

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

VALDAS JANKŪNAS

**ŠVYTUOJAMOJO JUDESIO SINCHRONINIŲ PAVARŲ
SU IMPULSINIAIS MAITINIMO ŠALTINIAIS TYRIMAS**

Daktaro disertacija
Technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija (01T)

2013, Kaunas

Disertacija rengta 2007 – 2012 metais Kauno technologijos universitete,
Telekomunikacijų ir elektronikos fakultete, Elektronikos inžinerijos katedroje.

Disertacija ginama eksternu.

Mokslinė konsultantė:

prof. dr. Eleonora GUSEINOVIEŅĖ (Klaipėdos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T)

Mokslinis vadovas (2007 – 2011 m.):

prof. habil. dr. Danielius EIDUKAS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T)

Interneto svetainės, kurioje skelbiama disertacija, adresas:

<http://ktu.lt/turinys/disertacijos-gynimas>

Recenzavo:

prof. dr. Stanislovas Kęstutis BARTKEVIČIUS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T)

prof. habil. dr. Juozapas Arvydas VIRBALIS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T)

© V. Jankūnas

© Technologija, 2013

ISBN 978-609-02-0842-7

Turinys

SANTRUMPOS IR ŽYMĖJIMAI	5
ĮVADAS	6
1. SINCHRONINIŲ VARIKLIŲ MAITINIMO PROBLEMOS.....	8
1.1. ŠJSPSP variklio konstrukcijos ypatumai.....	10
1.2. ŠJSPSP maitinimo būdai	11
1.3. Tyrimo metodika	14
1.4. Skyriaus išvados	15
2. ŠJSPSP MATEMATINIS MODELIS	16
2.1. Modeliavimo algoritmas.....	23
2.2. Modeliavimo algoritmo dalis, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai	27
2.3. Modeliavimo algoritmo dalis, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami	38
2.4. Modeliavimo algoritmo dalis, kai apvijos šuntuojamos diodais ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai	45
2.5. Modeliavimo algoritmo dalis, kai apvijos šuntuojamos diodais, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami.....	52
2.6. Programinė įranga modeliui įgyvendinti	55
2.7. Skyriaus išvados	56
3. ŠJSPSP FIZINIO IR MATEMATINIO MODELIŲ ADEKVATUMO TYRIMAS	57
3.1. Tyrimo prielaidos	58
3.2. Tyrimo rezultatai.....	60
3.3. Skyriaus išvados ir rezultatai	66
4. ŠJSPSP APVIJOS EKVIVALENTINIŲ SCHEMŲ ĮVERTINIMAS.....	67
4.1. Modeliavimo paklaidos, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse.....	67
4.2. Modeliavimo trukmė, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse	76
4.3. Modeliavimo paklaidos, kai apvijos šuntuojamos diodais	76
4.4. Modeliavimo trukmė, kai apvijos šuntuojamos diodais	82
4.5. Skyriaus išvados ir rezultatai	82
5. SROVĖ GESINANČIO VARŽO ĮTAKA ŠJSPSP MAITINIMO SCHEMOJE SU ŠUNTUOJANČIAIS DIODAIS.....	83
5.1. Eksperimento planas	83
5.2. Eksperimento rezultatai.....	84
5.3. Skyriaus išvados ir rezultatai	91

6. ŠJSPSP MAITINIMO BŪDŲ ĮVERTINIMAS	92
6.1. Tiriamos pavaros parametrai	92
6.2. ŠJSPSP maitinimo būdų tyrimo rezultatai.....	93
6.3. Skyriaus išvados ir rezultatai	101
7. IŠVADOS	102
MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS	104
LITERATŪROS SĄRAŠAS	105
PRIEDAI.....	113

SANTRUMPOS IR ŽYMĖJIMAI

ŠJSPSP – švytuojamojo judesio sinchroninė pulsuojamosios srovės pavara;

ŠJSPSP – švytuojamojo judesio sinchroninė pulsuojamosios srovės pjūklo pavara;

F_{em} – pavaros judžiąją dalį veikianti elektromagnetinė jėga;

m – pavaros judžiosios dalies masė;

h – pavaros judžiosios dalies koordinatė;

v – pavaros judžiosios dalies greitis;

R_{mch} – pavaros mechaninės sistemos mechaninė varža;

c – pavaros spyruoklių tamprumas;

i_{AL} , i_{BL} – srovės pavaros apvijų ritėse;

$L_A(h)$, $L_B(h)$ – pavaros apvijų induktyvumai;

L_{Amin} , L_{Bmin} , L_{Amax} , L_{Bmax} – pavaros apvijų minimalus ir maksimalus induktyvumas aproksimacijos kreivėje;

R_{A1min} , R_{B1min} , R_{A1max} , R_{B1max} – nuostolius ritėje nusakančios varžos minimumas ir maksimumas aproksimacijos kreivėje;

R_{A2min} , R_{B2min} , R_{A2max} , R_{B2max} – magnetinius nuostolius ritėje nusakančios varžos minimumas ir maksimumas aproksimacijos kreivėje;

k_A , k_B – proporcingumo faktorius aproksimacijos lygyje;

h_{Amin} , h_{Bmin} – judžiosios dalies koordinatė aproksimacijos kreivėje, kai pavaros apvijų induktyvumas, nuostolių varža minimalūs;

h_{Amax} , h_{Bmax} – judžiosios dalies koordinatė aproksimacijos, kai pavaros apvijų induktyvumas, magnetinių nuostolių varža maksimali;

E_m – nuolatinės įtampos šaltinio vidinė įtampa;

R_m – nuolatinės įtampos šaltinio vidaus varža;

f – ritę komutuojančio rakto(-ų) junginėjimo dažnis;

D_A , D_B – rakto įjungimo santykinė trukmė (skverbtis);

R_{AG} , R_{BG} – srovės gesinimo varžas „šuntuojantis diodas“ schemeje;

R_K – įjungto rakto(-ų) varža;

U_{VD} – įtampos kritimas ant atviro diodo(-ų);

R_{VD} – atviro diodo VACH statumo koeficientas;

R_{A1} , R_{B1} – variklio apvijų A ir B ominė varža;

I_A , I_B – srovės stipris apvijų šakose;

I_m – srovės stipris maitinimo šaltinio šakoje;

η – pavaros naudingumo faktorius;

H – pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudė;

N_{mch} – pavaros išvystoma mechaninė galia;

β – elektros energijos grąžos faktorius.

IVADAS

Mokslo problema

Yra nemažai elektros pavarų, kuriose yra švytuojamojo judesio grandžių, pavyzdžiui: pjūklai, sklendės, stūmokliniai siurbliai, kompresoriai, kalimo mechanizmai. Įprasta šiose pavarose naudoti sukamojo judesio elektros variklius, kurių sukamasis judesys vėliau paverčiamas švytuojamuoju. Tačiau, siekiant sumažinti pavarų gabaritus, masę ir padidinti jų naudingumo faktorių, kuriamos pavaros, kuriose nėra judesio keitimo grandžių. Šiose pavarose galima naudoti švytuojamo judesio elektros variklius.

Daug kur yra paplitusios tiesiaeigio švytuojamojo judesio elektros pavaros. Jos naudojamos skysčio siurbliuose ar oro kompresoriuose, kuriuose pavaros judžioji dalis tiesiogiai jungiama su spaudimo kamerų (kurios dažniausiai dėl praktinių sumetimų būna dvi) stūmokliais. Tiesiaeigio švytuojančio judesio pavaros naudojamos vibroįrenginiuose, kuriuose pavaros judžioji dalis yra aktyvioji švytuojanti masė. Pjovimo įrenginiuose, kuriuose pjaunamojo įrankio judesys yra tiesinis, taip pat naudojamos tiesiaeigio švytuojamojo judesio pavaros.

Kaip taisyklė, pavaros apkrova nebūna pastovi, todėl siekiant aukščiausių pavaros darbo rodiklių, būtina keisti elektros pavaros darbo režimą: pavaros maitinimo įtampos vertę, maitinimo įtampos dažnį. Šis tikslas pasiekiamas maitinimo šaltiniais, kuriuose naudojami įtampos keitikliai.

