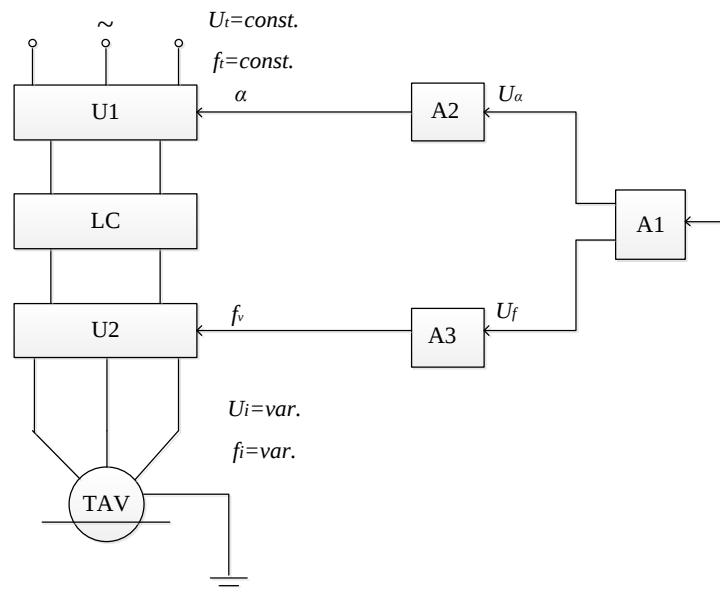
Vienas dažniausiai naudojamų TAV greičio reguliavimo būdų yra variklio maitinimo įtampos dažnio f_i keitimas.

Šiuolaikiniuose dažnio keitikliuose naudojami trys pagrindiniai valdymo būdai:

1. dažninis valdymas naudojant impulsų pločio moduliaciją (IPM);
2. magnetinio srauto vektorinis valdymas su IPM;
3. tiesioginis momento valdymas (DTC).

Dažnio keitikliai gali būti tranzistoriniai ir tiristoriniai.

Dažnio keitikliuose su autonominiais įtampos inverteriais tarp tinklo ir inverterio yra tarpinė nuolatinės srovės grandis – valdomas lygintuvas. Tokios sistemos funkcinė schema pateikta 2.12 pav.

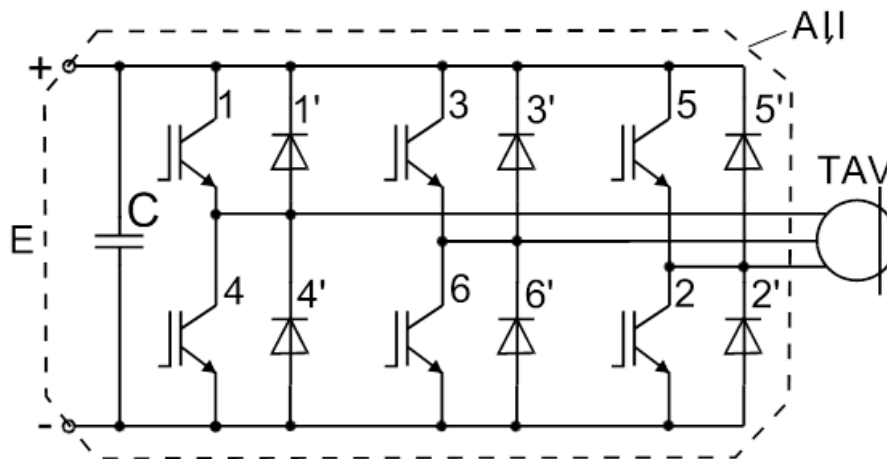


2.12 pav. Dažninio valdymo sistemos su autonominiais įtampos inverteriais funkcinė schema
 U1 – valdomasis lygintuvas; L, C – filtras; U2 – autonominis įtampos inverteris; A1 – reguliavimo blokas; A2 – lygintuvo valdymo schema; A3 – inverterio valdymo schema; M – tiesiaiegis asinchroninis variklis.

Šiuose dažnio keitikliuose valdomasis lygintuvas išlygina kintamąją tinklo įtampą iki reikalingos nuolatinės įtampos reikšmės, kuri per L, C filtrą patenka į autonominį įtampos inverterį U2.

Autonominis įtampos inverteris keičia nuolatinę įtampą į reikiamo dažnio f_i ir amplitudės kintamąją įtampą su tam tikru fazių skaičiumi. Reguliavimo blokas A1 reguliuoja autonominio įtampos inverterio išėjimo įtampą ir dažnį pagal parinktą dažnio reguliavimo dėsnį varikliui TAV dirbant statiniu ar dinaminiu režimu. U1 leidžia reguliuoti autonominio įtampos inverterio išėjimo įtampą U_i , kai dažnis f_i plačiose ribose virš ar žemiau tinklo dažnio f_i reguliuoja U2. Pagal principą ir schemą U1 analogiškas valdomiesiems lygintuvams nuolatinės srovės pavarose [5].

Dabar yra daugybė sukurtų įvairių galingų puslaidininkinių ventilių. Naudojant puslaidininkinius ventilius galima kurti dažnio keitiklius, skirtus kintamosios srovės variklių, tarp jų ir tiesiaiegių asinchroninių (TAV), valdymui. Geriausi dažnio keitikliai yra dvipoliai tranzistoriai su izoliuota užtūra (DTIU). Tai pilnai valdomieji įtaisai, kurių valdymo galia yra labai maža. Su šiais dvipoliais tranzistoriais (DTIU) galima kurti impulsinius dažnio keitiklius, sudarytus iš nevaldomojo lygintuvo ir autonominio įtampos inverterio. Tiesiaiegių asinchroninių variklių dažninio valdymo sistemose gali būti taikoma simetrinio dažnio keitiklio schema (2.13 pav.).



2.13 pav. Simetrinio dažnio keitiklio schema

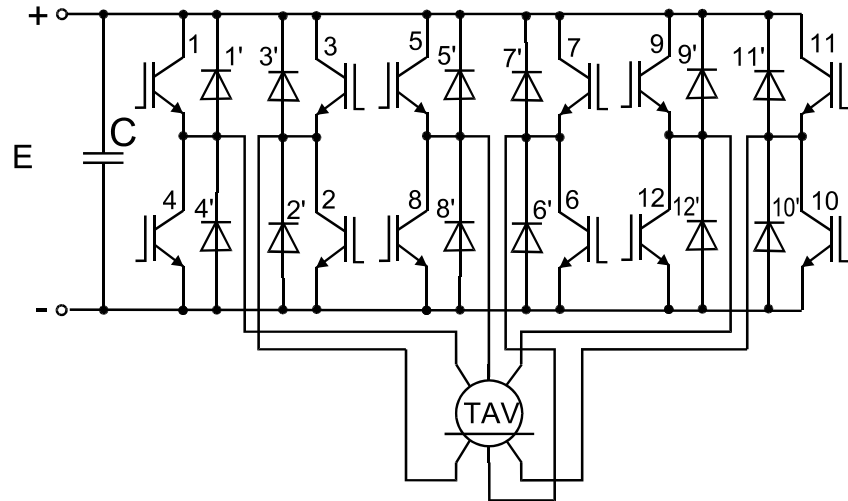
Valdant TAV, simetrinio dažnio keitiklio schema, pavaizduota 2.13 pav., dėl magnetinės asimetrijos TAV fazėmis teka nevienodo stiprumo srovės. Srovių simetriškumą gali garantuoti nesimetrinio dažnio keitiklis, kurio įtampa formuojama asimetriškai, impulsiniu būdu [2].

2.4. Netradiciniai tiesiaeigių asinchroninių variklių valdymo būdai

Asinchroninių variklių greitį galima reguliuoti ir netradiciniais būdais (t. y. gauti dirbtines mechanines charakteristikas): TAV gali būti valdomi naudojant nesimetriškai valdomus dažnio keitikius, keičiant magnetinį srautą (perstumiant dvipusio TAV induktorius vieną kito atžvilgiu), keičiant oro tarpą tarp jų arba valdant skystą feromagnetinį elementą, patalpintą tarp induktoriaus ir antrinio elemento, keičiant antrinio elemento varžą (naudojant iš skirtingų metalų pagamintus antrinius elementus).

TAV valdymas naudojant nesimetriškai valdomus dažnio keitikius

TAV yra nesimetrinė dažnio keitiklio apkrova, nes arčiau induktoriaus galų suklotos apvijos turi mažesnius induktyvumus. Dėl to TAV maitinant simetrine trifaze įtampa, induktoriaus apvijomis teka nevienodos srovės. Šių srovių atvirkštinė dedamoji silpnina TAV kuriamą jėgą. Šias dedamąsias galima eliminuoti maitinant TAV iš nesimetrinio dažnio keitiklio, formuojančio vienodas visų trijų fazių sroves. 2.14 pav. pavaizduota nesimetriškai valdomo dažnio keitiklio schema.

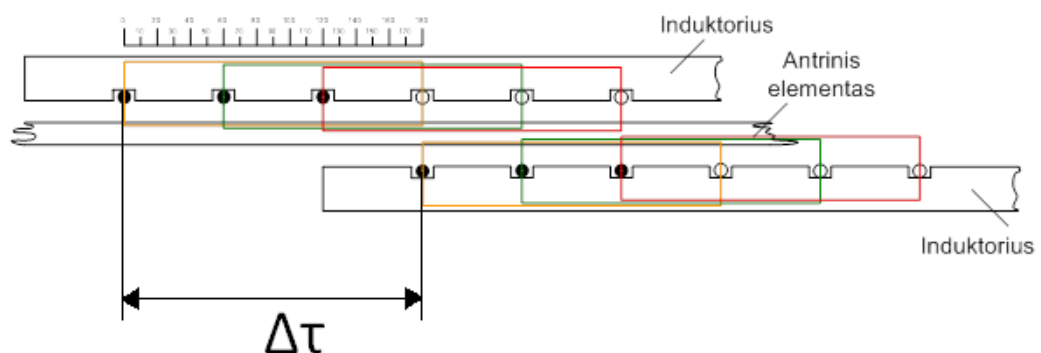


2.14 pav. Nesimetriškai valdomo dažnio keitiklio schema

TAV valdymas, keičiant magnetinį srautą

Tiesiaeigių asinchroninius variklius galima valdyti keičiant vieno indukatoriaus padėtį kito indukatoriaus atžvilgiu įvairiomis kryptimis (2.15 pav.). Toks valdymo būdo tyrimas buvo apžvelgtas B. Liūno magistriniame darbe [26].

Variklio paleidimo jėga F priklauso nuo atstojamojo srauto $\Phi_{ats.}$ oro tarpe ir slydimo s . Srautą Φ galima keisti perstumiant vieną induktorių kito atžvilgiu antrinio elemento judėjimo kryptimi kampu $\Delta\tau$. Kadangi poliaus žingsnis τ atitinka erdvinį kampą π , tai poslinkis $\Delta\tau$ taip pat atitinka α .



2.15 pav. TAV, kurio vienas induktorius perstumtas [26]

Lyginant su vieno indukatoriaus kuriu magnetiniu srautu, atstojamasis magnetinis srautas apskaičiuojamas pagal (2.2) formulę.

$$\Phi_{\Sigma} = 2\Phi_{1(2)} \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (2.4)$$

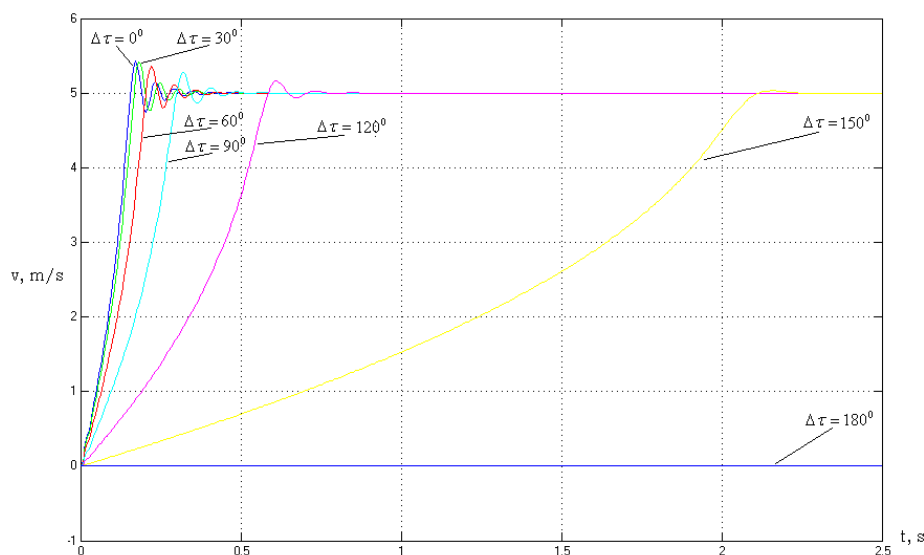
Pavyzdžiui, kai dviejų induktoriaus poliai sutapdinami (poslinkio kampas $\Delta\tau$ yra lygus 0^0), atstojamasis srautas yra lygus dvigubam vieno induktoriaus srautui. Atstojamasis srautas yra žymimas $|\vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2|$ ir lygus $2|\vec{\Phi}_1|$, o $\vec{\Phi}_1$ ir $\vec{\Phi}_2$ yra pirmo ir antro induktoriaus srautai.

Kai poliai perstumiami per pusę poliaus žingsnio, t. y. $\tau/2$ (τ – poliaus žingsnis, $\tau = 180^0$), tai atstojamasis srautas lygus $1,41|\vec{\Phi}_1|$ ir t. t. Kitos atstojamojo srauto vertės pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. B. Liūno tyrimo metu apskaičiuotos atstojamojo srauto vertės [26]

Poslinkio kampas, $\Delta\tau$	Srauto pokytis, n	Atstojamasis srautas, n $ \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2 $
0^0 arba $\frac{\tau}{0} = 0$	2	$2 \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2 $
30^0 arba $\frac{\tau}{6} = \frac{1}{6}\tau$	1,93	$1,93 \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2 $
60^0 arba $\frac{\tau}{3} = \frac{1}{3}\tau$	$\sqrt{3} = 1,73$	$1,73 \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2 $
90^0 arba $\frac{\tau}{2} = \frac{1}{2}\tau$	$\sqrt{2} = 1,41$	$1,41 \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2 $
120^0 arba $\frac{2\tau}{3} = \frac{2}{3}\tau$	$\sqrt{1} = 1$	$1 \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2 $
150^0 arba $\frac{5\tau}{6} = \frac{5}{6}\tau$	0,52	$0,52 \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2 $
180^0 arba $\frac{\tau}{\tau} = \tau$	0	$0 \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2 $

2.16 pav. parodytos induktoriaus poslinkio būdu valdomo TAV greičio priklausomybės nuo laiko. Iš 2.16 pav. matyti, kad naudojant induktorių perstūmimą poslinkiu $\Delta\tau$, greičio pereinamasis procesas nusistovi per vis ilgesnį laiką.

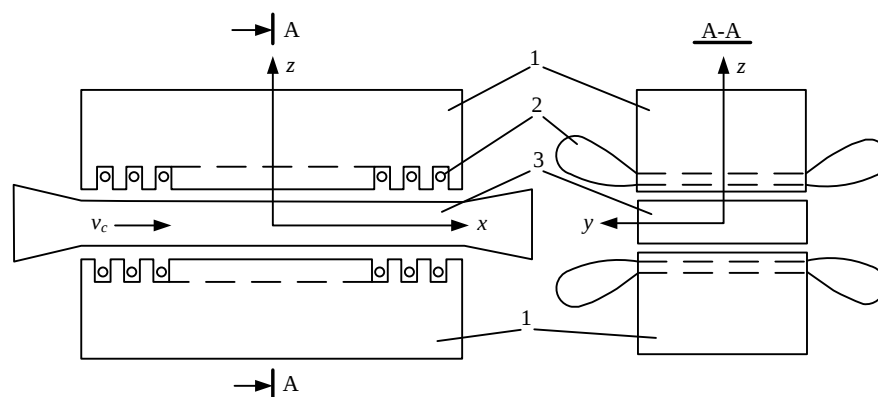


2.16 pav. TAV greičio v priklausomybė nuo laiko t [26]

Netradiciniais valdymo būdais valdomi ir specialios konstrukcijos varikliai, t. y. **magnetohidrodinaminiai (MHD) varikliai**, kurie elektros energiją keičia judančių laidžių skysčių ar plazmos mechanine energija. Skysto metalo gabenimui skirti MHD varikliai dažnai vadinami elektromagnetiniais siurbliais arba MHD siurbliais.

Keičiant induktorių maitinimo įtampą galima keisti transportuojamo skysto metalo debetą.

Priklausomai nuo veikimo principo MHD siurbliai skirstomi į indukcinis ir kondukcinis. Indukcinių MHD variklių antriniame elemente (skystame metalė) srovės indukuoja induktoriaus (statoriaus) kuriamas slenkamasis (kintamasis) magnetinis laukas. Šiuo atveju tarp pirminės elektros grandinės (induktoriaus apvijo) ir skysto metalo nėra galvaninio ryšio. Šių variklių veikimas analogiškas tiesiaeigių asinchroninių variklių veikimui. 2.17 pav. pavaizduotas plokščias MHD siurblys.



2.17 pav. Plokščios konstrukcijos MHD siurblys: 1– induktorių magnetolaidžiai; 2 – induktorių apvijos; 3 – skystu metalu užpildytas kanalas

Plokščios konstrukcijos MHD variklis (2.17 pav.) turi elektriškai ir magnetiškai dvipusį induktorių 1, pagamintą iš elektrotechninio plieno plokštelių su grioveliais. Grioveluose sudedama dažniausiai trifazė apvija 2, kuri yra analogiška įprastinių ar tiesiaeigių asinchroninių variklių apvijoms. Tarp induktorių yra kanalas 3, kuriuo teka gabenamasis skystas metalas. Priklausomai nuo skysto metalo savybių ir jo temperatūros kanalas (vamzdis) gali būti metalinis, grafitinis, keraminis ir pan. Tarp kanalo ir magnetolaidžio paprastai įtaisomas šiluminės izoliacijos sluoksnis. Jo nereikia, kai darbo temperatūra yra santykinai neaukšta, apvijos intensyviai priverstinai aušinamos (ventiliuojamos) ir tuomet, kai naudojami specialūs laidininkai, izoliuoti aukštai temperatūrai atsparia izoliacija.

Abiejų induktorių (2.17 pav.) apvijos jungiamos suderintai. Apvijomis tekanti trifazė srovė tarp induktorių kuria slenkamąją (bėgamąją) magnetinį lauką. Šis magnetinis laukas skystame metalo indukuoja sroves. Srovių, tekančių skystame metalo ir magnetinio lauko sąveikoje atsiranda skysto metalo daleles stumiančios jėgos ir metalas teka vamzdžiu. Metalas vidutinis greitis yra mažesnis už slenkamojo magnetinio lauko (sinchroninį) greitį

$$v_0 = 2\tau f_1; \quad (2.5)$$

čia τ – MHD variklio induktoriaus poliaus žingsnis; f_1 – induktoriaus srovės dažnis.

Skysto metalo slydimas

$$s = \frac{v_0 - v}{v_0}; \quad (2.6)$$

čia v – skysto metalo vidutinis greitis.

Jei išorinės jėgos priverčia skystą metalą judėti didesniu už sinchroninį (2.5) greičiu slenkamojo magnetinio lauko kryptimi, MHD mašina veikia generatoriniu režimu, atiduodama į tinklą aktyviąją elektros energiją ir vartodama reaktyviąją.

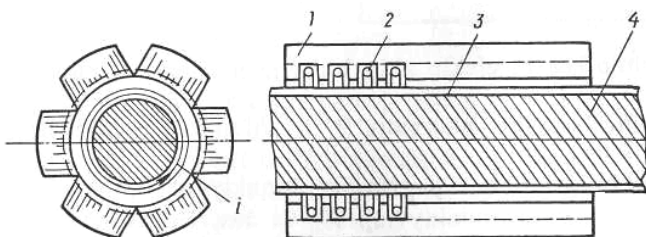
Iš principo MHD mašina gali veikti ir varikliniu, ir generatoriniu režimais net tuomet, kai judrusis elementas yra plazma. Tačiau termiškai izoliuota plazma turi labai mažą elektrinį laidumą ir dėl to plazminių MHD mašinų energetiniai rodikliai yra labai žemi.

Nors MHD mašinų veikimo principas yra analogiškas tiesiaeigių asinchroninių mašinų (TAM) veikimo principui, MHD mašinos dėl žemo skystų metalų elektrinio laidumo veikia didesnių slydimų zonoje, todėl nuostolių galia antriniame elemente (skystame metalo) yra didesnė. Nuostolių energija šildo metalą, neleidžia jam ataušti ir prilipti prie kanalo sienelių, todėl ši MHD variklių savybė nelaikytina neigiama. Kitos MHD mašinų savybės (galų ir šonų efektai) yra

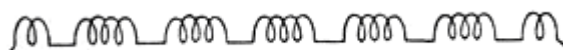
analogiškos TAM savybėms. Todėl šiame baigiamajame darbe tiriami TAV valdymo metodai tinka ir MHD mašinų valdymui.

TAV charakteristikų formavimas, keičiant antrinio elemento varžą (naudojant iš skirtingų metalų pagamintus antrinius elementus)

Toks valdymo būdas taikomas cilindrinės konstrukcijos tiesiaiegiuose asinchroniniuose varikliuose. Cilindrinės konstrukcijos tiesiaiegis asinchroninis variklis (CTAV) pavaizduotas 2.18 pav.. Šio variklio antrinis elementas yra laidus neferomagnetinis vamzdis. Antrinio elemento viduje dažniausiai yra šerdis, gaminama iš vientiso plieno, elektrotechninio plieno plokštelių arba antrinis elementas (laidus neferomagnetinis vamzdis), užpildomas plieninėmis vielomis. Šerdis sumažina magnetinės grandinės varžą. Antriniame elemente indukuotos srovės teka vamzdžio skerspjūvių apskritimais, todėl nėra antrinės sklaidos. Be to, CTAV turi dar vieną privalumą: jo apvija neturi galūnių, bloginančių variklio charakteristikas. 2.19 pav. pateikta CTAV vienos fazės apvija, kurią sudaro kelios ritės. Šios apvijos galuose yra mažiau vijų tam, kad būtų silpninamas galų efektas [2].



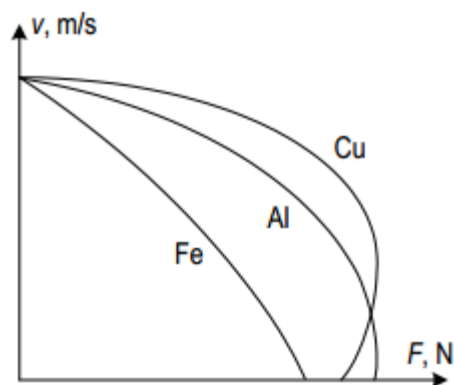
2.18 pav. CTAV konstrukcija: 1 – induktorius; 2 – apvija; 3 – antrinis elementas; 4 – šerdis;
 i – srovės linija [2]



2.19 pav. CTAV apvijos [2]

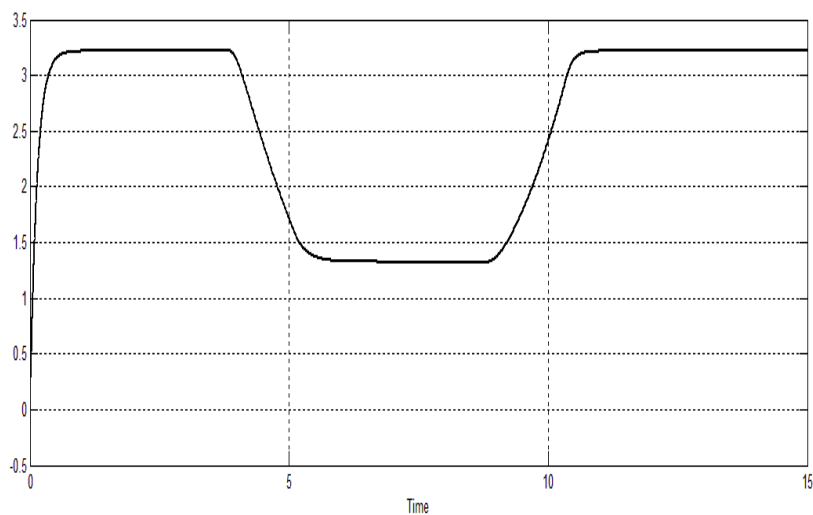
Keičiant antrinio elemento medžiagą, galima formuoti dinamines charakteristikas.

Greičio reguliavimas naudojant iš skirtingų metalų pagamintus antrinius elementus pagrįstas tų metalų skirtinga specifine varža. Tokių TAV mechaninės charakteristikos panašios į įprastinės konstrukcijos asinchroninių variklių, kurių rotoriaus varža padidinta, charakteristikas (2.20 pav.) [3].



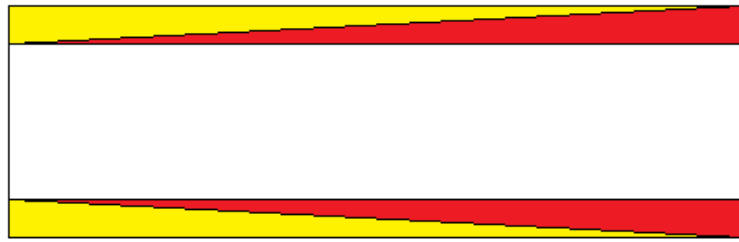
2.20 pav. TAV mechaninės charakteristikos, atitinkančios antrinį elementą iš elektrotechninio plieno (Fe), aliuminio (Al) ir vario (Cu) [3]

O. Kveten magistriniame darbe tyrinėjama, kaip keičiasi TAV dinaminės charakteristikos pasikeitus antrinio elemento medžiagai [28]. 2.21 pav. matyti greičio pereinamasis procesas pasikeitus antrinio elemento medžiagai.

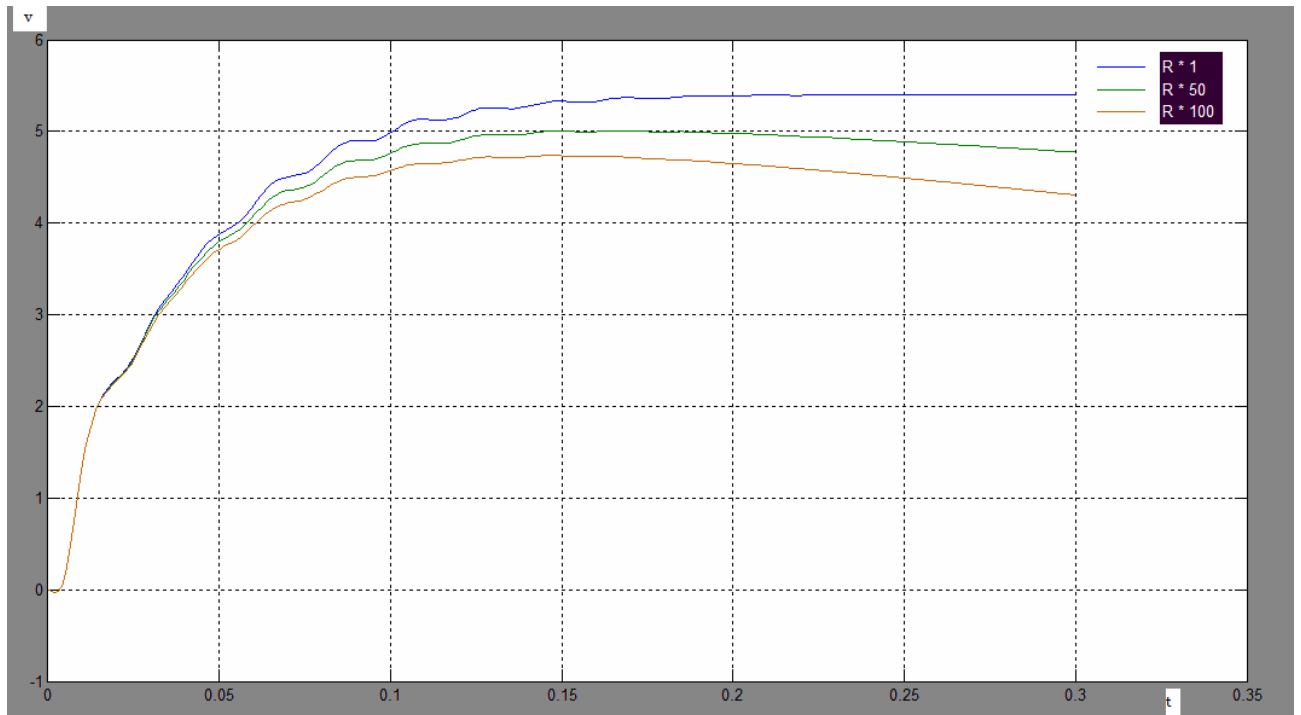


2.21 pav. Greičio pereinamasis procesas, pasikeitus antrinio elemento medžiagai [28]

Tačiau galimas ir sklandus antrinio elemento medžiagos pasikeitimas, kai keičiasi skirtingų laidžių medžiagos iš vienos į kitą. Toks greičio reguliavimo būdas aptartas A. Vasilčenko magistriniame darbe [27]. Šiame darbe buvo tiriamos TAV dinaminės charakteristikos, kai ant antrinio elemento vientiso plieno viršaus užliejamos dvi medžiagos su skirtingo savitumo laidžiais (2.22 pav.). 2.23 pav. matyti, kad didėjant antrinio elemento varžai, mažėja CTAV greitis.



2.22 pav. Antrinis elementas, ant kurio šerdies užlietos dvi medžiagos su skirtingais laidžiais [27]

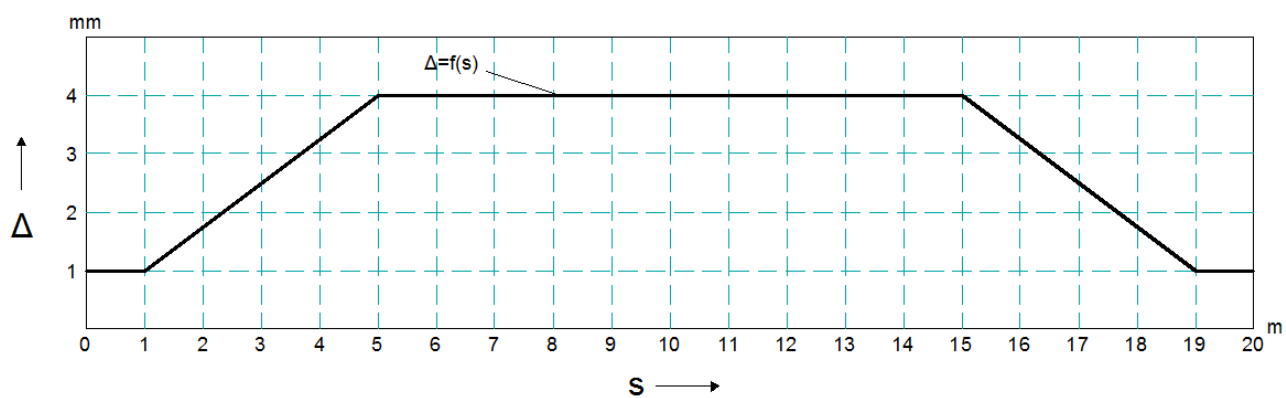


2.23 pav. Greičio pereinamasis procesas, esant skirtingiems antrinio elemento varžos kitimams [28]

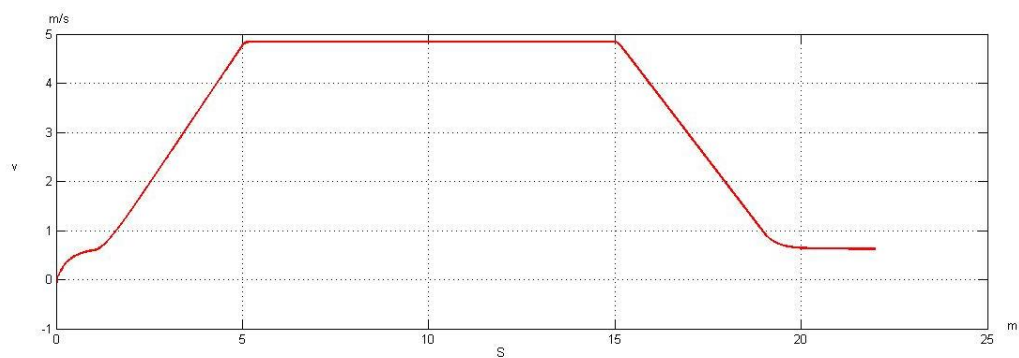
TAV greičio charakteristikų formavimas, kintant antrinio elemento storiui išilgai

Viena iš TAV išskirtinio valdymo savybių — greičio valdymas, kai išilgai kelio kinta antrinio elemento storis (2.24 pav.). Toks tiesiaieigio variklio valdymo būdas yra mažai tyrinėtas ir jis yra aprašytas V. Ratiuko magistriniame darbe [29].

Iš 2.25 pav. matyti, kad be standartinių greičio valdymo būdų, TAV greitis taip pat gali būti valdomas keičiant antrinio elemento storį. Ploninant arba storinant antrinį elementą, proporcingai keičiasi TAV greitis. Iš 2.24 pav. ir 2.25 pav. akivaizdu, kad tiesiaieigio asinchroninio variklio greitis proporcingai mažėja ploninant antrinį elementą ir didėja antrinį elementą storinant. TAV valdymui pagal pasirinktą dėsnį, t. y. keičiant antrinio elemento storį, nereikalinga papildoma valdymo sistema. Turėdamas tokį greičio valdymo būdą, TAV gali būti pritaikomas tokiose aplinkose, kur įprastas variklis su įprasta valdymo elektronika negalėtų dirbti [29].



2.24 pav. Antrinio elemento storio kitimas [29]



2.25 pav. Greičio pereinamasis procesas kintant antrinio elemento storiui [29]

3. TYRIMO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Iš pateiktos literatūros analizės matome, kad yra daug netradicinių valdymo būdų. Tačiau literatūros šaltiniuose neaptikta informacijos apie galimybes formuoti TAV dinamines charakteristikas komutuojuant elektriškai ir magnetiškai dvipusio TAV induktorius, t.y. diskretiškai keičiant TAV parametrus. Toliau išsamiai nagrinėjamas šis naujas TAV dinaminės charakteristikų formavimo būdas.

Tiriamąo darbo tikslas: ištirti tiesiaeigės asinchroninės pavaros statinių ir dinaminės charakteristikų formavimo būdus įvairiai komutuojuant elektriškai ir magnetiškai dvipusio tiesiaeigio asinchroninio variklio induktorius.

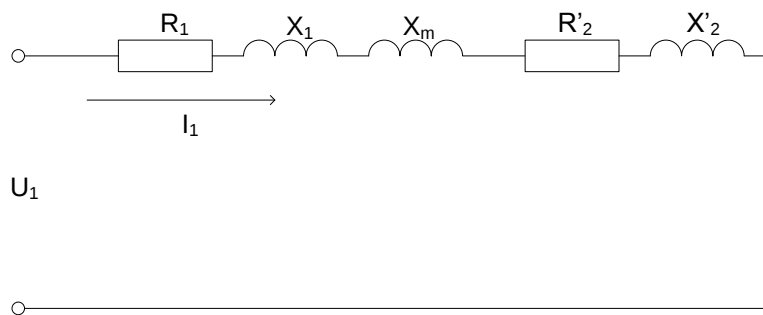
Uždaviniai: sudaryti kompiuterinius TAV modelius, įgalinančius imituoti TAV dinamines charakteristikas. Ištirti galimybes valdyti pereinamuosius vyksmus.

4. TEORINĖ DALIS

4.1. Tiesiaeigės asinchroninės pavaros parametrų skaičiavimas

Norint pritaikyti TAV mechatroninėse sistemose, reikia žinoti jų charakteristikas, kurios nustatomos naudojant variklio matematinį modelį.

Šio baigiamojo darbo tikslas – sukurti tiesiaeigių elektros pavarų dinaminės charakteristikų formavimo metodiką. Dinaminės charakteristikos imituojamos taikant konkretų kompiuterinį modelį, į kurį reikia įrašyti TAV atstojamosios schemos parametrus (4.1 pav.). Kadangi TAV serijomis negaminami (išskyrus negausius atskirus atvejus), TAV modelių parametrų iš katalogų surasti neįmanoma, todėl juos reikia skaičiuoti kiekvienam nestandartiniam varikliui. Analitinėje dalyje apžvelgtuose šaltiniuose surasta įvairių TAV ir jų charakteristikų skaičiavimo metodikų [8, 21, 32]. Ši metodika naudojama nustatant toliau nagrinėjamų kompiuterinių modelių parametrus.



4.1 pav. TAV nuoseklioji ekvivalentinė schema

Laikoma, kad projektuojamos pavaros maitinimo fazinė įtampa $U=230V$, tinklo srovės dažnis $f=50Hz$, indukatoriaus fazių skaičius $m=3$, griovelių skaičius tenkantis poliui ir fazei $q=1$.

Žinant poliaus žingsnį τ ir pasirinkus polių porų skaičių p , apskaičiuojamas indukatoriaus ilgis

$$2a = 2p\tau; \quad (4.1)$$

Indukatoriaus danties žingsnis

$$t_z = \frac{\tau}{mq}. \quad (4.2)$$

Indukatoriaus aktyvioji varža

$$R_1 = \rho \frac{w_1 \cdot l_{vid}}{S_l}; \quad (4.3)$$

čia:

ρ – apvijos medžiagos specifinė varža;

w_1 – fazinės apvijos vijų skaičius;

S_l – laidininko skerspjūvio plotas;

l_{vid} – vidutinis vijos ilgis:

$$l_{vid} = 2(2C + K_\phi \cdot \tau); \quad (4.4)$$

K_ϕ – apvijos formos koeficientas;

$2C$ – indukatoriaus plotis.

Pagrindinė induktyvioji varža

$$X_m = \frac{4 \cdot \mu_0 \cdot f_1 \cdot \tau \cdot 2C \cdot m_1 \cdot w_1^2 \cdot K_{01}}{\pi \cdot \delta' \cdot p}; \quad (4.5)$$

čia: μ_0 – vakuumo magnetinė skvarba;

δ' – ekvivalentinis nemagnetinis tarpas

$$\delta' = K_m \cdot K_\delta \cdot \delta; \quad (4.6)$$

K_m – įsisotinimo koeficientas

$$K_m = \frac{F}{F_\delta}; \quad (4.7)$$

F – magnetinės grandinės pilna magnetovaros jėga;

F_δ – magnetovaros jėga, A;

K_δ – nemagnetinio tarpo koeficientas

$$K_\delta = K'_\delta \cdot K''_\delta; \quad (4.8)$$

čia: K'_δ – koeficientas įvertinantis induktoriaus dantis;

K''_δ – koeficientas, įvertinantis tai, jog induktoriaus paviršiuje indukcija didesnė negu nemagnetinio tarpelio viduryje:

$$K''_\delta = \frac{\text{sh} \frac{\pi \delta}{2\tau}}{\frac{\pi \delta}{2\tau}}. \quad (4.9)$$

Induktoriaus apvijos sklaidos induktyvioji varža

$$X_1 = X_z + X_d + X_K + X_\delta + X_g \quad (4.10)$$

čia X_z – griovelių sklaidos varža;

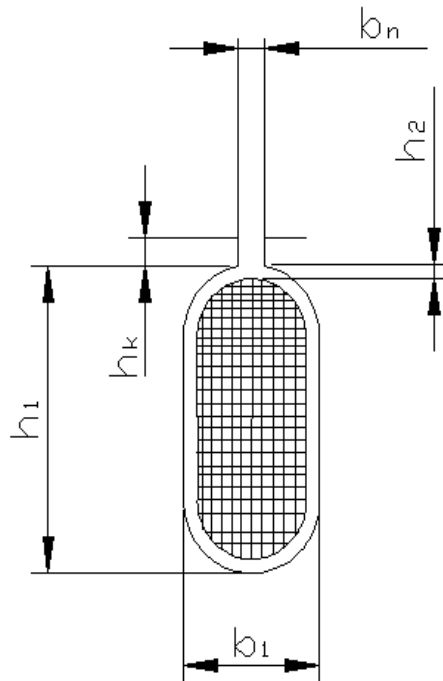
X_d – diferencialinė sklaidos varža;

X_K – dantų viršūnių sklaidos varža;

X_δ – pagrindinės harmonikos sklaidos oro tarpelyje varža;

X_g – apvijos galūnių sklaidos varža.

4.2 pav. parodytas TAV induktoriaus griovelis.