Švytuojamose tiesiaeigio judesio pavarose varančioji jėga yra kuriama srovės, kuri teka pavaros apvijomis. Pavaros apvijos induktyvumas priklauso nuo pavaros judžiosios dalies padėties. Pavaros mechaninėje apkrovoje neišvengiama reaktyviosios dedamosios, kurią sudaro pvz. oro tamprumas kompresoriuje arba spyruoklės pjūklo pavaroje. Taigi, maitinant švytuojamojo judesio pavarą tenka atsižvelgti į jos kuriamą reaktyviąją energiją.

Reaktyvioji elektros energija nėra pageidautina: būtina numatyti didesnio skerspjuvio srovėlaidžius, būtini reaktyviosios energijos kaupimo elementai ir t.t. Todėl būtina ieškoti reaktyviosios elektros energijos mažinimo ar jos nukreipimo būdų, siekiant aukštų švytuojamojo judesio pavaros darbo rodiklių.

Darbo tikslas

Darbo tikslas – ištirti impulsinio maitinimo šaltinio ir švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninės pavaros sistemą, siekiant maksimaliai išnaudoti reaktyviąją energiją ir padidinti pavaros naudingumo koeficientą.

Darbo uždaviniai

1. Parinkti švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninių pavarų impulsinių maitinimo šaltinių architektūras, leidžiančias efektyviai išnaudoti reaktyviąją energiją ir maksimizuoti naudingumo faktorių;
2. Sukurti impulsinio maitinimo šaltinio ir švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninės pavaros sistemos matematinį modelį;
3. Ištirti švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės pavaros variklio apvijų modelių įtaką modeliavimo rezultatams;
4. Nustatyti parinktų impulsinių maitinimo šaltinių įtaką švytuojamojo judesio

pulsuojamosios srovės sinchroninių pavarų kokybės rodikliams.

Darbo mokslinis naujumas

Sukurtas ir ištirtas švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninės pavaros modelis su žemo dažnio impulsiniu maitinimo šaltiniu.

Darbo mokslinė vertė

Sukurtas matematinis modelis, leidžiantis analizuoti švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchronines pavaras su impulsiniais maitinimo šaltiniais.

Ginamieji teiginiai

1. Švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninės pavaros su impulsiniu maitinimo šaltiniu matematinis modelis;
2. Impulsinių maitinimo šaltinių parametrai, lemiantys aukščiausius švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninės pavaros elektromechaninius rodiklius;
3. Kriterijai, lemiantys efektyviausią reaktyviosios energijos panaudojimą švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninėse pavarose su simetrinės konstrukcijos varikliais.

Darbo aprobavimas

Darbo tema respublikinėse ir tarptautinėse mokslinėse techninėse konferencijose Šveicarijoje ir Lietuvoje skaityti ir aptarti 4 pranešimai.

Publikacijos

Disertacijos tema paskelbti 5 straipsniai ISI pagrindinio sąrašo leidinyje „Elektronika ir elektrotechnika“ (2007 m. Nr. 7, 2008 m. Nr. 7, 2009 m. Nr. 5, 2010 m. Nr. 3, 2011 m., Nr. 3) ir 3 straipsniai kituose leidiniuose.

Disertacijos struktūra ir apimtis

Disertaciją sudaro įvadas, šeši skyriai, išvados, autoriaus publikacijų sąrašas, literatūros sąrašas ir priedai.

Disertacijoje yra 112 puslapiai, paveikslų – 104.

1. SINCHRONINIŲ VARIKLIŲ MAITINIMO PROBLEMOS

Specialiosios elektros mašinos – švytuojamojo tiesiaieigio judesio varikliai pradėti tirti jau nuo XX a. pradžios ir tiriami iki šiol [40, 39]. Švytuojamuosius variklius tiria Lietuvos, Kinijos [31, 90] ir kitų šalių mokslininkai [22, 48, 27]. Lietuvoje specialiąsias elektros mašinas tiria S. Gečys [21, 20], A. J. Poška [53, 74, 52], R. Rinkevičienė [67, 66, 65, 63]. Nemažai mokslinių darbų paskelbta tiesiaieigių mašinų srityje [68, 51, 69, 72, 58, 50, 55]. Švytuojamųjų variklių srityje pažymėtini S. Kudarausko [38], J. Šato [9], V. Cirtauto [10], A. Samučio [73], J. Vaupšo [41], A. Brazaičio [8], E. Guseinovienės [25], L. Simanyniienės [78] ir kt. [7, 35, 6] darbai.

Švytuojamojo judesio variklių išskirtinis bruožas – švytuojanti variklio judžioji dalis. Švytuojamojo tiesiaieigio judesio varikliuose judžioji dalis juda tiese.

Pavarą maitinant įtampos impulsais, jos apvijomis teka vienodo ženklo pulsuojamoji srovė.

Švytuojamojo judesio variklius galima maitinti ir keisti jų parametrus keliais būdais:

1) Maitinant sinusine įtampa [76, 79, 75]:

1.1) Keisti pačios maitinimo įtampos amplitudę;

1.2) Keisti įtampos dažnį;

1.3) Keisti valdomų ventilių (tiristorių), esančių variklio apvijų grandinėse, atidarymo kampą.

2) Maitinant nuolatine įtampa, ją moduluojant [84, 33]:

2.1) Keičiant įtampos dydį;

2.2) Keičiant įtampos impulsų dažnį;

2.3) Keičiant įtampos impulsų trukmę.

Kai būtina keisti pavarą maitinančios įtampos dažnį, siekiant keisti jos greitį, naudojami įtampos keitikliai [61, 64, 62, 2].

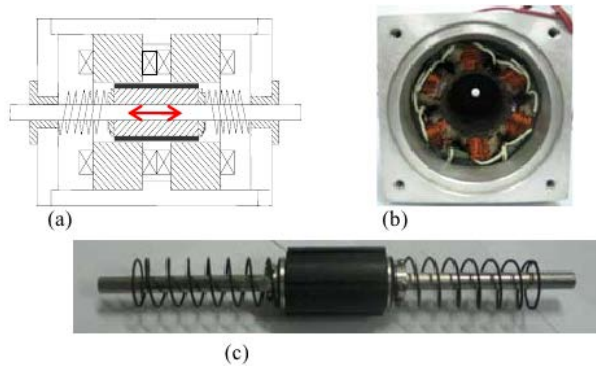
Šiuo atveju, galima naudoti maitinimo šaltinius, kuriuose naudojama impulso pločio moduliacija, arba stačiakampę įtampą formuojančius keitiklius. Lyginant minėtus šaltinius [16, 26, 17, 77, 93], stačiakampę žemo dažnio įtampą formuojantys maitinimo šaltiniai turi pranašumų: paprastesnė konstrukcija, mažesni pulslaidininkinių jungiklių komutacijos nuostoliai.

Pastaruju metu pasaulyje vis labiau akcentuojamas atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas, atliekami tyrimai šioje srityje [57, 18, 11, 14]. Be to, aktualus energetinių išteklių tausojimas [70, 56, 87, 15, 19], todėl yra aktualu, kad energetiniai ištekliai švytuojamojo judesio sinchroninėse pulsuojamosios srovės pavarose būtų naudojami efektyviai.

Kai švytuojamojo judesio sinchroninė pvara dirba elektromechaniniame rezonanse, jos švytavimo amplitudė būna didžiausia [71].

Sinchroninės žadinamosios mašinos (1.1 pav.) statoriaus apvijoje kuriamas kintamo ženklo magnetinis laukas sąveikauja su judžiosios dalies nuolatinio magneto lauku, dėl to judžioji dalis švytuoja.

Nedaug rasta tyrimų, susijusių su švytuojamosiomis sinchroninėmis žadinamosiomis (dviejų magnetovaru) mašinomis, maitinamomis žemo dažnio įtampos impulsais [22, 29]. Dažniausiai tiriamos jų konstrukcijos [4, 92] arba, kai jos maitinamos sinusine įtampa [49].

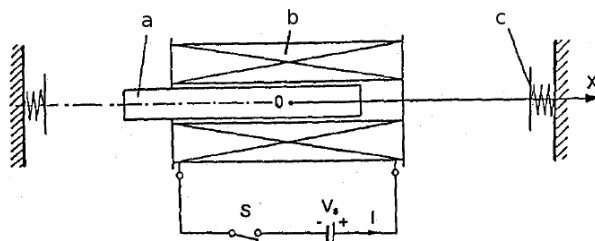


1.1 pav. Švytuojamojo judesio tiesiaiegis sinchroninis žadinamasis variklis [42]: a) pjūvis, išorėje statoriaus apvijų, centre – judžioji dalis su nuolatiniais magnetais ir spyruoklėmis, b) statorius, c) judžioji dalis

Švytuojamojo judesio sinchroninės pavaros, maitinamos žemo dažnio stačiakampe įtampa, turi privalumą: lyginant su pavaromis, kurios maitinamos aukšto dažnio stačiakampe įtampa, galia, kuri per tą patį laiko tarpą prarandama raktų komutacijos metu, yra mažesnė.

T. Govindaraj, tyręs švytuojamąją sinchroninę žadinamąją pavarą [22] gavo aukštus energetinius rodiklius ($\eta \approx 80\%$). Švytuojamojo judesio variklį jis maitino tilteliu formuojamais įtampos impulsais, tačiau neatkreipta dėmesio į energijos grąžą.

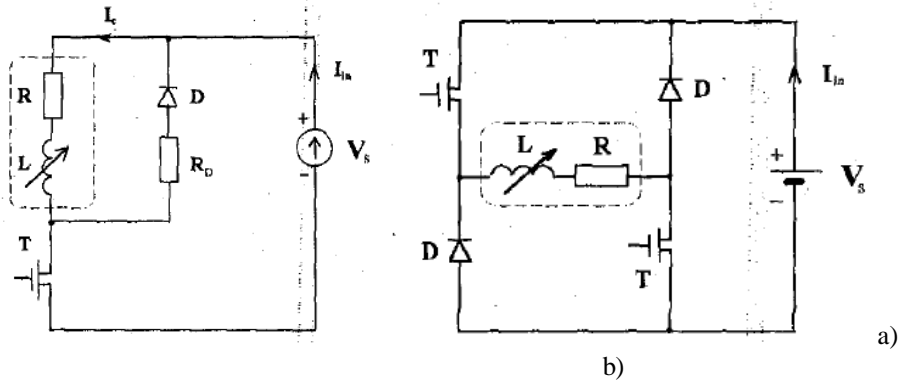
Lyginant sinusine įtampa maitinamus kintamo induktyvumo variklius su varikliais, kurie maitinami įtampos impulsais, pastarųjų valdymas yra geresnis [44].



1.2 pav. Švytuojamojo judesio kintamo magnetinio laidžio variklis [44]: a) plieninė judžioji dalis, b) statoriaus apvija, c) spyruoklė

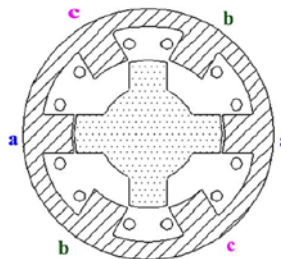
Jei variklio maitinimo schemoje numatyta elektros energijos grąžos maitinimo šaltiniui galimybė, tai pavaros naudingo darbo rodiklis žymiai padidėja. E. A. Mendrela [44] tyrė švytuojamojo judesio kintamo magnetinio laidžio variklį (1.2

pav.), kuris vietoje sinusinės įtampos maitinamas įtampos impulsais. Tyrimo autorius patvirtino iškeltas prielaidas: variklio, maitinamo įtampos impulsais (1.3 pav., a), naudingumo faktorius yra didesnis ($\eta = 0,29$) nei jis būtų maitinamas sinusine įtampa ($\eta = 0,24$). Maitinimo schemoje numačius galimybę elektros energiją gražinti maitinimo šaltiniui (1.3 pav., b – tiltelio schema), naudingumo faktorius žymiai padidėja (24%) lyginant su maitinimo būdu, kuriame dalis energijos verčiama šiluma (1.3 pav., a – šuntuojančio diodo schema).



1.3 pav. Variklio apvijos maitinimo būdai [44]: a) – šuntuojančio diodo schema, b) – tiltelio schema

Labiausiai išplėtoti sūkiųjų synchroninių pulsuojamosios srovės mašinų (1.4 pav.) tyrimai: kuriamos šių mašinų apvijų maitinimo schemas [23, 80, 30, 12, 13], kuriose, kaip taisyklė, numatyta energijos grąža.



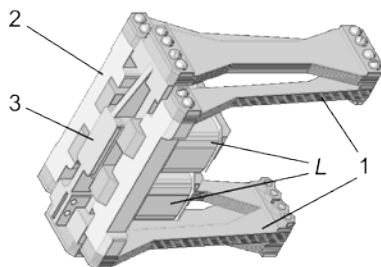
1.4 pav. Sūkusis synchroninis pulsuojamosios srovės variklis [28]: išorėje – statorius su trimis fazėmis, viduryje – rotorius

Pastebėta, kad švytuojamojo judesio synchroninių pulsuojamosios srovės pavarų, maitinamų stačiakampiais žemo dažnio įtampos impulsais, tyrimų yra mažai.

1.1. ŠJSPSP variklio konstrukcijos ypatumai

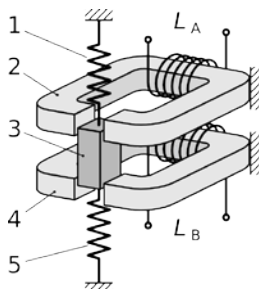
Šiame darbe tiriama švytuojamojo tiesiaieigio judesio pulsuojamosios srovės

sinchroninė pjūklo pavara (toliau – pavara), kurios vaizdas pateiktas 1.5 paveiksle, o schema pateikta 1.6 paveiksle.



1.5 pav. Pjūklo pavaros vaizdas

Pavarą sudaro statorius (1.5 pav., 2) su dviem apvijomis (1.5 pav., L ; 1.6 pav., L_A ir L_B) ir magnetolaidžiais (1.6 pav., 2 ir 4). Prie statoriaus spyruoklėmis (1.5 pav., 1; 1.6 pav. 1 ir 5) pritvirtinta judžioji dalis (1.5 pav. 3; 1.6 pav. 3), prie kurios tvirtinamas darbo įrankis. Judžioji dalis gali slinkti tik išilgai ir kintant jos padėčiai kinta apvijų induktyvumai. Spyruoklės, judžioji dalis ir darbo įrankis yra pavaros apkrova.



1.6 pav. Pjūklo pavaros schema

Pavaros veikimo principas: vienoje iš apvijų tekant srovei, apvijos magnetolaidyje kuriamas magnetinis laukas, kuris traukia judžiąją dalį link savęs; srovei mažėjant, spyruoklės judžiąją dalį gražina į pradinę padėtį; pavaros apvijose pakaitomis keičiant srovės stiprį, t.y. sudarant 180° fazių skirtumą tarp srovės pirmojoje ir antrojoje pavaros apvijoje, judžioji dalis pakaitomis traukiama tai link vieno, tai link kito magnetolaidžio – judžioji dalis švytuoja.

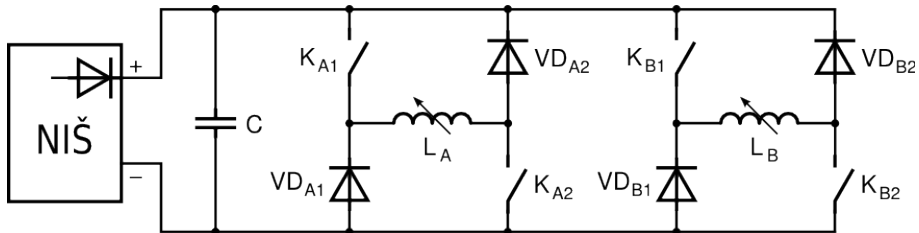
1.2. ŠJSPSP maitinimo būdai

Pastaruoju metu atliekama daug tyrimų susijusių su pavaromis, maitinamomis šaltiniais, kuriuose naudojami puslaidininkinių elementų įtampos keitikliai [3, 88, 37, 45, 81, 1, 89, 86].

Šiame darbe tiriamos dvi žemo dažnio įtampos impulsais ŠJSPSP maitinančių

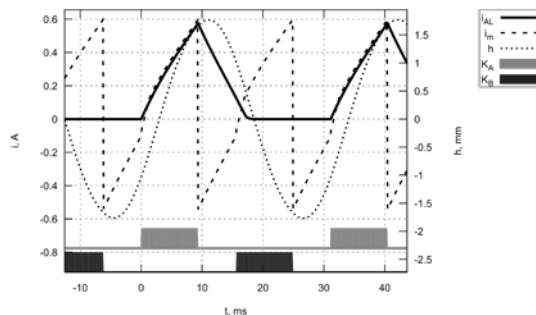
impulsinių maitinimo šaltinių architektūros:

1. Pavaros apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse (1.7 pav.),
2. Pavaros apvijos šuntuojamos diodais (1.9 pav.).