4.2 pav. TAV induktoriaus griovelis

Griovelio sklaidos varža, kai griovelis atviras,

$$X_z = 0,158 \frac{f_1}{100} \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \frac{2C}{pq} \lambda_z; \quad (4.11)$$

čia λ_z – griovelio sklaidos laidumo koeficientas

$$\lambda_z = \frac{h_1}{3b_1} \cdot K_B + \left(0,785 - \frac{b_n}{2b_1} + \frac{h_z}{b_1} + \frac{h_k}{b_n} \right) K'_B. \quad (4.12)$$

Diferencialinė sklaidos varža

$$X_d = \sigma_g \cdot X_m; \quad (4.13)$$

čia σ_g – koeficientas, charakterizuojantis diferencialinę sklaidą.

Dantų viršūnių sklaidos varža

$$X_k = 4\pi \cdot \mu_0 \cdot f_1 \cdot w_1^2 \frac{2C}{pq} \cdot \frac{\lambda_k}{2}; \quad (4.14)$$

čia λ_k – dantų viršūnių sklaidos laidumo koeficientas

$$\lambda_k = \frac{2}{2\pi} \left(\ln \left(\frac{\delta^2}{4b_n} + \frac{1}{2} \right) + \frac{2\delta}{b_n} \operatorname{arctg} \frac{b_n}{\delta} \right). \quad (4.15)$$

Pagrindinės harmonikos sklaidos oro tarpelyje varža

$$X_\delta = (K_n - 1)X_m; \quad (4.16)$$

čia K_n – indukcijos radialinės dedamosios susilpnėjimo koeficientas

$$K_n = \operatorname{ch} \frac{\pi\delta}{2\tau}. \quad (4.17)$$

Apvijos galūnių sklaidos varža

$$X_g = 4\pi\mu_0 f_1 w^2 \frac{2C}{pq} \lambda_e; \quad (4.18)$$

čia λ_e – apvijos galūnių sklaidos koeficientas

$$\lambda_e = A \frac{q}{2C} (l_e - 0,64\tau); \quad (4.19)$$

l_e – apvijos galūnės vidutinis ilgis vienoje induktoriaus pusėje.

Pirminės grandinės pilnutinė induktyvioji varža

$$X_{11} = X_1 + X_m. \quad (4.20)$$

Reinoldso skaičius plokščiai tiesiaeičiai asinchroninei mašinai išreiškiamas taip:

$$\varepsilon_0 = \frac{\mu_0 \gamma_m \omega \tau^2 \Delta}{\pi^2 \delta'}; \quad (4.21)$$

čia: Δ – nemagnetinis tarpas;

γ_m – medžiagos savitasis laidis.

TAV elektromagnetinė jėga

$$F = \frac{m_1 U_1^2 R_2'}{2\tau f_1 (R_1 + R_2')^2 + (X_{11} + X_2')^2}; \quad (4.22)$$

Srovė

$$I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_{11} + X_2')^2}}. \quad (4.23)$$

R_2' ir X_2' – įneštinės varžos, kurios atitinkamai lygios:

$$R_2' = K_a \cdot X_m; \quad (4.24)$$

$$X_2' = -K_p \cdot X_m; \quad (4.25)$$

Koeficientai K_a ir K_r lygūs:

$$K_a = \frac{2K_{am} \cdot s_m \cdot s}{s_m^2 + s^2}; \quad (4.26)$$

$$K_r = \frac{2K_{am} \cdot s}{s_m^2 + s^2}. \quad (4.27)$$

Norint rasti koeficientus K_{am} ir s_m , reikia žinoti dydžius ε_0 , $\frac{\alpha}{\tau}$ ir naudotis [13] literatūroje pateiktomis lentelėmis ir kreivėmis.

Naudojant pateiktus šiame skyriuje skaičiavimus ir kitus skaičiavimus, gauti rezultatai pateikti priede P1 lentelėje. Pagal lentelėje pateiktus duomenis sudaryti P2 – P4 pav. grafikai, kurie yra pateikti priede.

4.2. Tiesiaeigės pavaros kompiuterinio modelio sudarymas, esant pastoviams TAV parametrams

Pavaros dinaminėms charakteristikoms gauti Matlab programiniu paketu sudaromas kompiuterinis modelis.

Tiesiaeigio asinchroninio variklio dinamines charakteristikas aprašančios diferencialinės lygtys užrašomos x, y koordinatų sistemoje, judančioje sinchroniniu greičiu v_0 :

$$\begin{aligned}
 \frac{d\Psi_{x1}}{dt} &= U_{1m} \cos \gamma - \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \Psi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s K_r \Psi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \Psi_{y1}; \\
 \frac{d\Psi_{y1}}{dt} &= U_{1m} \sin \gamma - \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \Psi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s K_r \Psi_{y2} - \frac{\pi}{\tau} v_0 \Psi_{x1}; \\
 \frac{d\Psi_{x2}}{dt} &= -\frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r \Psi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_s \Psi_{x1} - \frac{\pi}{\tau} (v_0 - v) \Psi_{y2}; \\
 \frac{d\Psi_{y2}}{dt} &= -\frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r \Psi_{y2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_s \Psi_{x1} - \frac{\pi}{\tau} (v_0 - v) \Psi_{x2}; \\
 F &= \frac{3}{2} \frac{\pi \omega_0 K_r}{\tau \sigma X_s} (\Psi_{x2} \Psi_{y1} - \Psi_{x1} \Psi_{y2});
 \end{aligned} \tag{4.43}$$

čia:

Ψ_{x1}, Ψ_{y1} – pilnutinio statoriaus srauto projekcijos; Ψ_{x2}, Ψ_{y2} – pilnutinio antrinio elemento srauto projekcijos į x, y ašis; U_{1m} – tinklo fazinės įtampos amplitudinė vertė; γ – tinklo įtampos fazė įjungimo metu; τ – poliaus žingsnis; v_0 – variklio tuščiosios veikos greitis; v – variklio greitis; F – variklio kuriama jėga; koeficientai: $a_s = \frac{R_1}{X_s}$, $a_r = \frac{R'_2}{X_s}$, $\sigma = 1 - \frac{X_m^2}{X_r X_m}$, $K_s = \frac{X_m}{X_s}$, $K_r = \frac{X_m}{X_r}$, $a'_s = \frac{a_s}{\sigma}$, $a'_r = \frac{a_r}{\sigma}$.

Kiti vartojami žymenys: X_m – pagrindinė įmagnetinimo kontūro induktyvioji varža; $X_s = X_m + X_1$ – indukatoriaus apvijos pilnutinė induktyvioji varža; $X_r = X_m + X'_2$ – antrinio elemento apvijos pilnutinė induktyvioji varža; R_1 – aktyvioji indukatoriaus varža; R'_2 – antrinio elemento apvijos redukuota aktyvioji varža; X_1 , X'_2 – indukatoriaus ir antrinio elemento induktyviosios sklaidos varžos [2].

Lygtys (3.43) papildomos pagrindine pavaros judesio lygtimi:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m}(F - F_s) \quad (4.44)$$

ir lygtimi nueitam keliui rasti:

$$\frac{dx}{dt} = v. \quad (4.45)$$

Pagal anksčiau pateiktą metodiką apskaičiuoti tiriamo TAV parametrai pateikti 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Variklio parametrai

R_1, Ω	R'_2, Ω	X_1, Ω	X'_2, Ω	X_m, Ω	τ, m	m, kg
15,6	28,16	87,8	34,06	58,4	0,055	10

Apskaičiuoti schemos koeficientai:

$$X_s = X_m + X_1 = 58,4 + 87,8 = 146,2 \Omega; \quad (4.46)$$

$$X_r = X_m + X'_2 = 58,4 + 34,06 = 92,46 \Omega; \quad (4.47)$$

$$K_s = \frac{X_m}{X_s} = \frac{58,4}{146,2} = 0,4; \quad (4.48)$$

$$K_r = \frac{X_m}{X_r} = \frac{58,4}{92,46} = 0,63; \quad (4.49)$$

$$\sigma = 1 - K_r \cdot K_s = 1 - 0,63 \cdot 0,4 = 0,75; \quad (4.50)$$

$$\alpha_s = \frac{R_1}{X_s} = \frac{15,6}{146,2} = 0,107; \quad (4.51)$$

$$\alpha_r = \frac{R'_2}{X_r} = \frac{28,16}{92,46} = 0,193; \quad (4.52)$$

$$\alpha'_s = \frac{\alpha_s}{\sigma} = \frac{0,107}{0,75} = 0,14; \quad (4.53)$$

$$\alpha'_r = \frac{\alpha_r}{\sigma} = \frac{0,193}{0,75} = 0,26; \quad (4.54)$$

$$\frac{\pi}{\tau} v_0 \cdot \alpha'_s = \frac{3,14}{0,055} 5,5 \cdot 0,14 = 44,8; \quad (4.55)$$

$$\frac{\pi}{\tau} v_0 \cdot \alpha'_r = \frac{3,14}{0,055} 5,5 \cdot 0,26 = 80,9; \quad (4.56)$$

$$\frac{\pi}{\tau} v_0 \cdot \alpha'_r \cdot K_s = \frac{3,14}{0,055} 5,5 \cdot 0,26 \cdot 0,4 = 32,31; \quad (4.57)$$

$$\frac{\pi}{\tau} v_0 \cdot \alpha'_s \cdot K_r = \frac{3,14}{0,055} 5,5 \cdot 0,14 \cdot 0,63 = 28,3; \quad (4.58)$$

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ rad / s}; \quad (4.59)$$

$$\frac{3 \cdot \pi \cdot \omega_0 \cdot K_r}{2 \cdot \tau \cdot \sigma \cdot X_s} = \frac{3 \cdot 3,14 \cdot 314,16 \cdot 0,63}{2 \cdot 0,055 \cdot 0,75 \cdot 146,2} = 155,4; \quad (4.60)$$

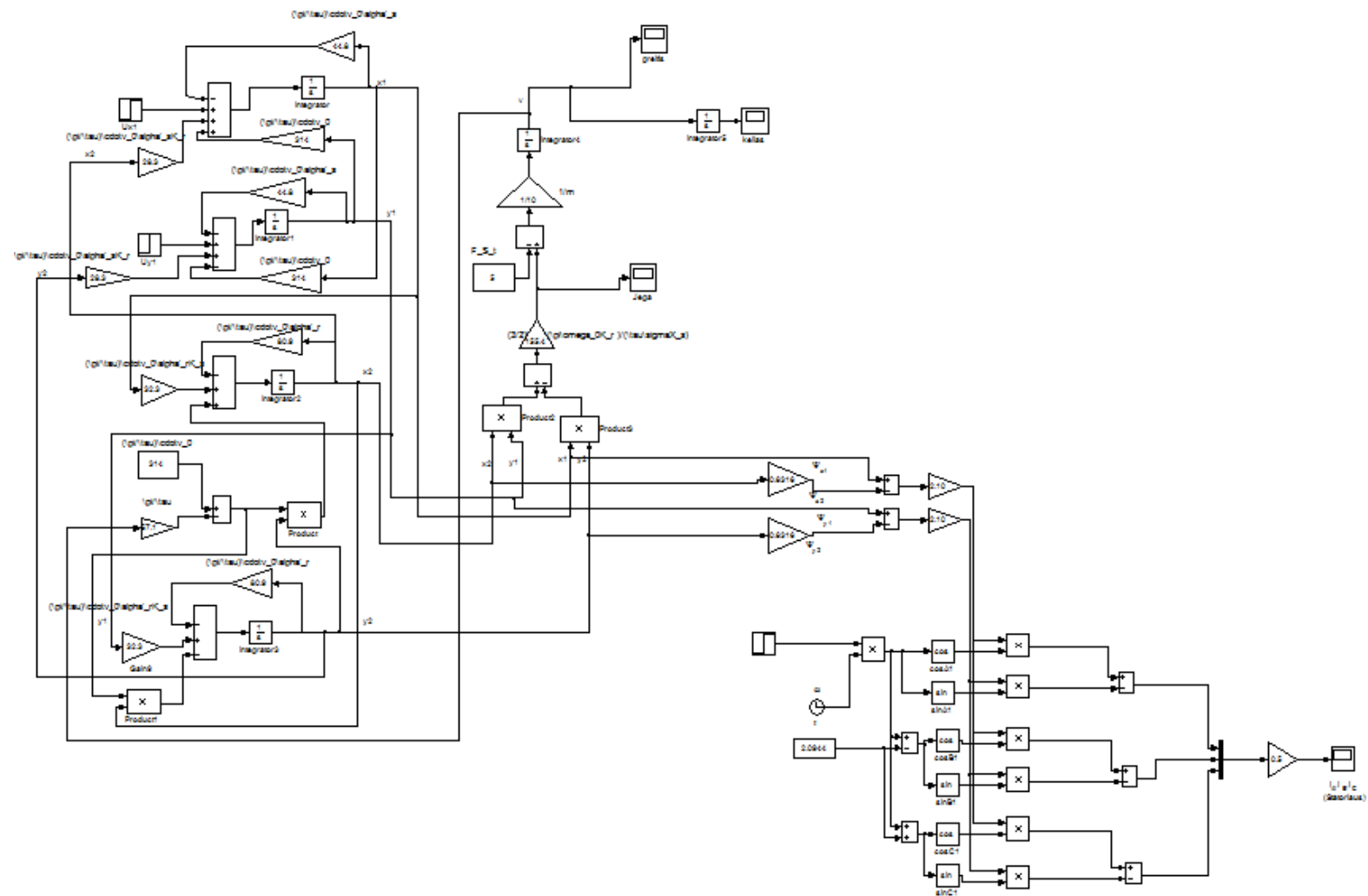
$$\alpha'_s \frac{U}{R_l} = 0,14 \frac{230}{15,6} = 2,1; \quad (4.61)$$

$$\frac{\pi}{\tau} v_0 = \frac{3,14}{0,055} 5,5 = 314; \quad (4.62)$$

$$\frac{\pi}{\tau} = \frac{3,14}{0,055} = 57,1; \quad (4.63)$$

$$\frac{U_1}{R_l} = \frac{230}{15,6} = 14,7. \quad (4.64)$$

Pasinaudojant lygtimis (4.43) ir apskaičiuotais koeficientais (4.46 – 4.64), sudaromas 4.3 pav., pavaizduotas TAV kompiuterinis modelis.



4.3 pav. Tiesiaiegio asinchroninio variklio kompiuterinis modelis

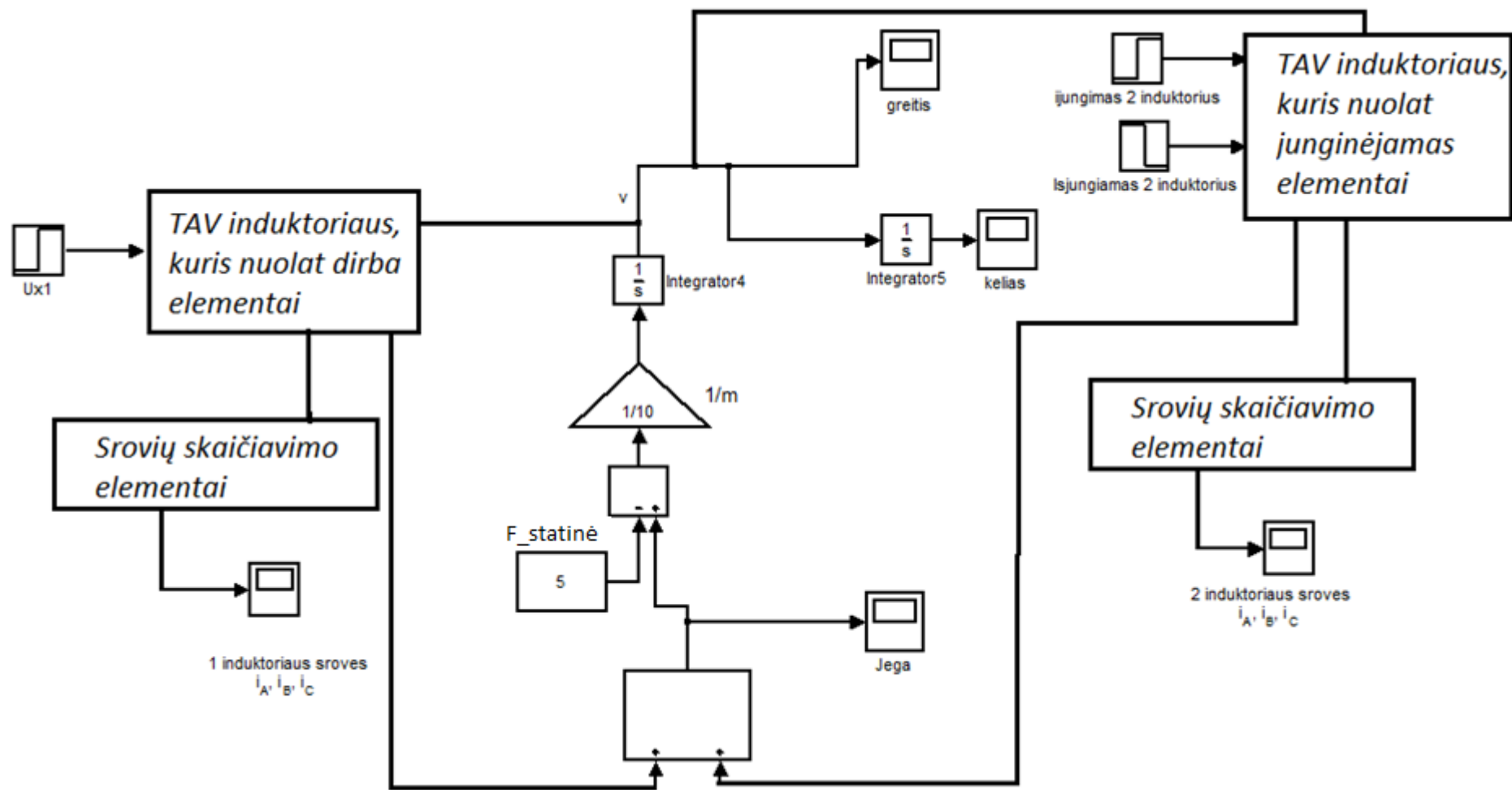
4.3. Tiesiaeigės pavaros kompiuterinio modelio sudarymas, esant kintamiems TAV parametrams

Dažniausiai TAV valdomi naudojant dažnio keitiklius, tačiau dažnio keitikliai yra brangūs ir sudėtingi. Naudojant dviinduktorinę schemą ir parenkant induktorių įjungimo ir išjungimo laiką, galima reguliuoti greitį. Šis greičio valdymo būdas daug pigesnis ir paprastesnis.

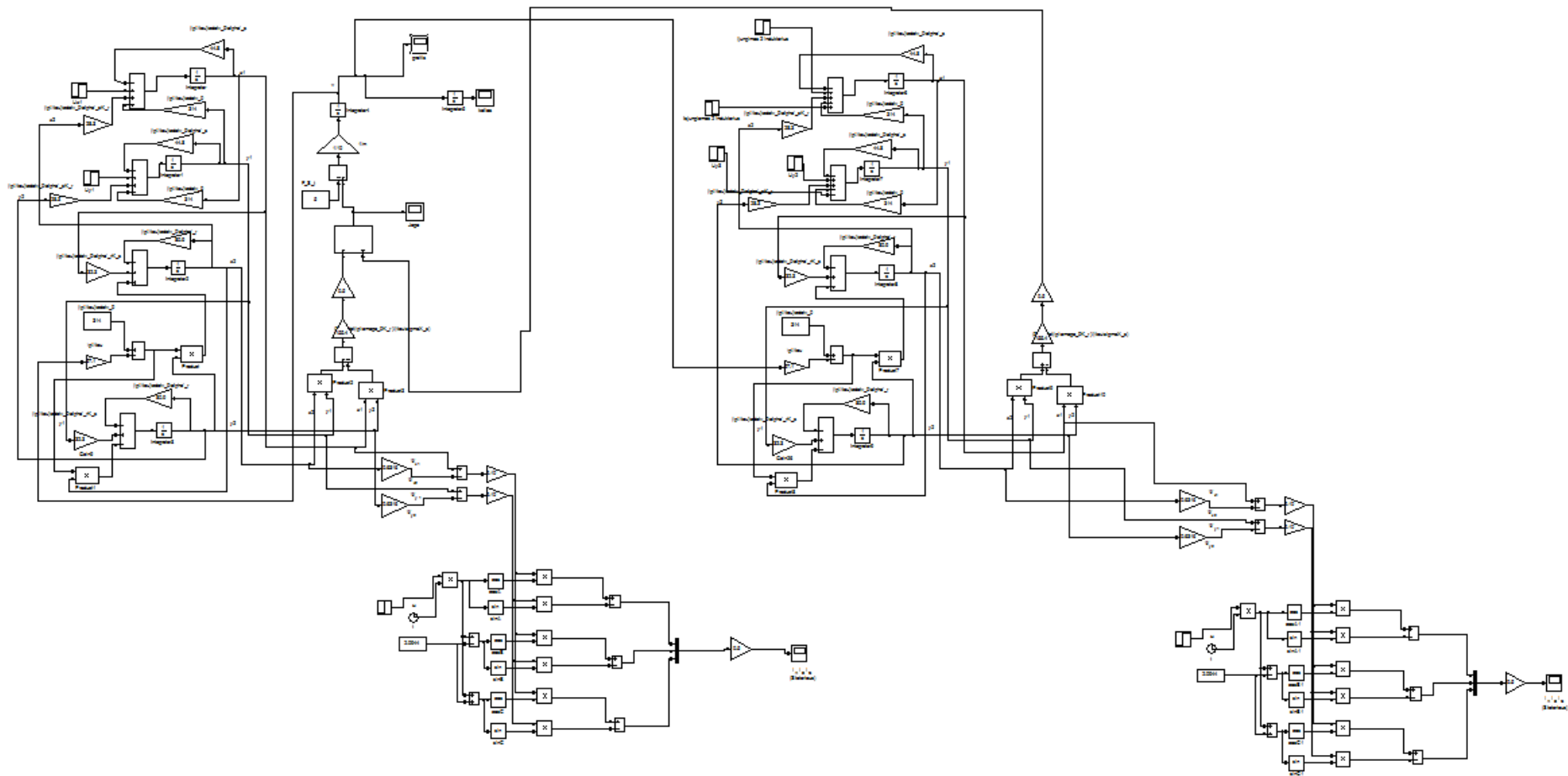
4.3.1. Tiesiaeigės asinchroninės pavaros kompiuterinis modelis, esant kintamiems parametrams, kai junginėjamas vienas induktorius

4.5 pav. pavaizduotas supaprastintas tiesiaeigės asinchroninės pavaros kompiuterinis modelis, esant kintamiems parametrams, kai junginėjamas vienas induktorius, o kitas – įjungiamas nuolatiniam darbui. 4.6 pav. pavaizduotas pilnas tiesiaeigės asinchroninės pavaros kompiuterinis modelis, esant kintamiems parametrams, kai junginėjamas vienas induktorius.

Šiame modelyje abu induktoriai veikia vieną antrinį elementą, todėl dinaminės elektromechaninės charakteristikos lemia bendra grandis, į kurią yra paduodamos abiejų induktorių kuriamos jėgos (4.5 pav.). Kadangi induktoriaus, kuris yra junginėjamas, pradinės sąlygos nėra lygios nuliui, todėl yra numatytas ryšys, įgalinantis įvesti informaciją apie bendro antrinio elemento greitį, induktoriaus, kuris yra junginėjamas, įjungimo momentu. Įjungus induktorių, kuris yra junginėjamas, antrinį elementą veikia nebe vieno induktoriaus kuriama jėga, o abiejų induktorių kuriamos jėgos, šios jėgos yra sumuojamos sumatoriuje.



4.5 pav. Supaprastintas tiesiaieigės asinchroninės pavaros kompiuterinis modelis, esant kintamiems parametrams, kai junginėjamas vienas induktorius

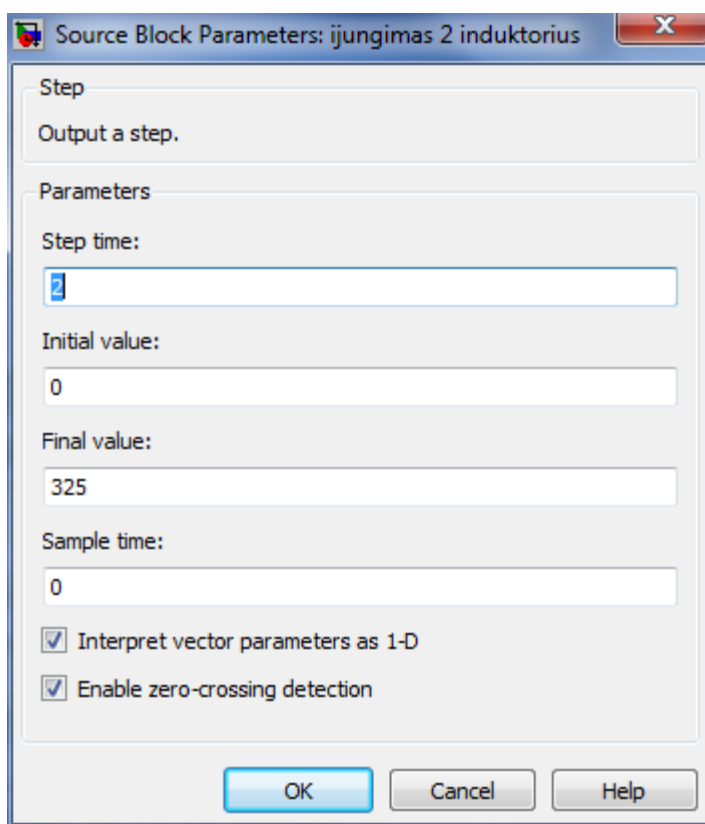


4.6 pav. TAV kompiuterinis modelis, esant kintamiems TAV parametrams, kai junginėjamas vienas induktorius

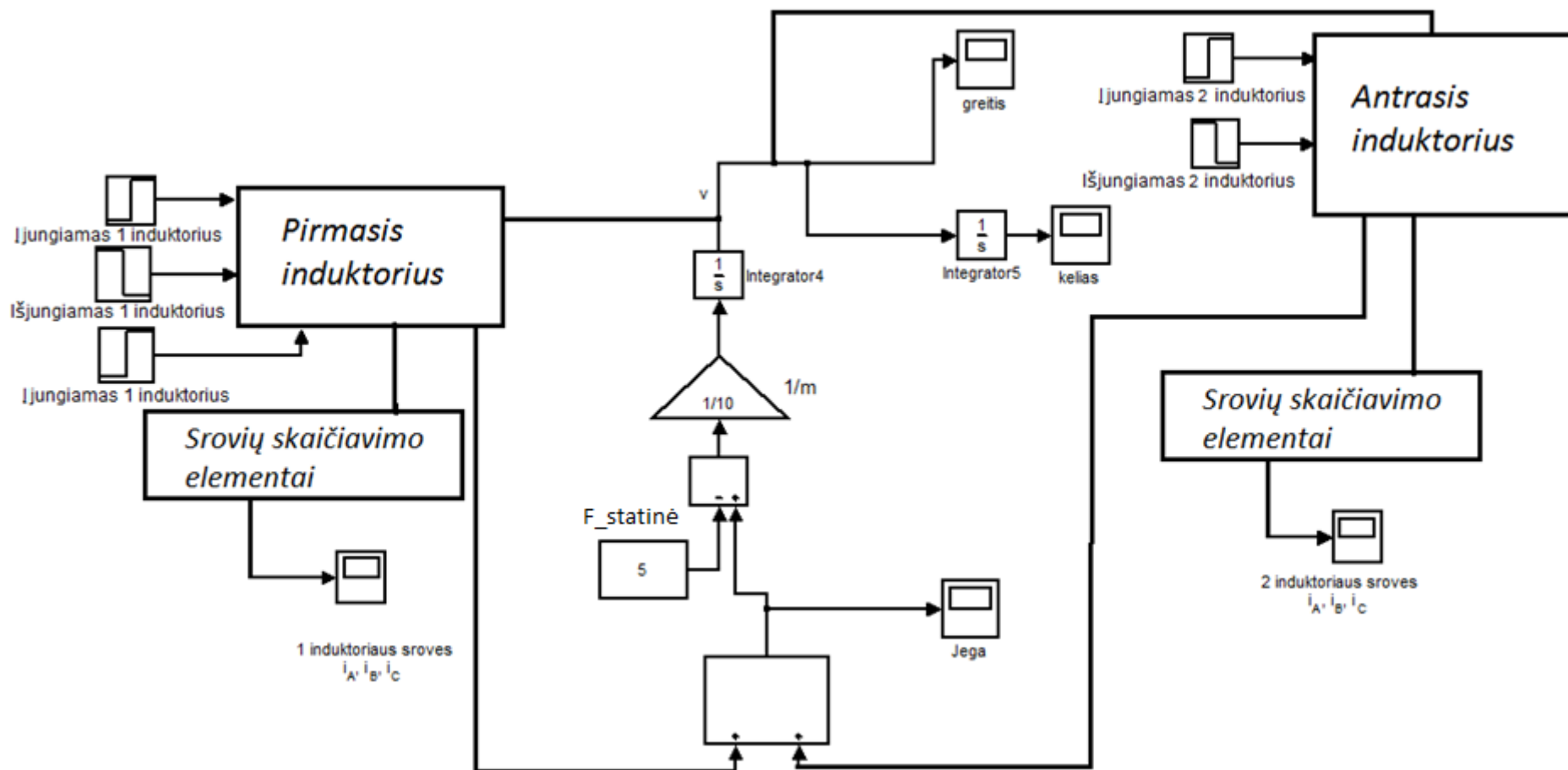
4.3.2. Tiesiaeigės asinchroninės pavaros kompiuterinis modelis, esant kintamiems parametrams, kai junginėjami abu induktoriai

4.8 pav. pavaizduotas supaprastintas tiesiaeigės asinchroninės pavaros kompiuterinis modelis, esant kintamiems parametrams, kai junginėjami abu induktoriai, o 4.9 pav. pavaizduotas pilnas tiesiaeigės asinchroninės pavaros modelis, esant kintamiems parametrams, kai junginėjami abu induktoriai.

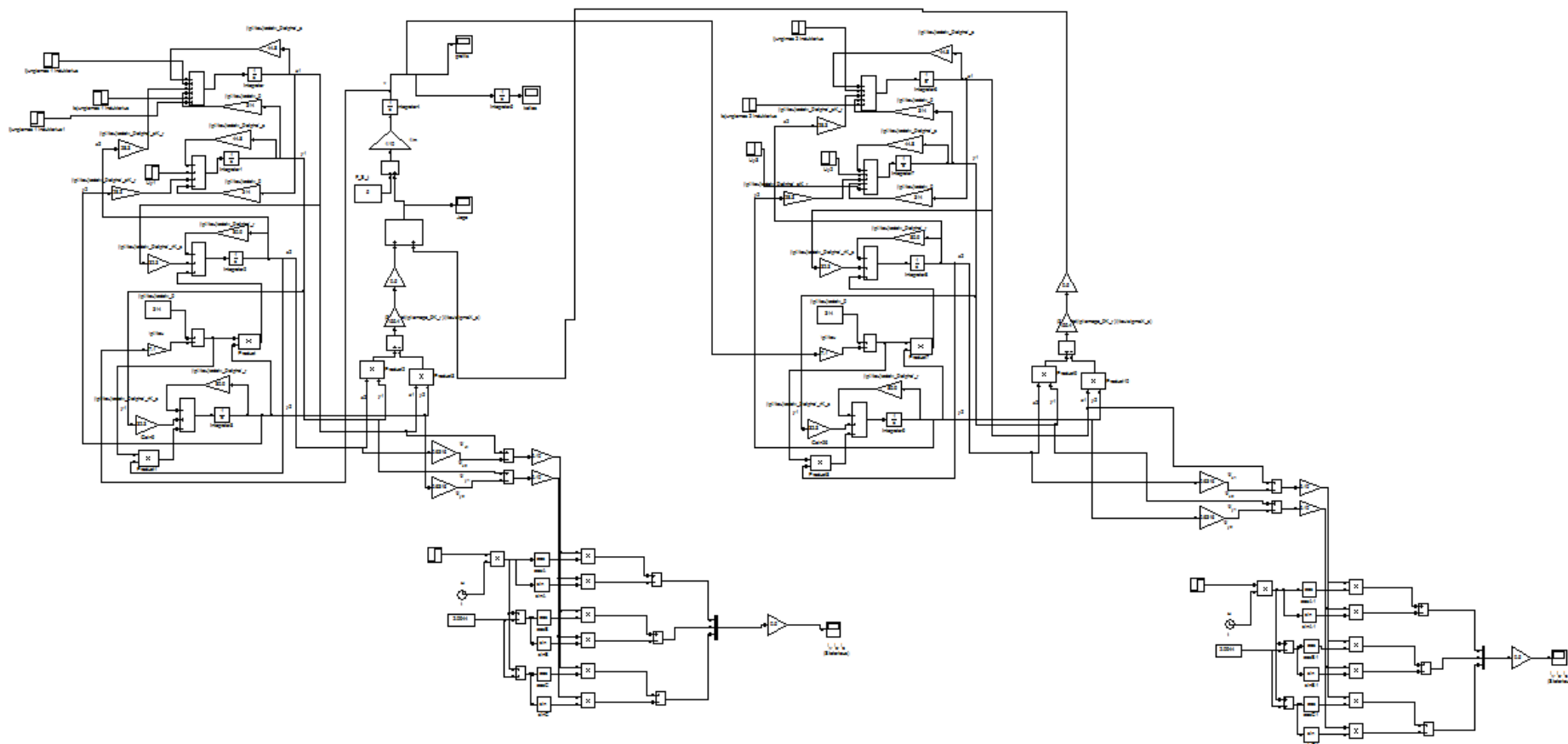
Šis modelis analogiškas tiesiaeigės asinchroninės pavaros kompiuteriniam modeliui, esant kintamiems parametrams, kai junginėjamas vienas induktorius. Šis modelis skiriasi tik šuolinėmis funkcijomis. Šiomis funkcijomis formuojami induktorių įjungimai ir išjungimai. 4.7 pav. pavaizduotas šuolinės funkcijos langas. Šiame lange eilutėje „Final value“ įrašoma fazinės įtampos amplitudinė vertė, kuri yra 325 V. Šia vertę rašome teigiamą, jeigu norime įjungti, o jeigu norime išjungti – ji rašoma su minuso ženklu. Eilutėje „Step time“ rašomas norimas įjungimo arba išjungimo laikas.



4.7 pav. Šuolinės funkcijos langas



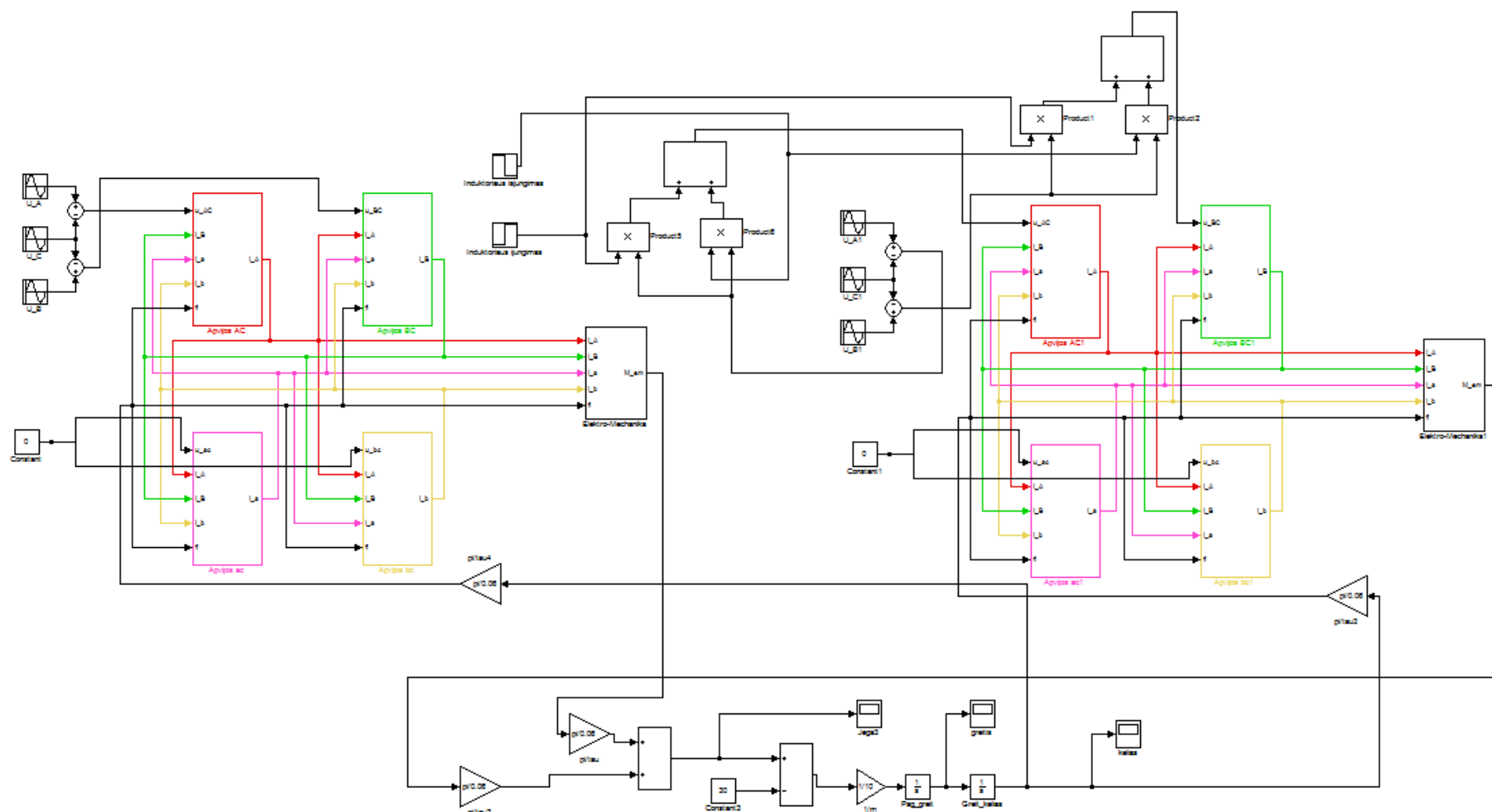
4.8 pav. Supaprastintas tiesiaeigės asinchroninės pavaros kompiuterinis modelis, esant kintamiems parametrams, kai junginėjami abu induktoriai



4.9 pav. Pilnas TAV kompiuterinis modelis esant, kintamiems TAV parametrms, kai junginėjami abu induktoriai

4.4. Tiesiaieigio asinchroninio variklio kompiuterinis modelis fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjamas vienas induktorius

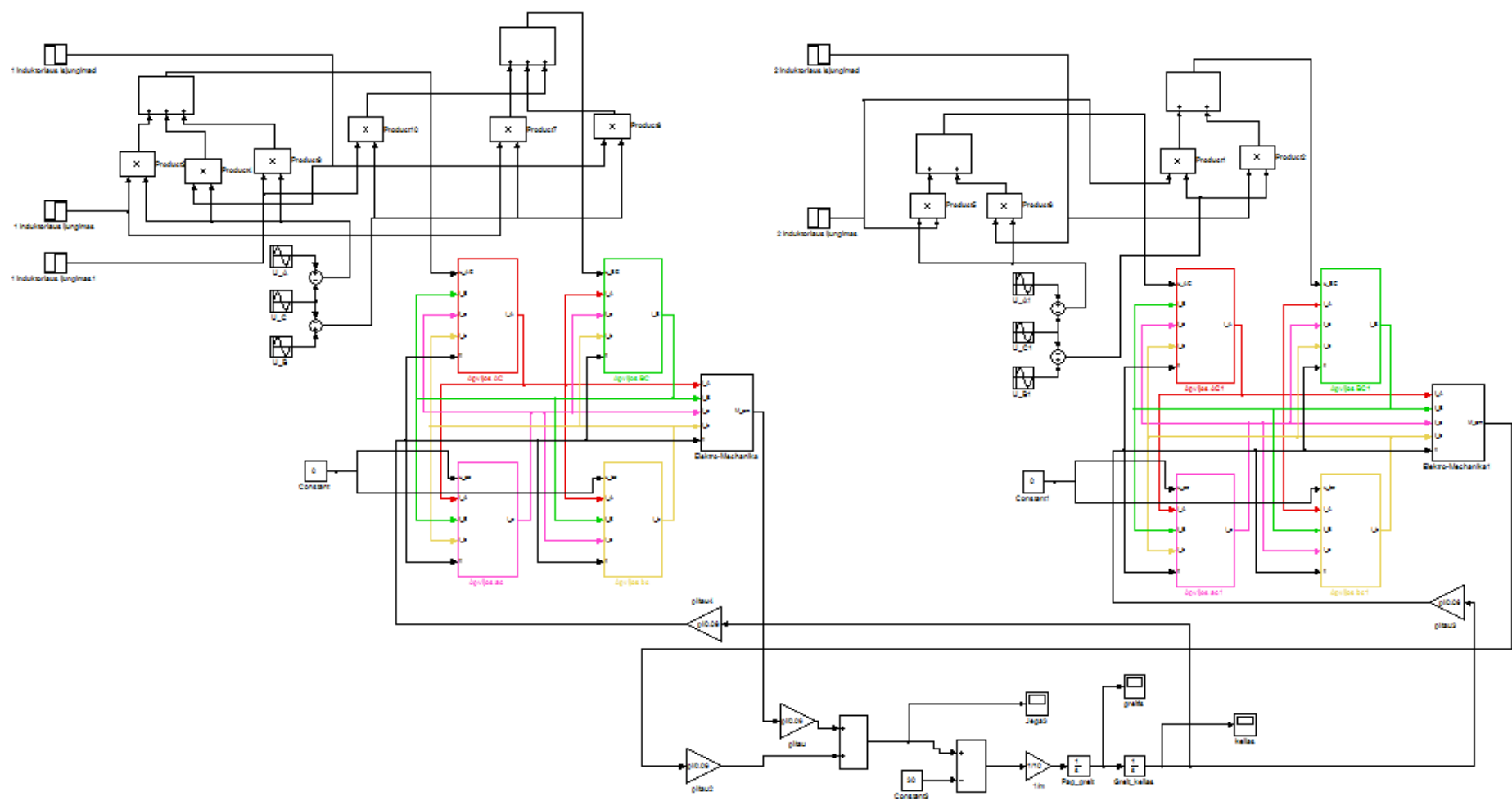
Šiame skyriuje pateikiamas asinchroninio variklio modelis fazinėje koordinačių sistemoje [9]. Palyginus su x , y transformuotų koordinačių modeliu, pastarasis yra sudėtingesnis variantas. Fazinių koordinačių modelis sudaromas tiesiogiai pagal netiesines diferencialines asinchroninio variklio lygtis, todėl jo magnetinės ir elektrinės grandinės gali būti nesimetriškos. Matematinio požiūriu variklio matematinį modelį fazinėje koordinačių sistemoje sudaro netiesinės diferencialinės lygtys. Joms spręsti skirti Rungės-Kuto, Adamso ar kt. skaitiniai metodai. Čia pateiktas variklio modelis, kurio apvijos yra sujungtos žvaigžde be nulinio laido. Šio modelio vienas induktorius dirba nuolat, o kitas yra junginėjamas (4.10 pav.). Taikant 4.10 pav. pavaizduotą modelį, gautos greičio, kelio, jėgos charakteristikos, kai junginėjamas vienas induktorius (5.16 pav. – 5.18 pav.).