1.7 pav. Principinė schema, kurioje pavaros apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse

Schemoje, kurioje pavaros apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, yra nuolatinės įtampos šaltinis (1.7 pav., NIŠ), tai gali būti akumuliatorių baterija, foto-galvaninių elementų baterija, arba išlyginta kintamos srovės tinklo įtampa. Kiekviena variklio apvija (1.7 pav., L_A ir L_B) yra prijungta prie tiltelio, suformuoto iš puslaidininkinių jungiklių (1.7 pav., K_{A1} , K_{A2} , ir K_{B1} , K_{B2}) ir atgalinės srovės diodų (1.7 pav., VD_{A1} , VD_{A2} , ir VD_{B1} , VD_{B2}).



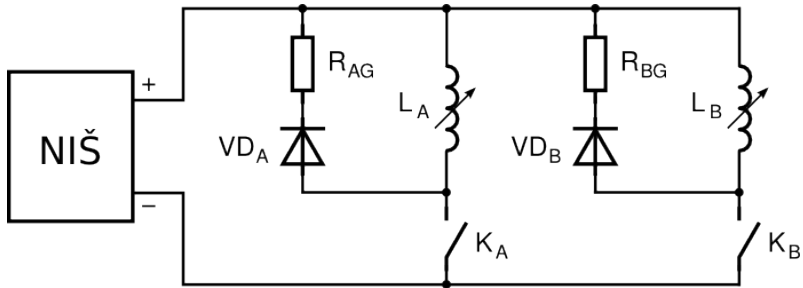
1.8 pav. Procesai pavaroje, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse

Paveiksle 1.8 pateiktos pavaros, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, parametrų kreivės nusistojusio darbo režimo metu: K_A , K_B – pirmą ir antrą apviją komutuojančių jungiklių būsenos, i_{AL} – srovė pirmojoje apvijoje, i_m – srovė maitinimo šaltinio šakoje, h – judžiosios dalies koordinatė. Grafikas pateiktas veikimo principui pademonstruoti (santykinė raktų įjungimo trukmė $D = 0,3$ – raktų įjungimo trukmės santykis su raktų junginėjimo periodu):

1. Įjungus puslaidininkinius raktus K_{A1} ir K_{A2} (1.8 pav., 0 ms), pavaros apvija L_A pradeda tekėti srovė;
2. Magnetiniame lauke kaupiama energija (1.8 pav., 0-9 ms), keičiant pavaros judžiosios dalies padėtį atliekamas darbas;
3. Išjungus puslaidininkinius raktus (1.8 pav., 9 ms), dėl pavaros apvijų saviindukcijos, atsidaroma atgalinės srovės diodai VD_{A1} ir VD_{A2} ;
4. Magnetinio lauko energija rekuperuojama (1.8 pav., 9-17 ms);

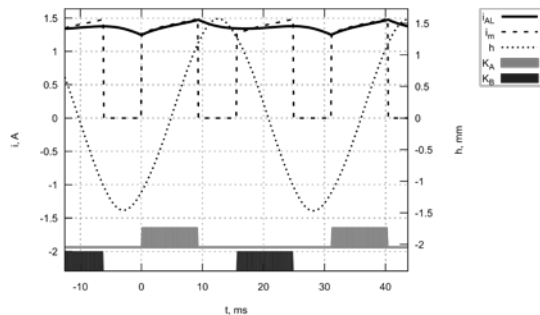
5. Išsekus pavaros apvijų magnetiniame lauke sukauptai energijai, užsidaro atgalinės srovės diodai, srovė pavaros apvija nebeteka (1.8 pav., 17-30 ms);
6. Ciklas kartojamas (1.8 pav., 30 ms).

Rekuperuojama energija gali būti gražinta maitinimo šaltiniui, t. y. krauti akumuliatorius. Jei elektros energijos neįmanoma gražinti į tinklą, pvz. kintamos tinklo įtampos lygintuvo atveju, tada maitinimo šaltinio grandinėje turi būti kondensatorius (1.7 pav., C), kuriame būtų kaupiama rekuperuojamoji energija.



1.9 pav. Principinė schema, kurioje pavaros apvijų šuntuojamos diodais

Jei, įjungus vienos iš variklio apvijų puslaidininkinius jungiklius (1.7 pav. L_A), kitoje pavaros apvijoje (1.7 pav. L_B) vyks rekuperacija, tai dalis rekuperuojamos energijos bus teikiama pirmajai apvijai. Didinant kitai apvijai tenkančios rekuperuojamos energijos dalį galima mažinti maitinimo šaltinio reaktyviąją energiją kaupiančių elementų talpą t. p. ir nuostolius, kurie susiję su tos energijos kaupimu ir vėlesniu atidavimu – taip geriau naudojant energijos išteklius.



1.10 pav. Procesai pavaroje, kurioje apvijų šuntuojamos diodais

Schemoje, kurioje pavaros apvijų šuntuojamos diodais, kiekviena pavaros apvija (1.9 pav., L_A ir L_B) įjungta nuosekliai puslaidininkiniams jungikliams (1.9 pav., K_A , ir K_B), ir lygiagrečiai atgalinės srovės diodų (1.9 pav., VD_A , ir VD_B) ir srovės gesinimo varžų (1.9 pav., R_{AG} , ir R_{BG}) grandinėms.

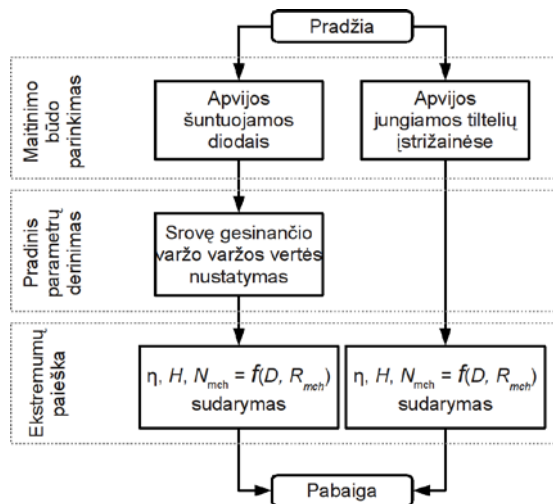
Veikimo principui pademonstruoti, paveiksle 1.10 pateiktos pavaros parametrų kreivės nusistojusio darbo režimo metu (santykinė raktų įjungimo trukmė 0,3):

1. Įjungus puslaidininkinį raktą K_A (1.10 pav., 0 ms), pavaros apvija L_A pradeda tekėti srovė;
2. Magnetiniame lauke kaupiama energija (1.10 pav., 0-9 ms), keičiant pavaros judžiosios dalies padėtį atliekamas darbas;
3. Išjungus puslaidininkinį raktą (1.10 pav., 9 ms), dėl pavaros apvijios saviindukcijos, atsidaro atgalinės srovės diodas VD_A ;
4. Magnetinio lauko energija srovės gesinimo varže R_{AG} ir apvijios ominėje varžoje verčiama šiluma (1.10 pav., 9-30 ms);
5. Ciklas kartojamas (1.10 pav., 30 ms).

Galima daryti išvadą, kad pavaroje, kurioje apvijios jungiamos tiltelių įstrižainėse, energija naudojama efektyviau nei pavaroje, kurios apvijios šuntuojamos diodais. Tačiau pastarosios pavaros maitinimo schemoje yra žymiai mažiau elementų. Be to, tiltelio atveju, dažniausiai būtinas pakankamos talpos reaktyviąją energiją kaupiantis kondensatorius, kuris gali sudaryti žymią pavaros kainos dalį.

1.3. Tyrimo metodika

Švytuojamojo judesio sinchroninių pavarų maitinimo šaltiniams tirti sudaryta metodika. Šiame darbe sudarytoji tyrimo metodika taikoma impulsinių maitinimo šaltinių ir švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninių pavarų, kurių apvijios šuntuojamos diodais arba jungiamos tiltelių įstrižainėse, sistemoms. Sudarytoji tyrimo metodika pateikta paveiksle 1.11.