4.10 pav. Tiesiaegio asinchroninio variklio kompiuterinis modelis fazinėje koordinatinių sistemoje, kai junginėjamas vienas induktorius

4.4.1. Tiesiaeigio asinchroninio variklio kompiuterinis modelis fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjami abu induktoriai

Šis modelis analogiškas tiesiaeigio asinchroninio variklio kompiuteriniam modeliui fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjamas vienas induktorius. Šis modelis skiriasi tik šuolinėmis funkcijomis, sumatoriais ir daugybos blokais. Šiais elementais formuojami induktorių įjungimai ir išjungimai. Taikant 4.11 pav. pavaizduotą modelį gautos greičio, kelio, jėgos charakteristikos, kai junginėjami abu induktoriai (5.19 pav. – 5.21 pav.).

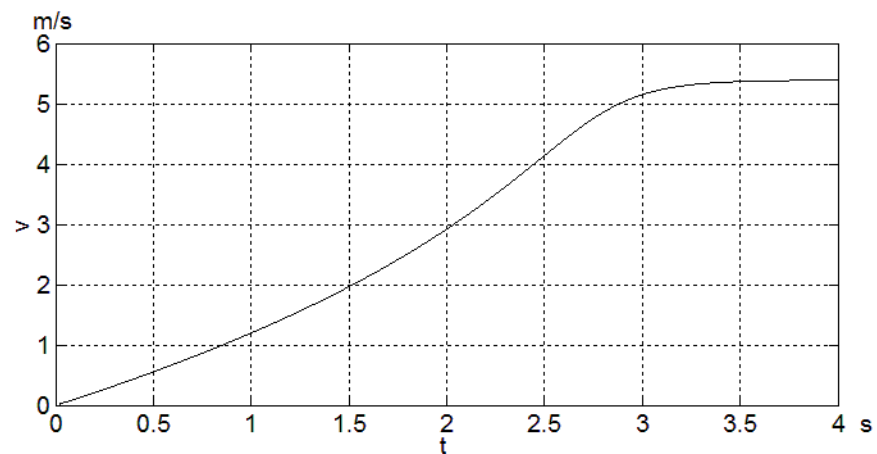


4.11 pav. Tiesiaegio asinchroninio variklio kompiuterinis modelis fazinėje koordinatinių sistemoje, kai junginėjami abu induktoriai

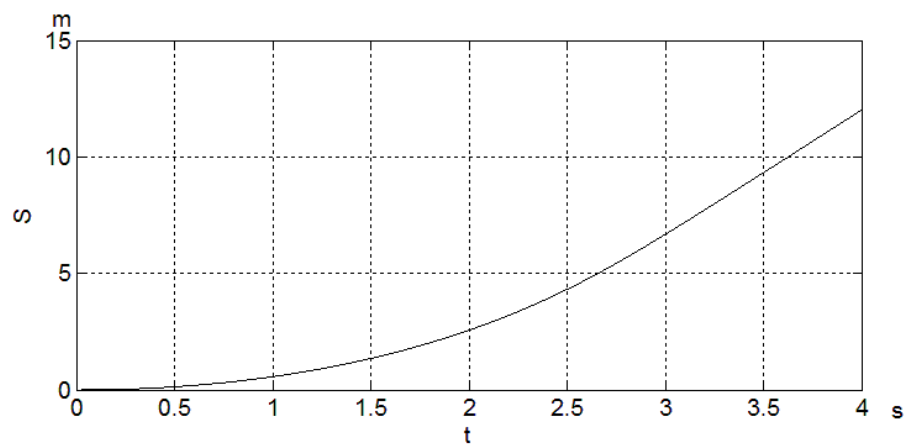
5. TIRIAMOJI DALIS

5.1. Tiesiaeigės elektros pavaros su pastoviais parametrais dinaminių charakteristikų imitavimas

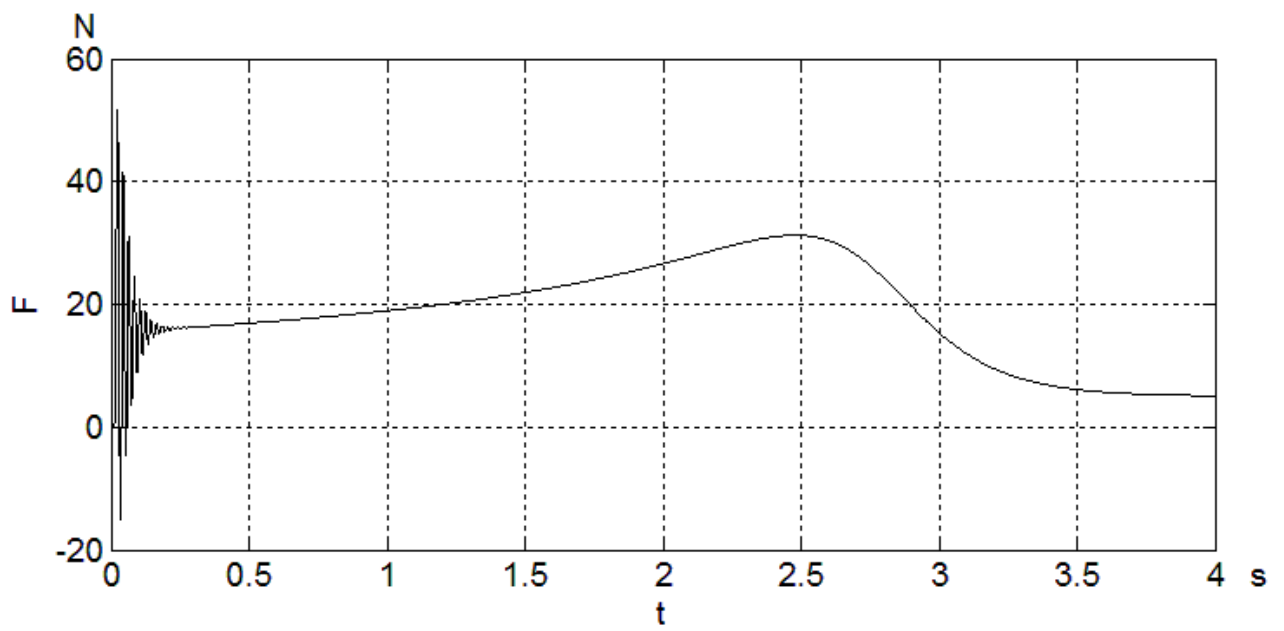
Taikant 4.3 pav. pavaizduotą modelį gautos transporterio greičio, kelio, jėgos ir srovių dinaminės charakteristikos, esant pastoviems TAV parametrams (5.1 pav. - 5.4 pav.). Iš greičio dinaminės charakteristikos matome, kad greitis didėja ir nusistovi per 3,25 sekundės. Per 2 sekundes antrinis elementas nueina 2,5 metro (5.2 pav.). Jėgos dinaminiai pereinamieji procesai užsibaigia per 0,2 sekundės, po to atitinka elektromechaninius pereinamuosius procesus (5.3 pav.). Srovė pradžioje siekia 1 amperą, po to sumažėja iki 0,8 ampero (5.4 pav.).



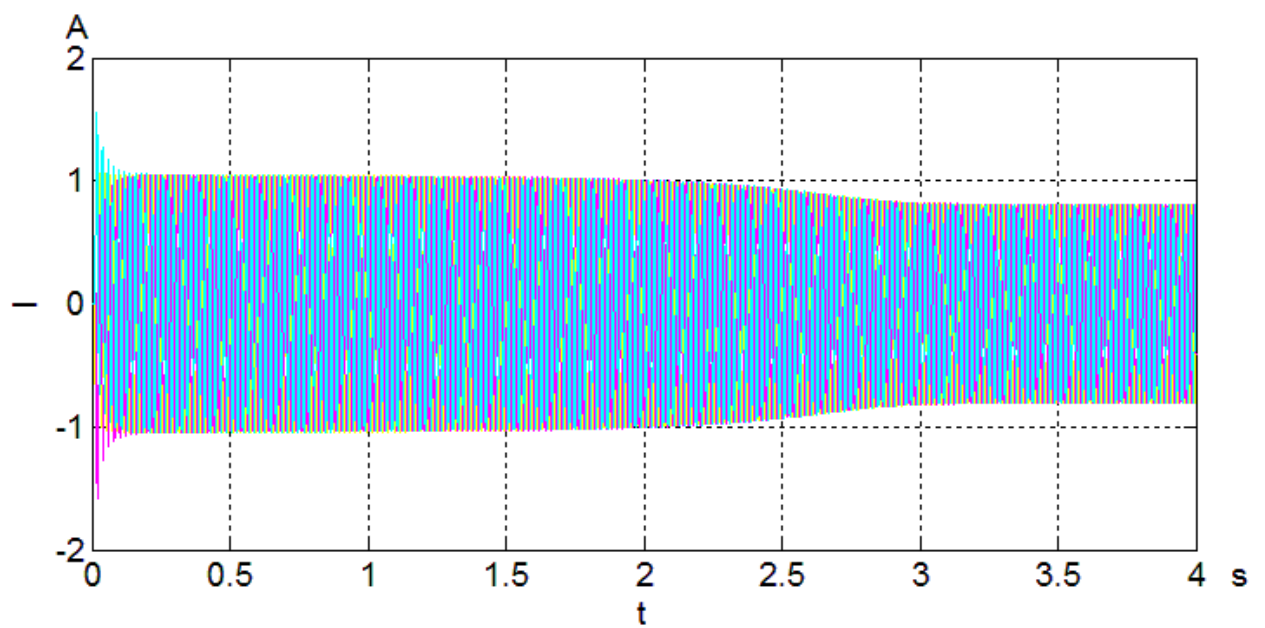
5.1 pav. TAV greičio dinaminė charakteristika, esant pastoviems TAV parametrams



5.2 pav. TAV antrinio elemento nueito kelio dinaminė charakteristika, esant pastoviems TAV parametrams



5.3 pav. TAV jėgos dinaminė charakteristika, esant pastoviams TAV parametrams

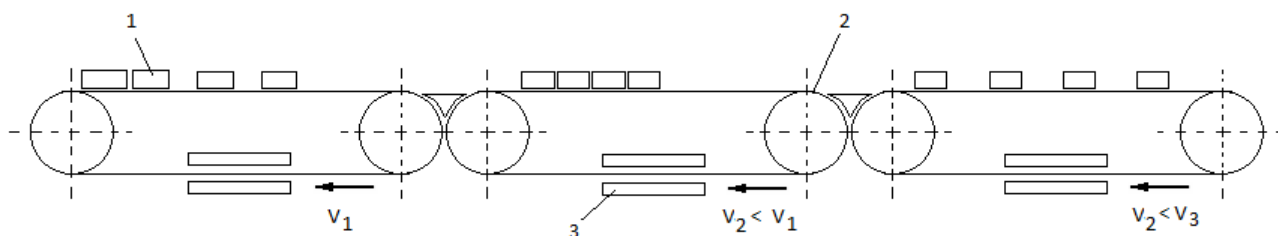


5.4 pav. Dvипusio TAV induktorių srovių dinaminės charakteristikos

5.2. Tiesiaeigės elektros pavaros su kintamais parametrais dinaminių charakteristikų imitavimas

5.2.1. Tiesiaeigės elektros pavaros su kintamais parametrais dinaminių charakteristikų imitavimas, kai junginėjamas vienas induktorius

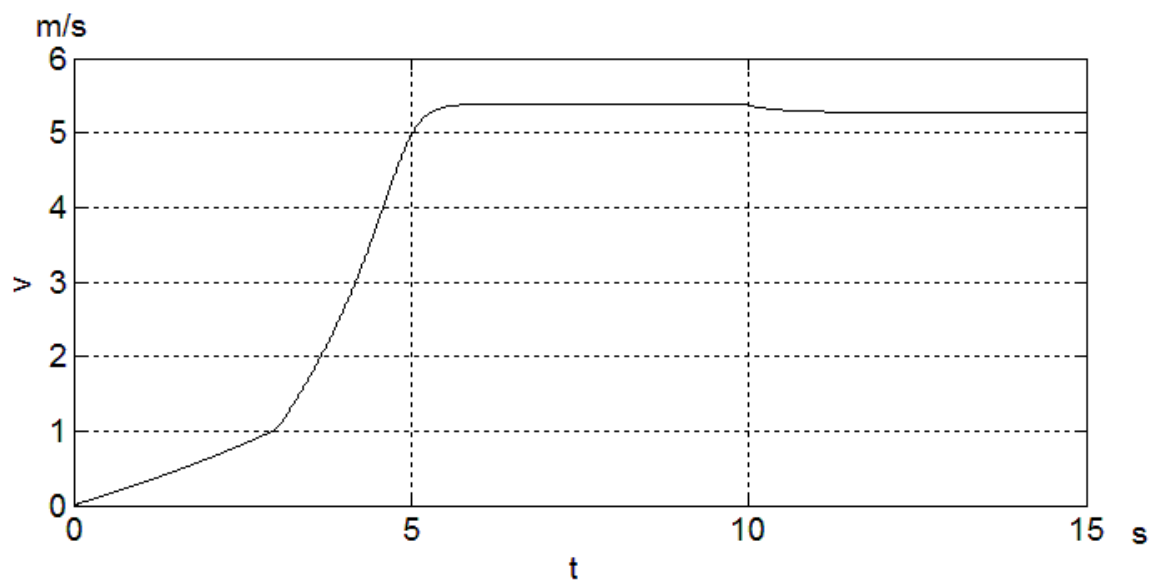
Lanksčioje automatizuotoje gamyboje, kurioje yra TAV turintys konvejeriai, reikalingas greičio reguliavimas. Dažnai gamyboje ant konvejerio juostos reikalingi vienodi tarpai tarp gaminamos produkcijos (pvz.: reikalingi tarpai keramikos gamyklose tarp presuotų ir išdžiovintų plytelių). Todėl dažnai reikia, kad gaminamas produktas prie kito konvejerio privažių tam tikru greičiu. 5.5 pav. pavaizduoti konvejeriai, formuojantys tarpus tarp gaminamos produkcijos.



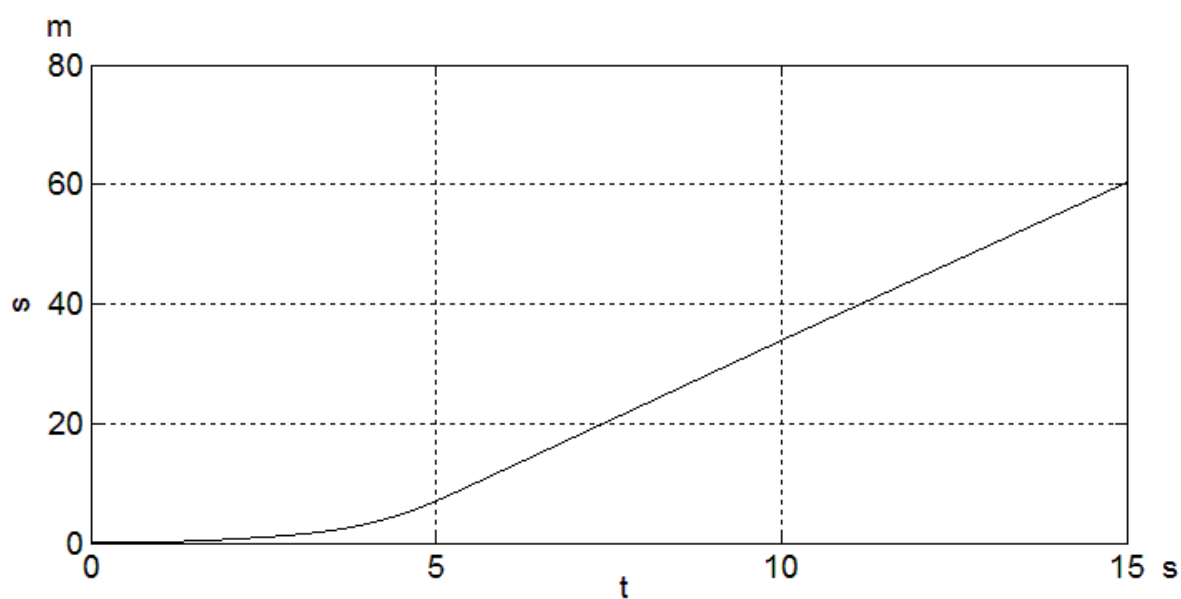
5.5 pav. Konvejeriai, formuojantys tarpus tarp gaminamos produkcijos

Taikant 4.6 pav. pavaizduotą modelį gautos konvejerio greičio, kelio, jėgos ir srovių dinaminės charakteristikos, kai junginėjamas vienas induktorius (5.6 pav. – 5.11 pav.). 5.6 pav. pavaizduota greičio dinaminė charakteristika, kai vienas induktorius dirba nuolat, o kitas induktorius junginėjamas. Laiko intervale nuo 0 iki 3 sekundžių konvejeris dirbo su vienu induktoriu, o nuo 3 iki 10 sekundžių konvejeris dirbo su abiem induktoriais (5.6 pav.). Po 10 sekundžių vienas iš induktorių buvo išjungtas, o likęs induktorius dirbo toliau (5.6 pav.). Per visą darbo laiką, t. y. 15 sekundžių, konvejerio juosta nueina 60 metrų (5.7 pav.). Iš 5.8 pav. matyti, kad dirbant vienam induktoriui jėgos elektromagnetiniai pereinamieji procesai pasibaigia per 0,3 sekundės, po to atitinka elektromechaninius pereinamuosius procesus iki antrojo induktoriaus įjungimo momento, t. y. 3 sekundžių. Nuo 3 sekundžių vėl prasideda nauji elektromagnetiniai pereinamieji procesai, kurie trunka iki 3,15 sekundės. Po to vėl prasideda elektromechaniniai pereinamieji procesai, kurie trunka iki vieno induktoriaus išjungimo t. y. 10 sekundžių. Čia elektromagnetiniai pereinamieji procesai trunka iki 10,05 sekundės. Po to vėl prasideda elektromechaniniai pereinamieji procesai (5.8 pav.). 5.9 pav. pavaizduoti srovės pereinamieji procesai visam pereinamajam procesui. 5.11 pav. pateiktas šio proceso fragmentas, kuriame matosi visos trys srovės. Induktoriaus, kuris įjungiamas visam darbo laikui, srovė pradžioje siekia 1

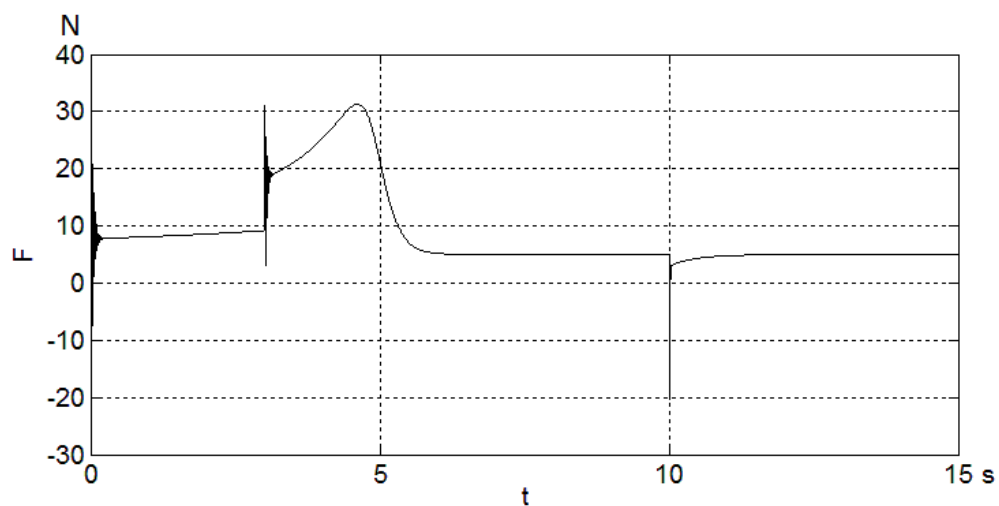
amperą, o pasibaigus elektromagnetiniam pereinamajam procesui srovė sumažėja iki 0,8 ampero (5.9 pav.). Valdomo induktoriaus srovių charakteristikos forma (5.10 pav.) analogiška nevaldomo induktoriaus srovių charakteristikos formai.