1.11 pav. Tyrimo metodika

Pradedant tyrimą parenkami pavaros maitinimo būdai.

Antrame tyrimų etape vykdomas pradinis parametų derinimas. Pavaroje, kurios apvijios šuntuojamos diodais, srovės gesinimo grandyje yra srovės gesinantis varžas R_G . Šiame darbe vykdomas minėtos pavaros pradinis parametų derinimas – parenkama aukščiausius pavaros elektromechaninius rodiklius lemianti srovė

gesinančio varžo varža.

Trečiame tyrimų etape tiriamos pavarų naudingumo faktoriaus η , pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudės H ir pavaros išvystomos mechaninės galios N_{mch} priklausomybės nuo pavaros mechaninės varžos R_{mch} ir pavaros apvijų komutuojančių jungiklių santykinės įjungimo trukmės D – vykdoma šių priklausomybių ekstremumų paieška.

Paskutiniame tyrimo etape įvertinami tyrimo rezultatai.

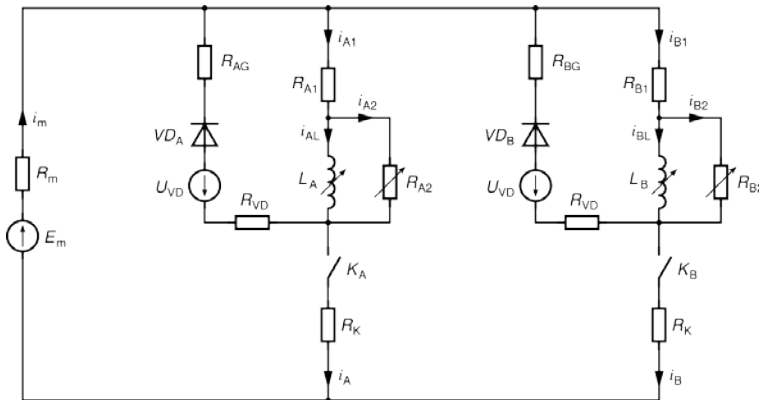
Pritaikius šią metodiką nustatomi aukščiausius pavaros elektromechaninius rodiklius lemiantys maitinimo šaltinio parametrai.

1.4. Skyriaus išvados

1. Pastebėta, kad švytuojamojo judesio sinchroninių pulsuojamosios srovės pavarų maitinamų stačiakampiais žemo dažnio įtampos impulsais, tyrimų yra mažai.
2. Parinktos švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninių pavarų su simetrinės konstrukcijos varikliais maitinimo šaltinių architektūros: kai pavaros apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse ir kai pavaros apvijų šuntuojamos diodais.
3. Sudaryta švytuojamojo judesio sinchroninių pavarų ir maitinimo šaltinių sistemos tyrimo metodika.

2. ŠJSPSP MATEMATINIS MODELIS

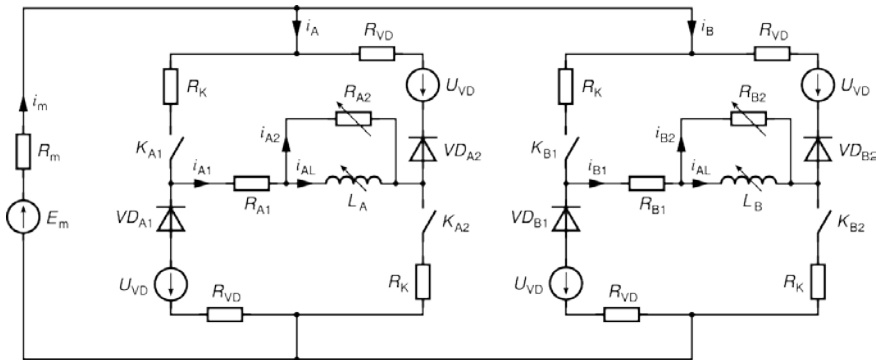
Tiriamosios ŠJSPSP apvijos, maitinamos jas komutuojant prie nuolatinės įtampos šaltinio. Stačiakampė maitinimo įtampa formuojama minėto variklio apvijos puslaidininkiniais jungikliais komutuojant prie nuolatinės įtampos šaltinio. Pavaros darbo metu puslaidininkiniams jungikliams nutraukiant grandinę, magnetiniame lauke sukauptą energiją būtina sunaudoti, tai apsprendžia pavaros apvijų maitinimo būdų įvairovę.



2.1 pav. Pavaros atstojamoji elektrinė schema, kai apvijos šuntuojamos diodais

Šiuo atveju tiriama du variklio apvijų maitinimo būdai:

- variklio apvija šuntuojama diodu (2.1 pav.). Puslaidininkiniu jungikliu nutraukus apvijos maitinimo grandinę, apvijos kuriama vidinė įtampa atidaro diodą. Susidariusia grandine teka srovė, kuri slopinama pasyviuose elementuose;



2.2 pav. Pavaros atstojamoji elektrinė schema, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse

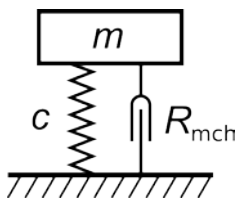
- variklio apvija įjungta tiltelio įstrižainėje (2.2 pav.). Šioje schemoje, kaip ir ankstesnėje, puslaidininkiniams jungikliams nutraukus apvijos maitinimo grandinę, diodai, veikiami apvijos kuriamos vidinės įtampos, atsidaro ir

susidariusioje grandinėje teka srovė. Šiuo atveju dalis magnetinio lauko energijos grąžinama atgal maitinimo šaltiniui ir/arba perduodama kitai apvijai.

Sukurtame modelyje nauja yra tai, kad įvertinami varžų variklio apvijos atstojamojoje schemoje netiesiškumai, įvertinamas puslaidininkinių diodų netiesiškumas, puslaidininkinių jungiklių ir įtampos šaltinio vidinės varžos.

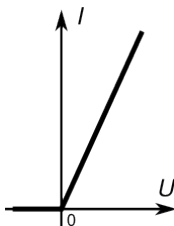
Apžvelgus elektromagnetinių pavarų modeliavimo būdus [83, 82, 59, 60, 46, 43], modelyje priimtos šios prielaidos:

- 1) Sistemos mechaninė dalis – vienmasė (2.3 pav.);



2.3 pav. Pavaros mechaninė sistema

- 2) Nuolatinės įtampos šaltinis – tai vidinės įtampos šaltinis su baigtine vidine varža;
- 3) Puslaidininkiniai jungikliai komutuoja be delsos;
- 4) Išjungtų puslaidininkinių jungiklių laidis yra 0 S (2.4 pav.);



2.4 pav. Puslaidininkinio jungiklio VACH

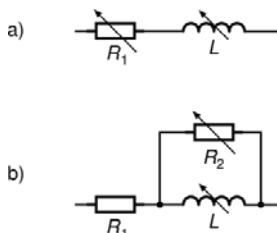
- 5) Įjungti puslaidininkiniai jungikliai turi baigtinę varžą;
- 6) Diodai atbuline kryptimi srovės nepraleidžia (2.5 pav.);



2.5 pav. Diodo VACH

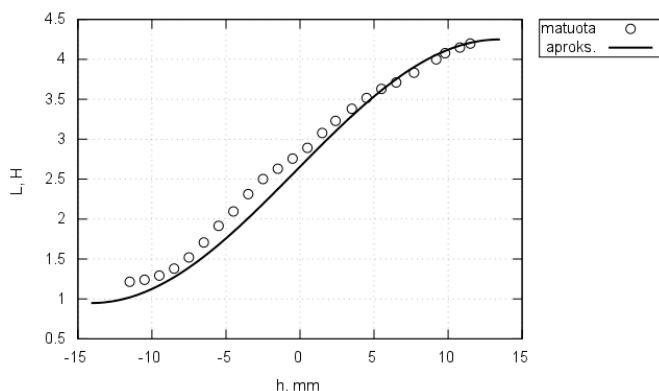
- 7) Atviri diodai turi slenkstinę įtampą;
- 8) Įtampos kritimo ant atviro diodo priklausomybė nuo diodu tekančios srovės yra tiesinė;

- 9) Diodai atsidaro ir užsidaro be delsos;
 10) Apvija traktuojama dviem būdais [24]:



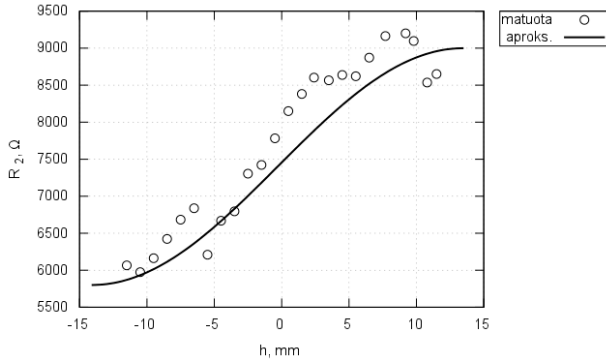
2.6 pav. Pavaros apvijios ekvivalentinės schemos

- 10.1) Nuosekliai sujungtais (2.6 pav., a) rite L , kurios induktyvumas priklauso nuo pavaros judžiosios dalies koordinatės h , ir nuostolius apibūdinančia varža R_1 , kuri taip pat priklauso nuo h ;
- 10.2) Papildomai, lygiagrečiai ritei (2.6 pav., b) prijungta nuostolius magnetinėje grandinėje atskirai įvertinančia varža R_2 , kuri priklauso nuo pavaros judžiosios dalies koordinatės h . Varža R_1 įvertina elektrinius nuostolius apvijios laide;
- 11) Schemoje (2.6 pav., a) ritės L induktyvumo kitimo dėsnis – sinusinis (2.7 pav.). Tai nustatyta atlikus ŠJSPSPP fizinio modelio (pateikto 3 skyriuje) tyrimą – matavimo rezultatai geriausiai aproksimuojami sinuso dėsniumi ($R^2 = 0,868$). Tokiu pačiu dėsniu kinta ir L schemoje 2.6 pav. – b ($R^2 = 0,91$);



2.7 pav. Induktyvumo kitimo apvijoje A aproksimacija. Apvijai B – veidrodinis atspindys

- 12) Schemoje (2.6 pav., a) magnetinius nuostolius atskirai apibūdinančios varžos R_2 kitimo dėsnis – sinusinis (2.8 pav.). Tai nustatyta atlikus ŠJSPSPP fizinio modelio (pateikto 3 skyriuje) tyrimą – matavimo rezultatai geriausiai aproksimuojami sinuso dėsniumi ($R^2 = 0,901$). Tokiu pačiu dėsniu kinta ir R_1 schemoje 2.6 pav.-b ($R^2 = 0,877$);



2.8 pav. Magnetinių nuostolių varžos kitimo apvijoje A aproksimacija. Apvijai B – veidrodinis atspindys

Pavaros atstojamoji elektrinė schema, kai jos apvijos šuntuojamos diodais, pateikta 2.1 paveiksle.

Pavaros atstojamoji elektrinė schema, kai jos apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, pateikta 2.2 paveiksle.

Elementai pavaros modelių elektrinės dalies schemose (2.1 ir 2.2 pav.):

E_m – nuolatinės įtampos šaltinis;

R_m – nuolatinės įtampos šaltinio vidinė varža;

K – puslaidininkiniai jungikliai;

R_K – įjungtų puslaidininkinių jungiklių vidinę varžą nusakanti varža;

VD – puslaidininkiniai diodai;

U_{VD} – vidinės įtampos šaltinis nusakantis įtampos kritimą diode;

R_{VD} – atviro diodo įtampos kritimo priklausomybę nuo diodu tekančios srovės apibūdinanti varža;

R_G – srovės gesinimo varžas;

R_1 – apvijų elektrinius nuostolius apibūdinanti varža „tiltelio“ schemoje; nuostolius apvijoje apibūdinanti varža „šuntuojančio diodo“ schemoje;

R_2 – varža, nusakanti nuostolius apvijos magnetinėje grandinėje, kuri priklauso nuo pavaros judžiosios dalies koordinatės;

L – apvijos ritė, kurios induktyvumas kinta priklausomai nuo pavaros judžiosios dalies koordinatės.

Pavara tiriama skaitiniu modeliavimu. Dalis diferencialinių lygčių, aprašančių tiriamą pavarą – pavaros judžiosios dalies koordinatę ir greitį [5]

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = v; \\ \frac{dv}{dt} = \frac{1}{m}(F_{em} - R_{mch}v - ch); \end{cases} \quad (2.1)$$

čia:

F_{em} – pavaros judžiąją dalį veikianti elektromagnetinė jėga,
 m – pavaros judžiosios dalies masė,
 h – pavaros judžiosios dalies koordinatė (centrinėje padėtyje $h = 0$),
 v – pavaros judžiosios dalies greitis,
 R_{mch} – pavaros mechaninės sistemos mechaninė varža,
 c – pavaros spyruoklių tamprumas.

Lygčių sistemoje (2.1) elektromagnetinė jėga [5]

$$F_{em} = \frac{1}{2} i_{AL}^2 \frac{dL_A(h)}{dh} + \frac{1}{2} i_{BL}^2 \frac{dL_B(h)}{dh}; \quad (2.2)$$

čia:

i_{AL} ir i_{BL} – srovės pavaros apvijų ritėse,

$L_A(h)$ ir $L_B(h)$ – pavaros apvijų induktyvumai, kurie priklauso nuo pavaros judžiosios dalies koordinatės.

Pavaros apvijos A induktyvumo priklausomybė nuo pavaros judžiosios dalies padėties (2.7 pav.) aprašoma sinuso funkcijos atkarpa. Išvesta ši dėsnį nusakanti išraiška

$$L_A(h) = \begin{cases} L_{Amin} + \frac{L_{Amax} - L_{Amin}}{2} [\sin(k_A h - \alpha_A) + 1] & \text{kai } h_{Amin} < h < h_{Amax} \\ L_{Amin} & \text{kai } h \leq h_{Amin} \\ L_{Amax} & \text{kai } h \geq h_{Amax} \end{cases}; \quad (2.3)$$

čia:

L_{Amin} – pavaros apvijos A minimalus induktyvumas,

L_{Amax} – pavaros apvijos A maksimalus induktyvumas,

k_A – proporcingumo faktorius

$$k_A = \frac{\pi}{h_{Amax} - h_{Amin}}; \quad (2.4)$$

h_{Amin} – judžiosios dalies koordinatė, kai pavaros apvijos A induktyvumas minimalus,

h_{Amax} – judžiosios dalies koordinatė, kai pavaros apvijos A induktyvumas maksimalus,

α_A – fazė

$$\alpha_A = k_A \frac{h_{Amax} + h_{Amin}}{2}. \quad (2.5)$$

Judžiosios dalies koordinatė pavaros fiziniame modelyje kinta ribose nuo h_{Amin} iki h_{Amax} .

Analogiškai pavaros apvijos B induktyvumas

$$L_B(h) = \begin{cases} L_{B\max} - \frac{L_{B\max} - L_{B\min}}{2} [\sin(k_B h - \alpha_B) + 1] & \text{kai } h_{B\max} < h < h_{B\min} \\ L_{B\max} & \text{kai } h \leq h_{A\max} \\ L_{B\min} & \text{kai } h \geq h_{A\min} \end{cases}; \quad (2.6)$$

čia:

$$k_B = \frac{\pi}{h_{B\min} - h_{B\max}}; \quad (2.7)$$

$$\alpha_B = k_B \frac{h_{B\min} + h_{B\max}}{2}. \quad (2.8)$$

Pavaros apvijos A induktyvumo išvestinė pagal koordinatę

$$\frac{dL_A(h)}{dh} = \begin{cases} k_A \frac{L_{A\max} - L_{A\min}}{2} \cos(k_A h - \alpha_A) & \text{kai } h_{A\min} < h < h_{A\max} \\ 0 & \text{kitaip} \end{cases}. \quad (2.9)$$

Analogiškai pavaros apvijos B induktyvumo išvestinė pagal koordinatę

$$\frac{dL_B(h)}{dh} = \begin{cases} k_B \frac{L_{B\max} - L_{B\min}}{2} \cos(k_B h - \alpha_B) & \text{kai } h_{B\max} < h < h_{B\min} \\ 0 & \text{kitaip} \end{cases}. \quad (2.10)$$

Pavaros apvijos A magnetinės grandinės nuostolių varžos (2.6 pav., b) priklausomybė nuo pavaros judžiosios dalies padėties (2.8 pav.) aprašoma sinuso funkcijos atkarpa. Išvesta ši dėsnį nusakanti išraiška

$$R_{A2}(h) = \begin{cases} R_{A2\min} + \frac{R_{A2\max} - R_{A2\min}}{2} [\sin(k_A h - \alpha_A) + 1] & \text{kai } h_{A\min} < h < h_{A\max} \\ R_{A2\min} & \text{kai } h \leq h_{A\min} \\ R_{A2\max} & \text{kai } h \geq h_{A\max} \end{cases}. \quad (2.11)$$

b) Analogiškai pavaros apvijos B magnetinės grandinės nuostolių varža (2.8 pav.,

$$R_{B2}(h) = \begin{cases} R_{B2\max} - \frac{R_{B2\max} - R_{B2\min}}{2} [\sin(k_B h - \alpha_B) + 1] & \text{kai } h_{B\max} < h < h_{B\min} \\ R_{B2\max} & \text{kai } h \leq h_{A\max} \\ R_{B2\min} & \text{kai } h \geq h_{A\min} \end{cases}. \quad (2.12)$$

Analogiška ir nuostolius apvijoje apibūdinančios varžos R_1 (2.6 pav., a)

išraiška.