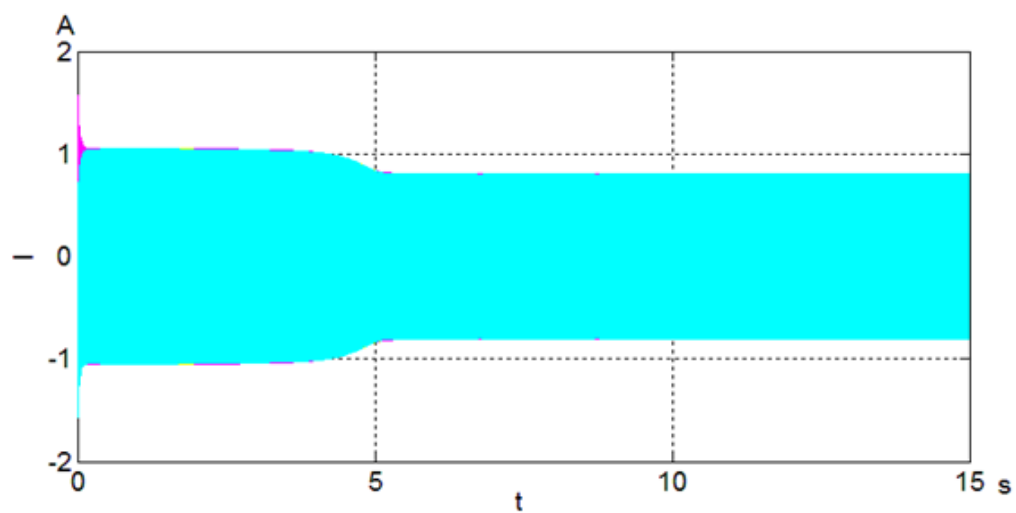
5.6 pav. TAV su kintamais parametrais greičio dinaminė charakteristika, kai junginėjamas vienas induktorių



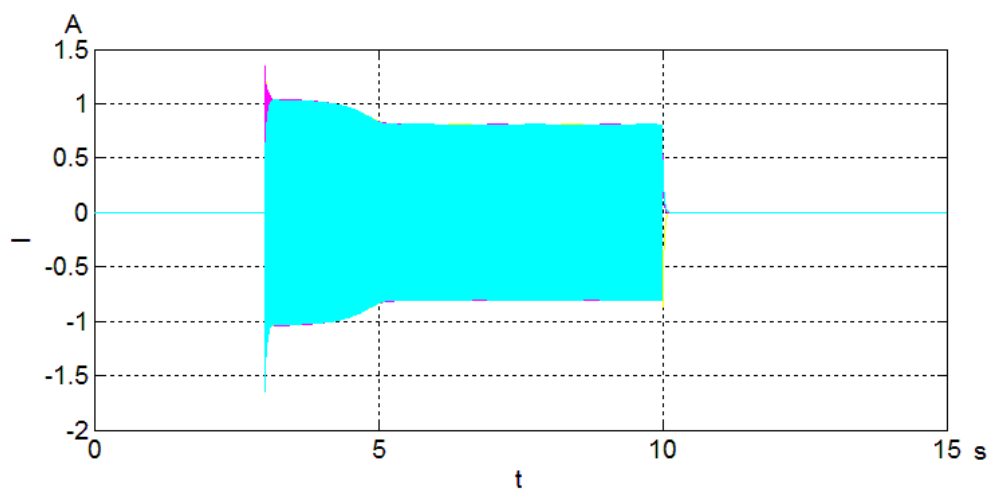
5.7 pav. TAV su kintamais parametrais nueito kelio dinaminė charakteristika, kai junginėjamas vienas induktorių



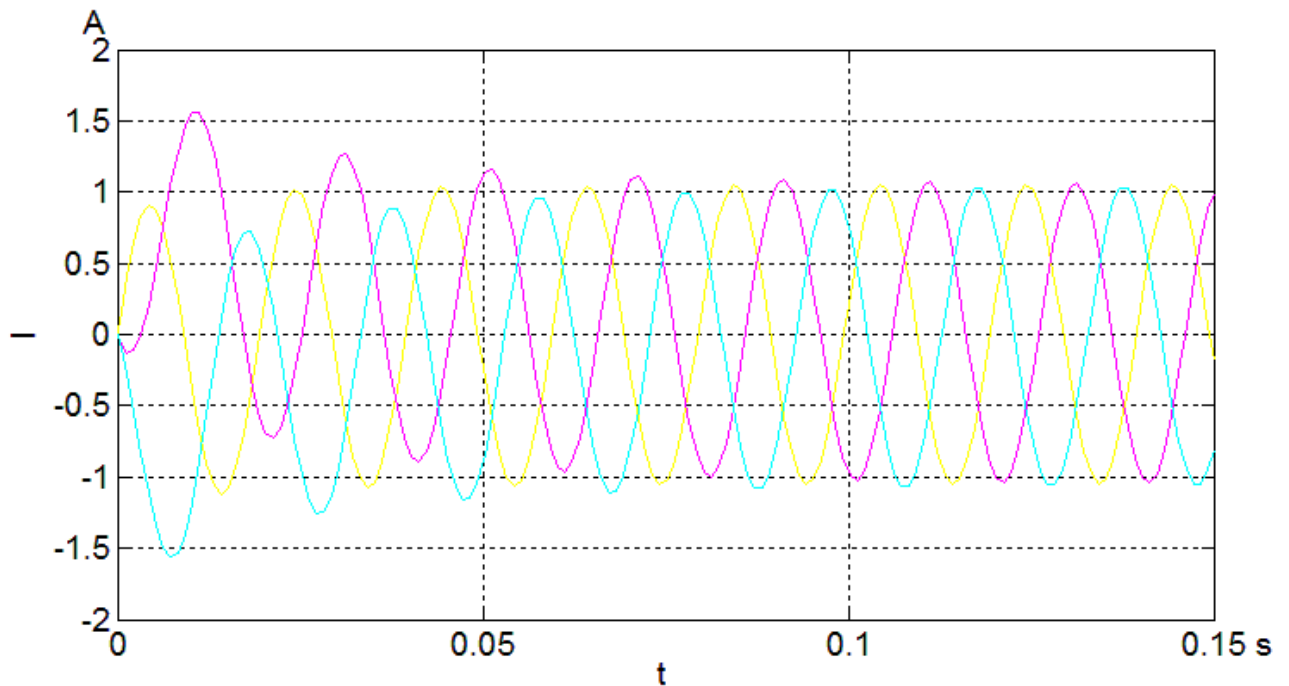
5.8 pav. TAV su kintamais parametrais jėgos dinaminė charakteristika, kai junginėjamas vienas induktorius



5.9 pav. TAV su kintamais parametrais, induktoriaus, kuris visa laiką dirbo srovių dinaminė charakteristika



5.10 pav. TAV su kintamais parametrais valdomo induktoriaus srovių charakteristika



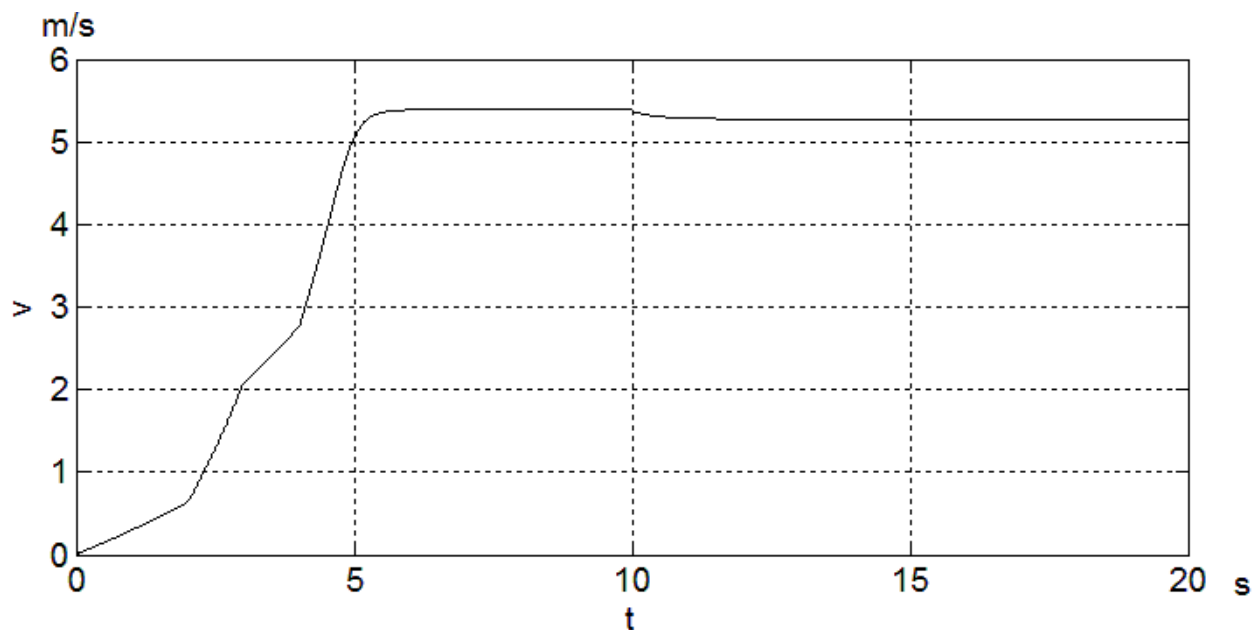
5.11 pav. TAV su kintamais parametrais, induktoriaus, kuris visa laiką dirbo srovių dinaminė charakteristika, kurioje matosi visos trys fazinės srovės

5.2.2. Tiesiaeigės elektros pavaros su kintamais parametrais dinaminių charakteristikų imitavimas, kai junginėjami abu induktoriai

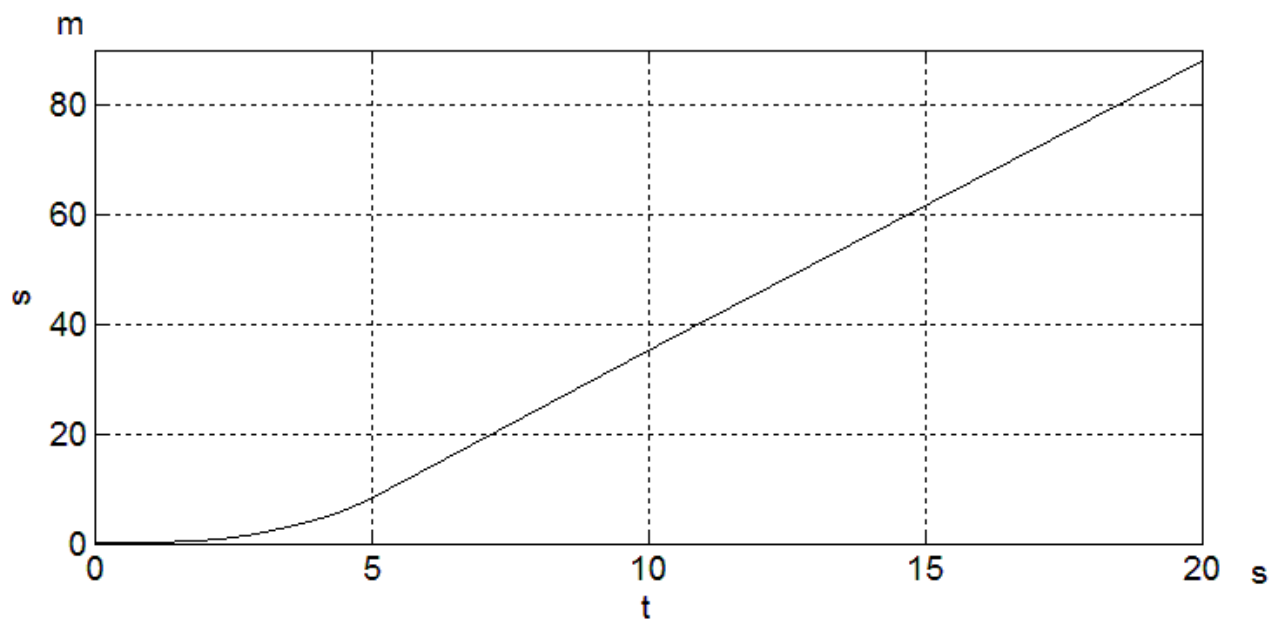
Lanksčioje automatizuotoje gamyboje dažnai reikia, kad konvejeriai paleidimo pradžioje nepradėtų suktis pilnu greičiu, o nustatytą greitį konvejeris pasiektų tik po tam tikro laiko. Toks paleidimas reikalingas tam, kad nebūtų didelių smūgių gaminamai produkcijai ir kad darbuotojams būtų lengviau adaptuotis prie nustatyto greičio.

Taikant 4.8 pav. pavaizduotą modelį gautos konvejerio pavaros greičio, kelio, jėgos ir srovių dinaminės charakteristikos, kai junginėjami abu induktoriai (5.11 pav. – 5.15 pav.). 5.11 pav. pavaizduota konvejerio greičio dinaminė charakteristika, kai junginėjami abu induktoriai. Laiko intervale nuo 0 iki 2 sekundžių dirbo vienas induktorius (pirmasis induktorius), o nuo 2 iki 3 sekundės dirbo abu induktoriai (5.11 pav.). Po 3 sekundžių vienas iš induktorių išjungiamas (pirmasis induktorius), o likęs induktorius (antrasis induktorius) dirbo iki 4 sekundės. Nuo 4 sekundės vėl įjungiamas pirmasis induktorius ir taip dirbo iki 10 sekundės abu induktoriai. Po 10 sekundžių išjungiamas antrasis induktorius ir liko dirbti toliau pirmasis induktorius (5.11 pav.). Per visą darbo laiką, t. y. 20 sekundžių, antrinis elementas nueina 88 metrus (5.12 pav.). 5.13 pav.

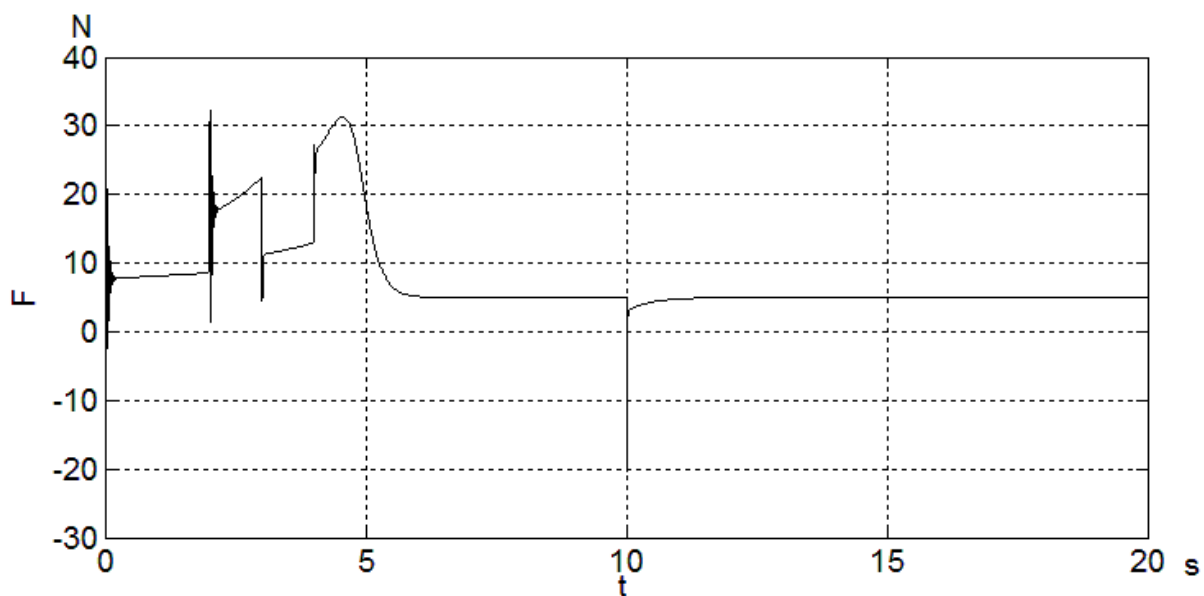
pavaizduota jėgos dinaminė charakteristika valdant abu induktorius. 5.14 pav. – 5.15 pav. pavaizduotos abiejų induktorių srovių dinaminės charakteristikos, kai valdomi abu induktoriai.