Kadangi tiriami du pavaros apvijų maitinimo būdai ir du pavaros apvijų ekvivalentinės schemos variantai, pavaros matematiname modelyje įgyvendinti keturi atvejai:

- variklio apvijų šuntuojamos diodais, ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai apvijų magnetinėje grandinėje;
- variklio apvijų šuntuojamos diodais ir atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai apvijų magnetinėje grandinėje;
- variklio apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai apvijų magnetinėje grandinėje;
- variklio apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse, ir atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai apvijų magnetinėje grandinėje.

Lygčių sistema (2.1) yra bendra visiems minėtiems modeliams. Sudarytos srovių ir jų išvestinių išraiškos kiekvienam modeliui yra skirtingos.

Pavaros atstojamosiose elektrinėse schemose (2.1 ir 2.2 pav.) yra netiesinių elementų. Pavaros matematiname modelyje srovių ir išvestinių apskaičiavimas įgyvendintas taip: priklausomai nuo netiesinių elementų būsenos keičiasi atstojamosios elektrinės schemos pavidalas, kiekvienam pavidalui atskirai sudarytos srovių ir jų išvestinių lygtys.

Skaitinio modeliavimo metu vykdomas skaitinis integravimas. Skaitinio integravimo metu sprendžiama lygčių sistema (2.1) ir pavaros apvijų ekvivalentinės schemos ritėse (2.6 pav., L) tekančių srovių išvestinių išraiškos (žr. žemiau). Skaitinio integravimo rezultatas: pavaros apvijų ekvivalentinės schemos ritėse A ir B tekančios srovės (atitinkamai i_{AL} ir i_{BL}), pavaros judžiosios dalies koordinatės (h) ir greičio (v) priklausomybės nuo laiko. Pagal šiuos parametrus apskaičiuojama srovė maitinimo grandinėje (i_m), maitinimo šaltinio įtampa (u_m), srovės apvijų A ir B šakose (i_A , i_B), srovės apvijų A ir B elektrinius nuostolius nusakančiose varžose (i_{A1} , i_{B1}), srovės apvijų A ir B magnetinius nuostolius nusakančiose varžose (i_{A2} , i_{B2}), pavaros judžiąją dalį veikianti elektromagnetinė jėga (F_{em}).

Pavaros naudingumo faktorius apskaičiuojamas pagal pavaros išvystomos mechaninės galios ir iš šaltinio imamos galios santykio periodo T laikotarpiu

$$\eta = \frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} F_{em}(t)v(t)dt}{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} u_m(t)i_m(t)dt} . \quad (2.13)$$

Elektros energijos grąžos iš imtuvo faktorius, t.y. grąžinamos ir imamos srovės santykis, apskaičiuojamas pagal siūlomą išraišką

$$\beta = \frac{I_g}{I_v} ; \quad (2.14)$$

čia I_v – imtuvo vartojama (teigiamo ženklo) srovė periodo T laikotarpiu

$$I_v = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} i_+(t) dt}; \quad (2.15)$$

I_g – imtuvo generuojama (neigiamo ženklo) srovė

$$I_g = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} i_-(t) dt}; \quad (2.16)$$

Pasiūlytąjį matematinį modelį galima taikyti ir kitoms pavaroms įvedus būtinas korekcijas.

2.1. Modeliavimo algoritmas

Pagrindinis sukurtasis modeliavimo algoritmas:

program *modeliuok_pavara*

$i_{AL}(t), i_{BL}(t), v(t), h(t) = \text{ODE solver}$

$K_A = f(t); \quad K_B = f(t);$

if tipas = “bridge” **then**

if $R_2 \neq \infty$ **then**

 calculate $i_{AL}, i_{BL}, i_{A1}, i_{B1}, i_{A2}, i_{B2}, i_A, i_B$ for

 “bridge” (R_2 is taken in to account)

else

 calculate $i_{AL}, i_{BL}, i_{A1}, i_{B1}, i_{A2}, i_{B2}, i_A, i_B$ for

 “bridge” (R_2 is not taken in to account)

endif

else

if $R_2 \neq \infty$ **then**

 calculate $i_{AL}, i_{BL}, i_{A1}, i_{B1}, i_{A2}, i_{B2}, i_A, i_B$ for

 “shunt diode” (R_2 is taken in to account)

else

 calculate $i_{AL}, i_{BL}, i_{A1}, i_{B1}, i_{A2}, i_{B2}, i_A, i_B$ for

 “shunt diode” (R_2 is not taken in to account)

endif

endif

$$F_{em} = f\left(i_{AL}, i_{BL}, \frac{dL_A}{dh}, \frac{dL_B}{dh}\right);$$

$$u_m = f(E_m, i_A, i_B, R_m);$$

$$i_m = f(i_A, i_B);$$

return $t, K_A(t), K_B(t), i_m(t), u_m(t), i_A(t), i_B(t),$
 $i_{A1}(t), i_{B1}(t), i_{A2}(t), i_{B2}(t), v(t), h(t), F_{em}(t)$

endprogram

Pagrindinis algoritmas įgyvendintas funkcijoje „modeliuok_pavara.m“ (žr. priedą). Jai perduodami šie parametrai:

- 1) *tipas* – pavaros maitinimo būdas (0 - „tiltelis“, 1 - „šuntuojantis diodas“);
- 2) t_{mod} [s] – modeliavimo trukmė;
- 3) N_{mod} – žingsnių kiekis modeliavimo laikotarpyje;
- 4) $h_{A\text{min}}$ [m] – nuo judžiosios dalies priklausančių parametru charakteristikų minimumo argumentas ritei A;
- 5) $h_{A\text{max}}$ [m] – nuo judžiosios dalies priklausančių parametru charakteristikų maksimumo argumentas ritei A;
- 6) $h_{B\text{min}}$ [m] – nuo judžiosios dalies priklausančių parametru charakteristikų minimumo argumentas ritei B;
- 7) $h_{B\text{max}}$ [m] – nuo judžiosios dalies priklausančių parametru charakteristikų maksimumo argumentas ritei B;
- 8) m [kg] – pavaros judžiosios dalies masė;
- 9) c [N/m] – pavaros mechaninės dalies standumas;
- 10) R_{mch} [Ns/m] – pavaros mechaninė varža;
- 11) E_m [V] – nuolatinės įtampos šaltinio vidinė įtampa;
- 12) R_m [Ω] – nuolatinės įtampos šaltinio vidaus varža;
- 13) f [Hz] – ritę komutuojančio rakto(-ų) junginėjimo dažnis;
- 14) D_A – rakto A įjungimo santykinė trukmė (skverbti);
- 15) D_B – rakto B įjungimo santykinė trukmė (skverbti);
- 16) R_{AG} [Ω] – „šuntuojantis diodas“ schemoje srovės gesinimo varžo varža ritės A grandinėje;
- 17) R_{BG} [Ω] – „šuntuojantis diodas“ schemoje srovės gesinimo varžo varža ritės B grandinėje;
- 18) R_K [Ω] – įjungto rakto(-ų) varža;
- 19) U_{VD} [V] – įtampos kritimas ant atviro diodo(-ų);
- 20) R_{VD} [Ω] – atviro diodo VACH statumo koeficientas;
- 21) R_{A1} [Ω] – ritės A ominė varža;
- 22) R_{B1} [Ω] – ritės B ominė varža;
- 23) $R_{A1\text{min}}$ [Ω] – nuostolius ritėje A nusakančios varžos minimumas;
- 24) $R_{A1\text{max}}$ [Ω] – nuostolius ritėje A nusakančios varžos maksimumas;
- 25) $R_{B1\text{min}}$ [Ω] – nuostolius ritėje B nusakančios varžos minimumas;
- 26) $R_{B1\text{max}}$ [Ω] – nuostolius ritėje B nusakančios varžos maksimumas;
- 27) $R_{A2\text{min}}$ [Ω] – magnetinius nuostolius ritėje A nusakančios varžos minimumas;
- 28) $R_{A2\text{max}}$ [Ω] – magnetinius nuostolius ritėje A nusakančios varžos maksimumas;
- 29) $R_{B2\text{min}}$ [Ω] – magnetinius nuostolius ritėje B nusakančios varžos minimumas;
- 30) $R_{B2\text{max}}$ [Ω] – magnetinius nuostolius ritėje B nusakančios varžos maksimumas;
- 31) $L_{A\text{min}}$ [H] – ritės A induktyvumo minimumas;