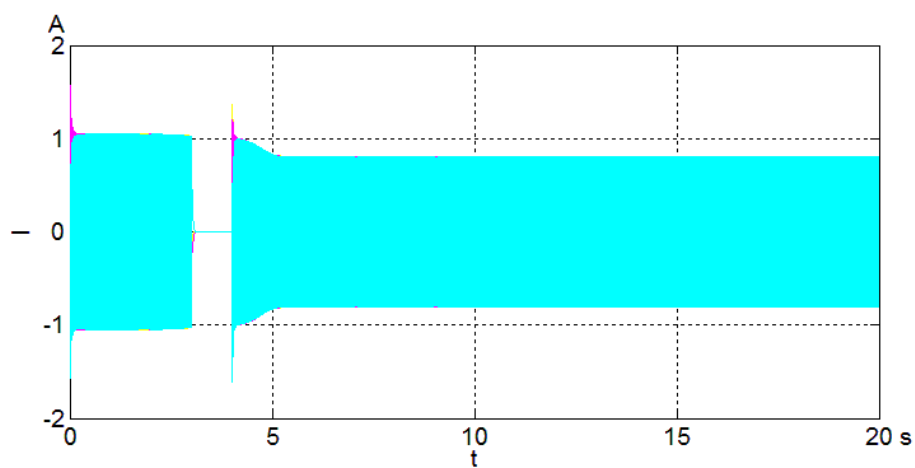
5.11 pav. TAV su kintamais parametrais greičio dinaminė charakteristika, kai junginėjami abu induktoriai



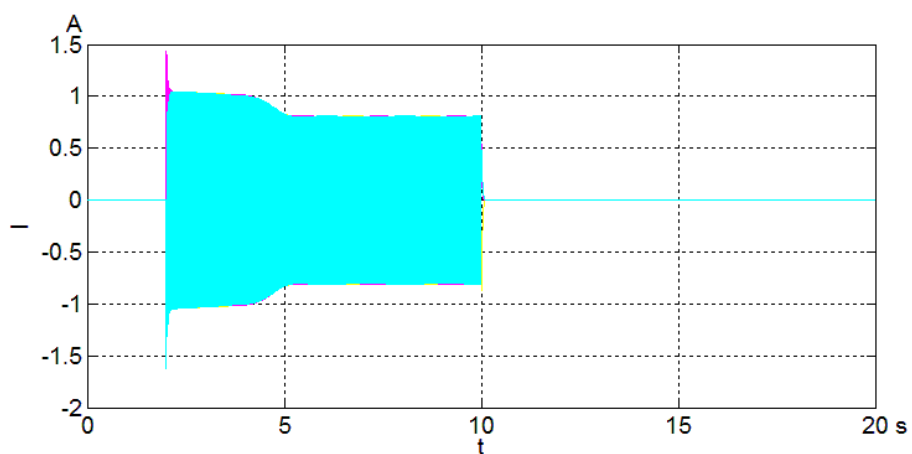
5.12 pav. TAV su kintamais parametrais nueito kelio dinaminė charakteristika, kai junginėjami abu induktoriai



5.13 pav. TAV su kintamais parametrais jėgos dinaminė charakteristika, kai junginėjami abu induktoriai



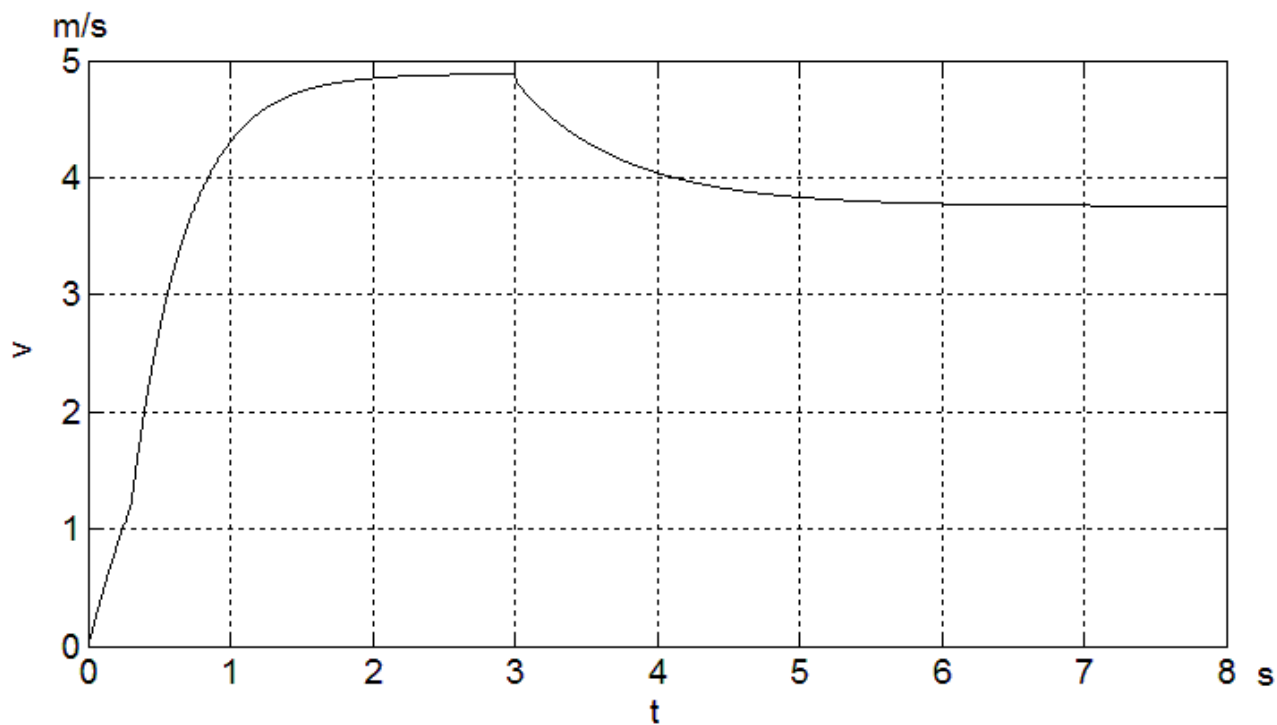
5.14 pav. TAV su kintamais parametrais pirmo valdomo induktoriaus srovių charakteristika



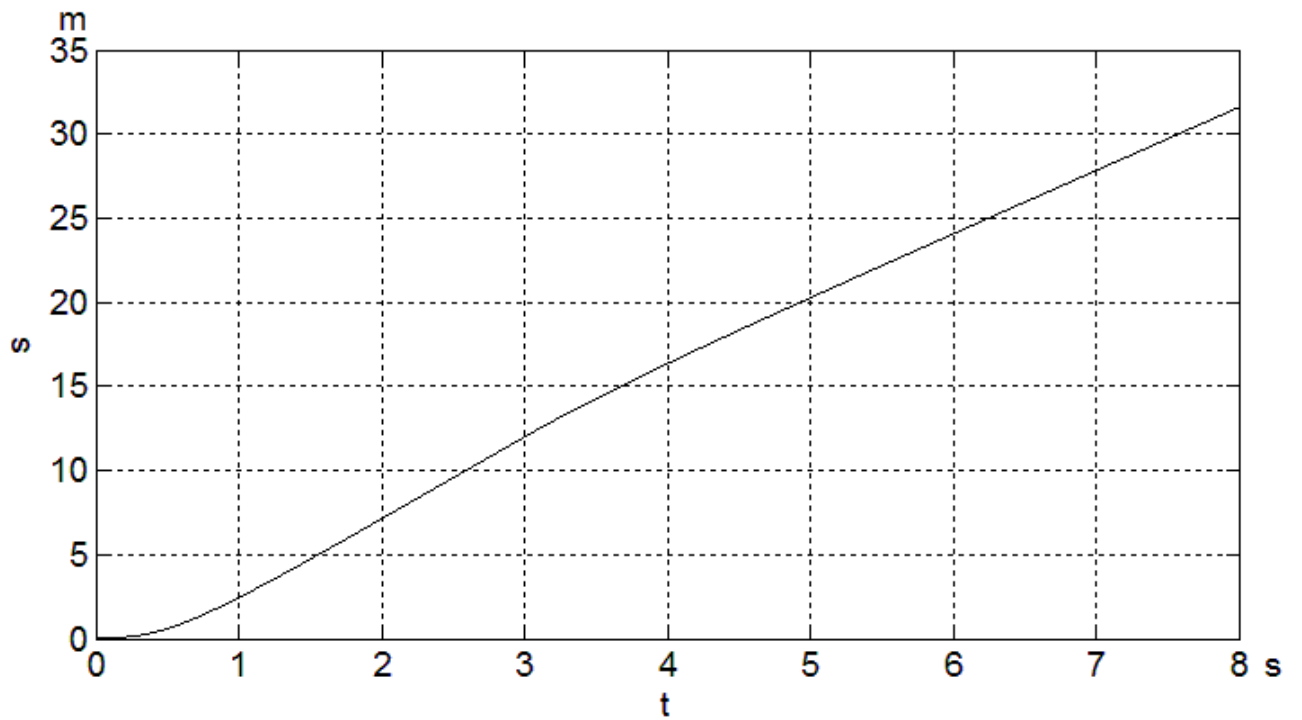
5.15 pav. TAV su kintamais parametrais antro valdomo induktoriaus srovių charakteristika

5.3. Tiesiaeigės elektros pavaros kompiuterinio modelio fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjamas vienas induktorius, dinaminė charakteristikų imitavimas

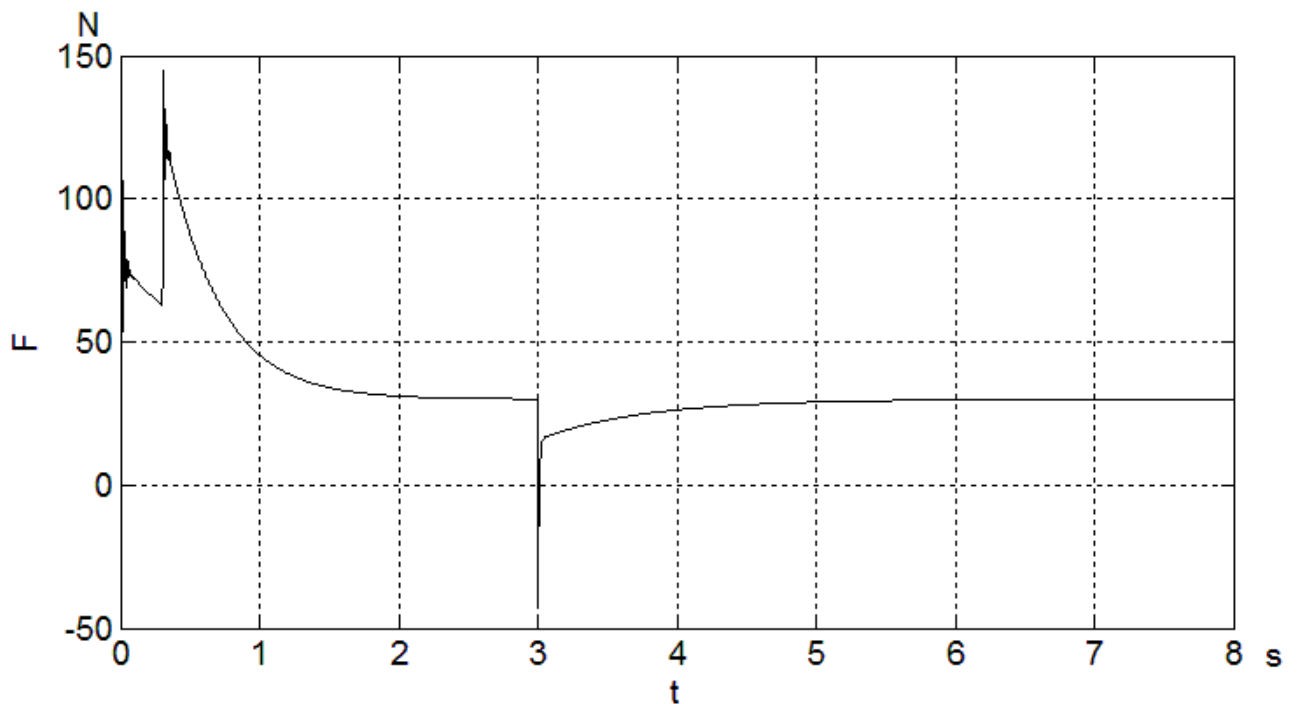
Taikant 4.9 pav. pavaizduotą modelį, gautos tiesiaeigės pavaros greičio, kelio ir jėgos dinaminės charakteristikos, kai junginėjamas vienas induktorius (5.16 pav. – 5.18 pav.). 5.16 pav. pavaizduota greičio dinaminė charakteristika, kai vienas induktorius dirba nuolat, o kitas induktorius junginėjamas. Laiko intervale nuo 0 iki 0,3 sekundžių dirbo vienas induktorius, o nuo 0,3 iki 3 sekundžių dirbo abu induktoriai (5.16 pav.). Po 3 sekundžių vienas iš induktorių išjungiamas, o likęs induktorius dirbo toliau (5.16 pav.). Per visą darbo laiką, t.y. 8 sekundes, antrinis elementas nueina 32 metrus (5.17 pav.). Iš 5.18 pav. matyti, kad dirbant vienam induktoriui jėgos elektromagnetiniai pereinamieji procesai užsibaigia per 0,1 sekundės, po to atitinka elektromechaninius pereinamuosius procesus iki antrojo induktoriaus įjungimo momento t.y. 0,3 sekundžių. Nuo 0,3 sekundžių vėl prasideda nauji elektromagnetiniai pereinamieji procesai, kurie trunka iki 0,35 sekundės. Po to vėl prasideda elektromechaniniai pereinamieji procesai, kurie trunka iki vieno induktoriaus išjungimo t. y. 3 sekundžių. Čia elektromagnetiniai pereinamieji procesai trunka iki 3,1 sekundės. Po to vėl prasideda elektromechaniniai pereinamieji procesai (5.18 pav.).



5.16 pav. Tiesiaeigio asinchroninio variklio kompiuterinio modelio fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjamas vienas induktorius, greičio dinaminė charakteristika



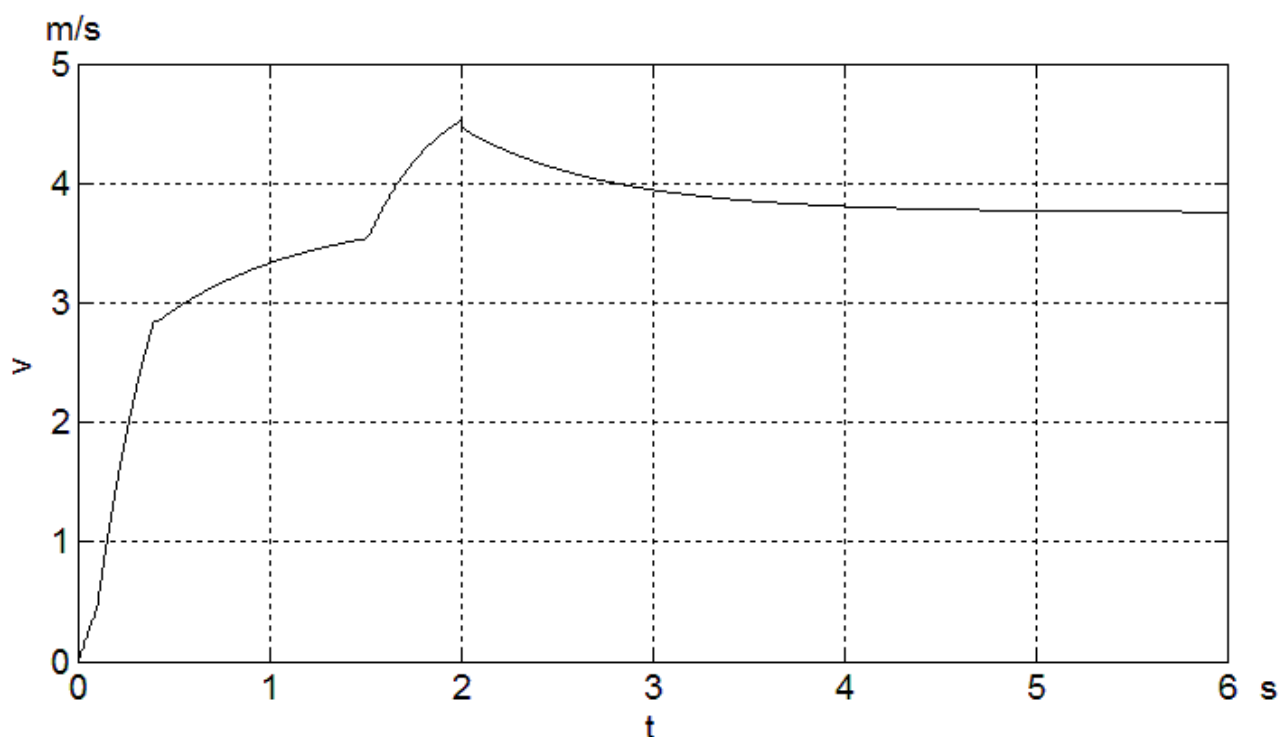
5.17 pav. Tiesiaeigio asinchroninio variklio kompiuterinio modelio fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjamas vienas induktorius, kelio dinaminė charakteristika



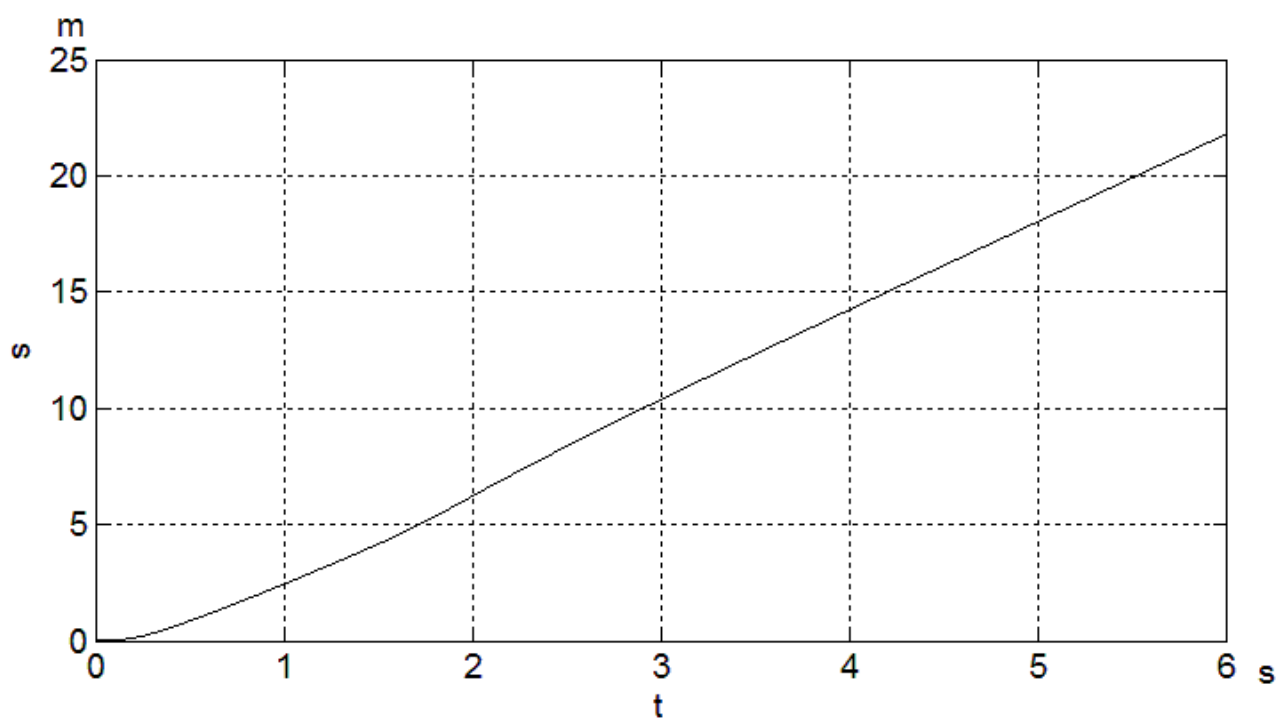
5.18 pav. Tiesiaeigio asinchroninio variklio kompiuterinio modelio fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjamas vienas induktorius jėgos dinaminė charakteristika

5.3.1. Tiesiaieigės elektros pavaros kompiuterinio modelio fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjami abu induktoriai, dinaminų charakteristikų imitavimas

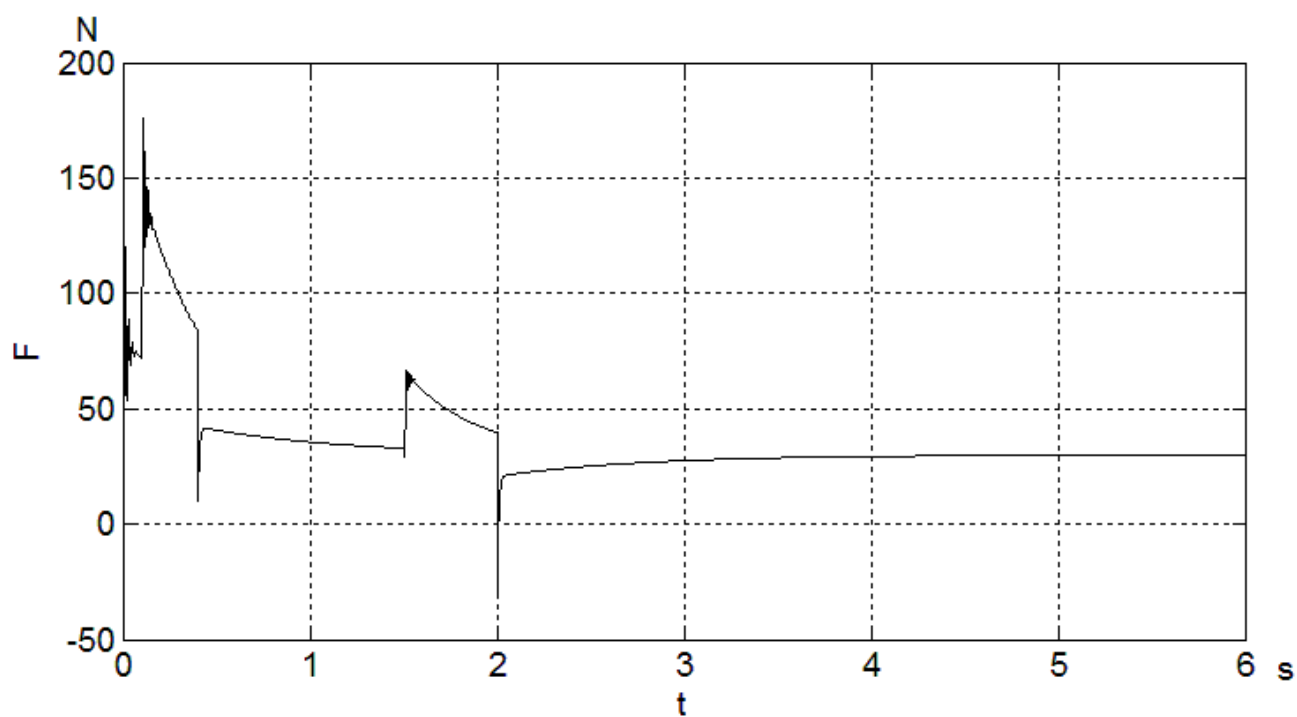
Taikant 3.31 pav. pavaizduotą modelį, gautos tiesiaieigės pavaros greičio, kelio ir jėgos dinaminės charakteristikos, kai junginėjami abu induktoriai (5.11 pav. – 5.15 pav.). 5.11 pav. pavaizduota greičio dinaminė charakteristika, kai junginėjami abu induktoriai. Laiko intervale nuo 0 iki 0.1 sekundžių dirbo vienas induktorius (pirmasis induktorius), o nuo 0.1 iki 0.4 sekundės dirbo abu induktoriai (5.11 pav.). Po 0,4 sekundžių vienas iš induktorių išjungiamas (pirmasis induktorius), o likęs induktorius (antrasis induktorius) dirbo iki 1.5 sekundės. Nuo 1.5 sekundžių vėl įjungiamas pirmasis induktorius ir taip su abiem induktoriais dirbo iki 2 sekundės. Po 2 sekundžių išjungiamas antrasis induktorius, toliau liko dirbti pirmasis induktorius (5.11 pav.). Per visą darbo laiką t. y. 6 sekundes antrinis elementas nueina 22 metrus (5.20 pav.). 5.21 pav. pavaizduota jėgos dinaminė charakteristika valdant abu induktorius.



5.19 pav. Tiesiaieigio asinchroninio variklio kompiuterinio modelio fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjami abu induktoriai, greičio dinaminė charakteristika



5.20 pav. Tiesiaieigio asinchroninio variklio kompiuterinio modelio fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjami abu induktoriai, kelio dinaminė charakteristika



5.21 pav. Tiesiaieigio asinchroninio variklio kompiuterinio modelio fazinėje koordinačių sistemoje, kai junginėjami abu induktoriai, jėgos dinaminė charakteristika

6. TYRIMO REZULTATŲ APIBENDRINIMAS

6.1. Išvados

1. Iš literatūros analizės matome, kad TAV valdyti taikomi visi būdai, būdingi rotacinių asinchroninių variklių valdymui. Tačiau TAV galima valdyti ir savitaisiais būdais, pvz. , perstumiant magnetiškai ir elektriškai dvipusio TAV induktorių vienas kito atžvilgiu įvairiomis kryptimis.
2. Neaptikta literatūros šaltinių ir internetinių duomenų apie galimybę formuoti TAV dinamines charakteristikas laiko bėgyje, trumpam įjungiant bei atjungiant vieną iš TAV induktorių arba abu, taigi diskretiškai keičiant pavaros parametrus. Todėl šio baigiamojo darbo tema gali būti laikoma aktualia.
3. Plokščios konstrukcijos elektriškai ir magnetiškai dvipusis TAV gali veikti įvairiais dinaminiais režimais, nebūdingais klasikiniams asinchroninėms elektros pavaroms. Šiame darbe tyrinėti TAV dinaminiai režimai, kai diskretiškai keičiami pavaros parametrai. Buvo sudaryti dviejų tipų kompiuteriniai modeliai: x, y koordinačių sistemoje ir fazinėje koordinačių sistemoje. Buvo sudaryti kompiuteriniai modeliai, įgalinantys tirti pavaros pereinamuosius vyksmus, kai valdomas tik vienas induktorius, o kitas dirba nuolat, ir kompiuterinis modelis, įgalinantis tirti dinامينius vyksmus, kai valdomi abu induktoriai. Atlikti tyrimai rodo, kad naudojant elektriškai ir magnetiškai dvipusį TAV, galima formuoti įvairias tiesiaeigės elektros pavaros dinamines charakteristikas. Pavyzdžiui, galima valdyti pavarą taip, kad įrenginio vykdymo elementas nustatytu momentu pasiektų nustatytą greitį. Sudėtingesniu atveju greičio charakteristika gali pereiti per du ir daugiau taškų, aprašomų tam tikrais greičiais ir laikais.
4. Sudaryti modeliai įgalina imituoti valdomų tiesiaeigių elektros pavarų nueitą kelią, induktorių sroves ir bendrą antrinį elementą veikiančią jėgą.

6.2. Rekomendacijos ir pasiūlymai

Tyrimai rodo, kad pasiūlytus TAV dinaminį charakteristikų formavimo būdus racionalu taikyti lanksčiojoje gamyboje sinchronizuojant tiesiaeigę pavarą varomo įrenginio greitį su kitų objektų greičiais. Toliau tiriant šiame magistro darbe iškeltą problemą racionalu sudaryti modelius, sintezuojančius induktorių komutavimo laikus, kad būtų užtikrinti reikiami pavaros dinaminiai parametrai.

7. LITERATŪRA IR KITI ŠALTINIAI

1. P. Jenkins. Tiesiaieigės dažninės pavaros tyrimas: baigiamasis magistro darbas. Vilnius VGTU, 2004. 94 p.
2. A. J. Poška, Z. Savickienė, S. Lisauskas. Tiesiaieigės mechatroninės sistemos. Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2008. 244 p.
3. A. Smilgevičius. Automatikos mikromašinos. Vilnius: Technika, 2005. 342 p.
4. P. Kostrauskas. Asinchroninės elektros mašinos. Kaunas: Technologija, 2004. 112p.
5. R. K. Masteika. Elektros pavaros. Kaunas: Technologija, 2002. 118 p.
6. O. Švedienė. Asinchroninės elektros mašinos. Vilnius, 2006. 89 p.
7. S. Gečys, A. Kalvaitis, P. Smolskas Elektros mašinos: I dalis. Transformatoriai, asinchroninės mašinos. Mokomoji knyga. Kaunas: Technologija, 2010. 209 p.
8. A. J. Poška. Specialiosios automatinės sistemos. Vilnius: Technika, 1995. 196 p.
9. A. Petrovas. Trifazių asinchroninių variklių dinaminiai modeliai. Daktaro disertacija. Vilnius VGTU 2007. 102 p.
10. R. Rinkevičienė, A. J. Poška, A. Smilgevičius. Tiesiaieigės mechatroninės sistemos. Vilnius: Technika, 2006. 223 p.
11. Соколов М. М., Сорокин Л. К. Электропривод с линейными асинхронными двигателями. Москва: Энергия, 1974. 136 с.
12. M. G. Čilikinas, M. M. Sokolovas, V. M. Terechovas, A.V. Šinianskis. Automatizuotų elektros pavarų pagrindai. Vilnius: Mokslas, 1978. 417 p.
13. Willam L. Kenly, Bimal K. Bose. Triac Speed Control of Three-Phase Induction Motor with Phase-Locked Loop Regulation. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA- 12. NO. S. September/October, 1971. 7 p.
14. Valery Vodovozov, Dmitri Vinnikov. Electronic systems of motor drive. Tallinn University of Technology, 2008. 248 p.
15. Г. Г. Соколовский. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. Москва :Издательский центр „Академия“, 2007. 259 p.
16. Соколов М. М., Сорокин Л. К. Электропривод с линейными асинхронными двигателями. Москва: Энергия, 1974. 136 с.
17. Yamamura S. Theory of Linear Induction Motors. Tokyo: University of Tokyo Press, 2 ed., 1972. 235 p.
18. Tomas Sadauskas. Tiesiaieigio asinchroninio variklio magnetinio lauko imitacija. Baigiamasis magistro darbas. Vilnius VGTU, 2006. 49 p.

19. A. J. Poška, Z. Savickienė, A. Ilgevičius. Tiesiaeigių asinchroninių variklių charakteristikų aibių apskaičiavimo problemos. Elektrotechnika. Kaunas: Technologija, 2000, 24(33), p. 97 – 102.
20. A. J. Poška. Tipinių technologinių procesų ir įrenginių automatizavimas. Vilnius: Mokslas, 1992. 248 p.
21. A. J. Poška, R. Rinkevičienė. Tiesiaeigių elektros pavarų skaičiavimo ir valdymo algoritmai. Vilnius: Technika, 1997. 231 p.
22. E. Matkevičius. Mechatroninių įrenginių valdymas. Daktaro disertacijos santrauka. Vilnius: Technika, 2003. 31 p.
23. N. Šulčius. Mechatroninių vykdomo sistemų valdymas kintamosios struktūros reguliatoriais. Daktaro disertacija. Kaunas, 2008. 98 p.
24. А. И. Болбек. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. ленинградское отделение: энергия, 1970. 270 с.
25. С. Ямамура. Теория линейных асинхронных двигателей. Ленинград: электроатомиздат ленинградское отделение, 1983. 179 с.
26. B. Liūnas. Tiesiaeigės asinchroninės stūmiklio pavaros tyrimas. Baigiamasis magistro darbas. Vilnius VGTU, 2008. 96 p.
27. A. Vasilčenko. Medžio pjaustymo staklių su tiesiaeigiu asinchroniniu varikliu tyrimas. Baigiamasis magistro darbas. Vilnius VGTU, 2008. 96 p.
28. O. Kveten. Transporterio tiesiaeigės pavaros tyrimas. Baigiamasis magistro darbas. Vilnius VGTU, 2010. 40 p.
29. V. Ratiukas. Keltuvo tiesiaeigės pavaros tyrimas. Baigiamasis magistro darbas. Vilnius VGTU, 2010. 67 p.
30. О.Н. Веселовский, А.Ю. Коняев, Ф.Н. Сарапулов. Линейные асинхронные двигатели. Москва электроатомиздат, 1991. 256 с.
31. R. Rinkevičienė, A. Petrovas. Mechatroninių sistemų modeliavimas. Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2008. 165 p.
32. A. Poška, Č. Teišerskas. Automatinės sistemos su tiesiaeigėmis elektros pavaromis. Vilnius: Technika, 1993. 174 p.

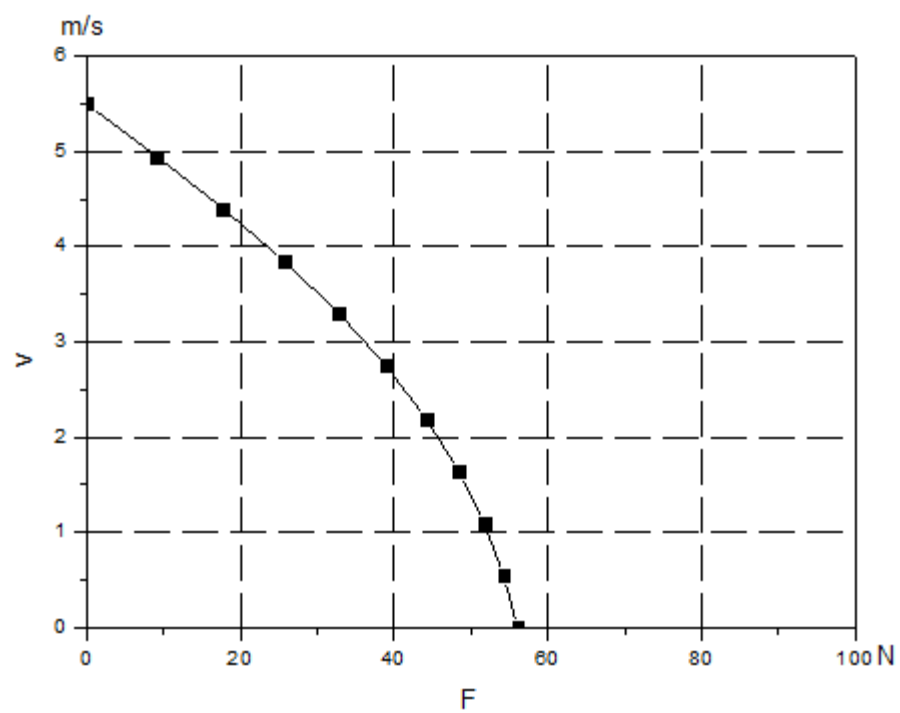
PRIEDAI

P1 lentelė. Skaičiavimų rezultatų lentelė

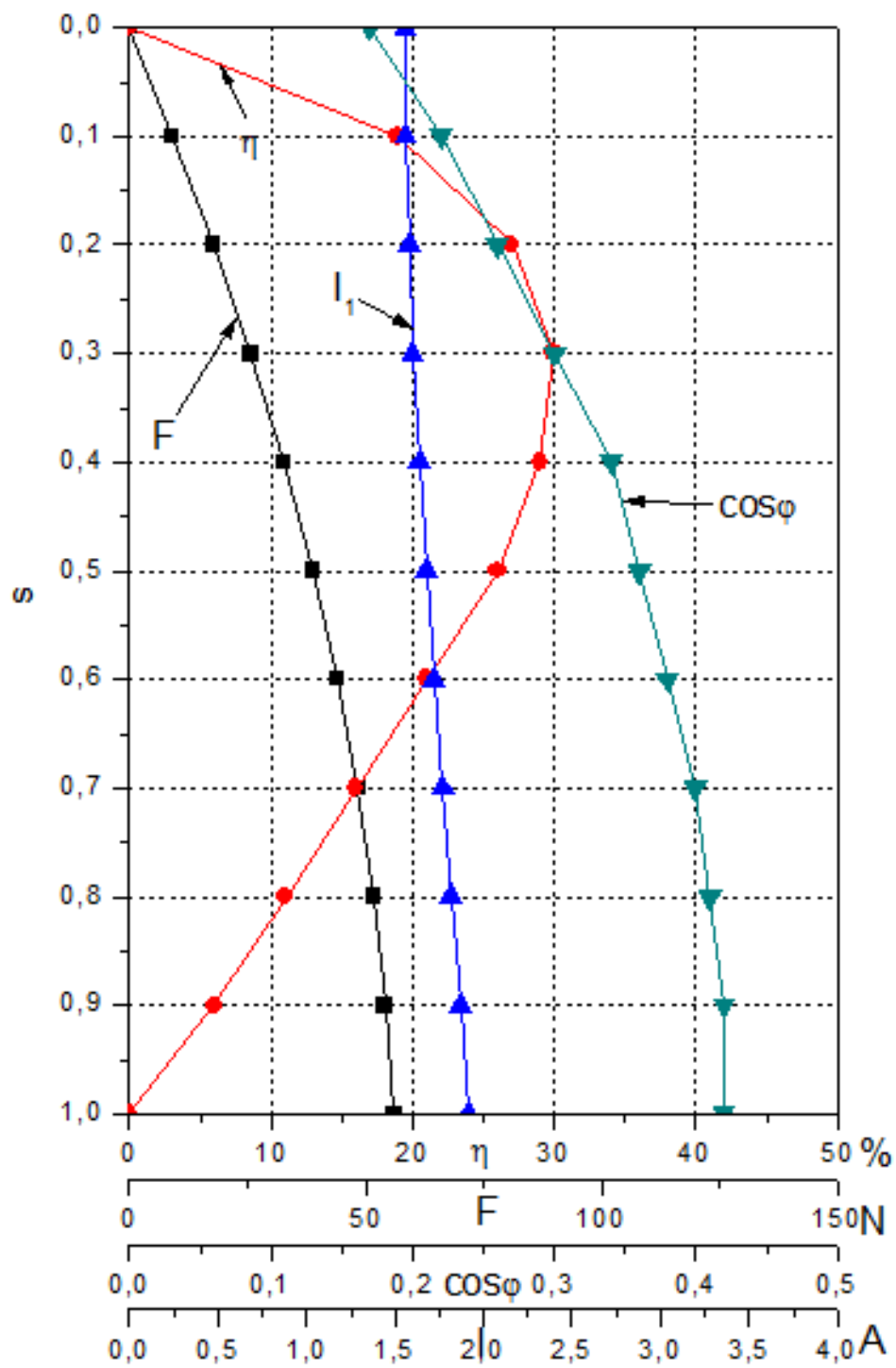
Ieškomi dydžiai	Slydimas Matavimo vnt.	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K_a	-	0,000	0,117	0,224	0,315	0,385	0,435	0,467	0,484	0,491	0,489	0,482
K_p	-	0,000	0,014	0,054	0,114	0,186	0,263	0,339	0,410	0,475	0,532	0,583
R_2'	Ω	0,00	6,83	13,10	18,38	22,48	25,39	27,26	28,28	28,66	28,57	28,16
X_2'	Ω	0,00	-0,83	-3,17	-6,67	-10,87	-15,35	-19,78	-23,94	-27,72	-31,09	-34,06
$(R_1 + R_2')^2$	Ω^2	243,36	503,31	823,85	1154,94	1450,04	1680,29	1836,90	1925,49	1958,82	1951,18	1915,35
$(X_{11} + X_2')^2$	Ω^2	21374,44	21133,47	20457,94	19468,88	18313,47	17121,33	15982,83	14948,12	14036,81	13249,35	12576,16
$(R_1 + R_2')^2 + (X_{11} + X_2')^2$	Ω^2	21617,8	21636,8	21281,8	20623,8	19763,5	18801,6	17819,7	16873,6	15995,6	15200,5	14491,51
Z	Ω	147,03	147,09	145,88	143,61	140,58	137,12	133,49	129,90	126,47	123,29	120,38
I_1	A	1,56	1,56	1,58	1,60	1,64	1,68	1,72	1,77	1,82	1,87	1,91
F	N	0,00	9,11	17,77	25,72	32,82	38,97	44,14	48,36	51,70	54,24	56,08
P_{em}	W	0,00	50,13	97,71	141,47	180,51	214,32	242,77	265,98	284,34	298,31	308,44
P_{Cu}	W	114,52	114,42	116,33	120,04	125,27	131,68	138,93	146,72	154,77	162,87	170,84
P_1	W	188,51	238,54	288,02	335,49	379,76	419,98	455,68	486,69	513,10	535,16	553,26

P1 lentelės tęsinys

S	$V \cdot A$	1079,4	1078,9	1087,9	1105,1	1128,9	1157,4	1188,8	1221,7	1254,8	1287,2	1318,3
$\cos \varphi$	-	0,17	0,22	0,26	0,30	0,34	0,36	0,38	0,40	0,41	0,42	0,42
V	m/s	5,5	4,95	4,4	3,85	3,3	2,75	2,2	1,65	1,1	0,55	0
P_2	W	0,00	45,12	78,17	99,03	108,30	107,16	97,11	79,80	56,87	29,83	0,00
η	%	0,00	0,19	0,27	0,30	0,29	0,26	0,21	0,16	0,11	0,06	0,00



P2 pav. Tiesiaieigio asinchroninio variklio mechaninė charakteristika



P3 pav. Tiesiaiegio asinchroninio variklio statinės charakteristikos



XV-toji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija
„MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS“

ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA

PAŽYMA

Marius Speičys

*Elektros inžinerijos ir automatizavimo, robotikos, valdymo
inžinerijos jungtinėje sekcijoje perskaitė pranešimą*

***Tiesiaiegių asinchroninių pavarų dinaminių vyksmų
formavimas***

Mokslo komiteto pirmininkas

prof. habil. dr. Romanas Martavičius

Sekcijos pirmininkas

dr. Sonata Tolvaišienė

2012 m. kovo mėn. 16 d.
Vilnius