- 32) L_{Amax} [H] – ritės A induktyvumo maksimumas;
- 33) L_{Bmin} [H] – ritės B induktyvumo minimumas;
- 34) L_{Bmax} [H] – ritės B induktyvumo maksimumas;
- 35) t_0 [s] – pradinių sąlygų laiko momentas, kuriame apskaičiuotos parametru (tolesni stulpeliai) vertės;
- 36) i_{ALO} [A] – pradinių sąlygų srovė ritėje A;
- 37) i_{BLO} [A] – pradinių sąlygų srovė ritėje B;
- 38) v_0 [m/s] – pradinių sąlygų pavaros judžiosios dalies greitis;
- 39) h_0 [m] – pradinių sąlygų pavaros judžiosios dalies koordinatė.

Matematiniam modelyje yra pirmos eilės diferencialinių lygčių, kurios sprendžiamos skaitiniu integravimu. Skaitinis integravimas vykdomas funkcija „lsode“. Skaitinio integravimo metu ši funkcija nuolat kreipiasi į diferencialinių lygčių sprendimo funkciją „integravimas“ (žr. priedą), kurioje apskaičiuojamos funkcijų kitimo spartos. Šios funkcijos algoritmas:

function ODE subroutine

$$K_A = f(t); \quad K_B = f(t);$$

$$L_A = f(h); \quad K_B = f(h);$$

$$\frac{dL_A}{dh} = f(h); \quad \frac{dL_B}{dh} = f(h);$$

if tipas = “bridge” **then**

if $R_2 \neq \infty$ **then**

 calculate $\frac{dL_A}{dh}, \frac{dL_B}{dh}$ for

 “bridge” (R_2 is taken in to account)

else

 calculate $\frac{dL_A}{dh}, \frac{dL_B}{dh}$ for

 “bridge” (R_2 is not taken in to account)

endif

else

if $R_2 \neq \infty$ **then**

 calculate $\frac{dL_A}{dh}, \frac{dL_B}{dh}$ for

 “shunt diode” (R_2 is taken in to account)

else

 calculate $\frac{dL_A}{dh}, \frac{dL_B}{dh}$ for

 “shunt diode” (R_2 is not taken in to account)

endif

endif

$$F_{em} = f\left(i_{AL}, i_{BL}, \frac{dL_A}{dh}, \frac{dL_B}{dh}\right);$$

$$\frac{dv}{dt} = f(F_{em}, R_{mch}, v, c, h, m);$$

$$\frac{dh}{dt} = f(v);$$

$$\text{return } \frac{di_{AL}}{dt}, \frac{di_{BL}}{dt}, \frac{dv}{dt}, \frac{dh}{dt}$$

endfunction

Pastarojoje funkcijoje, kad būtų apskaičiuotos srovių išvestinės, priklausomai nuo pavaros maitinimo būdo ir magnetinių nuostolių varžos įvertinimo būdo kreipiamasi į atitinkamą funkciją:

- „di_L_dt_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius.m“ – kai maitinimo būdas yra „tiltelis“, ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai;
- „di_L_dt_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu“ – kai maitinimo būdas yra „tiltelis“, ir atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami;
- „di_L_dt_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius“ – kai maitinimo būdas yra „šuntuojantis diodas“, ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai;
- „di_L_dt_suntuojantis_diodas_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu“ – kai maitinimo būdas yra „šuntuojantis diodas“, ir atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami.

Baigus skaitinį integravimą, pagrindiniame algoritme, kad būtų apskaičiuotos srovės, priklausomai nuo pavaros maitinimo būdo ir magnetinių nuostolių varžos įvertinimo būdo kreipiamasi į atitinkamą funkciją:

- „sroves_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius“ – kai maitinimo būdas yra „tiltelis“, ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai;
- „sroves_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu“ – kai maitinimo būdas yra „tiltelis“, ir atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami;
- „sroves_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius“ – kai maitinimo būdas yra „šuntuojantis diodas“, ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai;
- „sroves_suntuojantis_diodas_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu“ – kai maitinimo būdas yra „šuntuojantis diodas“, ir atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami.

Pagrindinis algoritmas gražina šių parametrų priklausomybes nuo laiko:

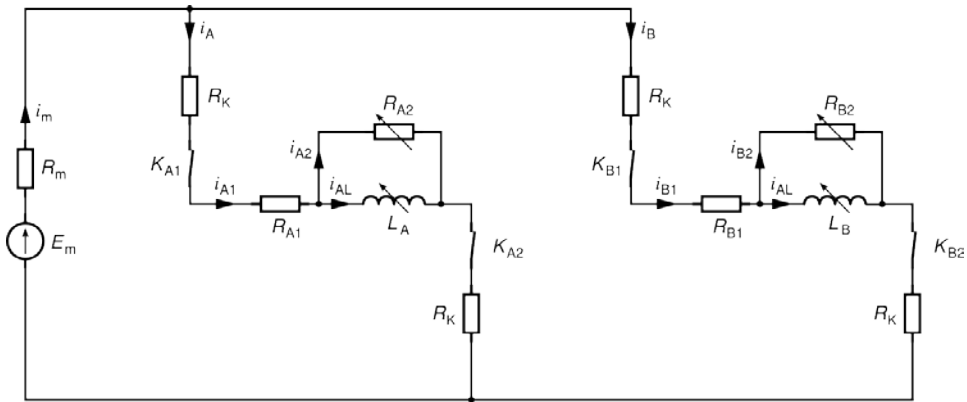
- 1) K_A – ritės A rakto(-ų) būseną (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
- 2) K_B – ritės B rakto(-ų) busena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
- 3) i_m [A] – srovė maitinimo grandinėje;
- 4) u_m [V] – maitinimo šaltinio įtampa;
- 5) i_A [A] – grandinės su rite A srovė;
- 6) i_B [A] – grandinės su rite B srovė;
- 7) i_{AL} [A] – srovė ritėje A;

- 8) i_{BL} [A] – srovė ritėje B;
- 9) i_{A1} [A] – srovė ritės A ominėje varžoje R_{A1} ;
- 10) i_{B1} [A] – srovė ritės B ominėje varžoje R_{B1} ;
- 11) i_{A2} [A] – srovė ritės A magnetinių nuostolių varžoje R_{A2} ;
- 12) i_{B2} [A] – srovė ritės B magnetinių nuostolių varžoje R_{B2} ;
- 13) v [m/s] – pavaros judžiosios dalies greitis;
- 14) h [m] – pavaros judžiosios dalies koordinatė;
- 15) F_{em} [N] – pavaros judžiąją dalį veikianti elektromagnetinė jėga.

Toliau pateikiamos sudarytos srovių ir jų išvestinių išraiškos, jų skaičiavimo algoritmai.

2.2. Modeliavimo algoritmo dalis, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B įjungti, pateikta 2.9 paveiksle.



2.9 pav. Atstojamoji elektrinė schema kai jungikliai K_A ir K_B įjungti (apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases}
i_m = i_A + i_B; i_A = i_{A1}; \\
i_B = i_{B1}; \\
i_{A1} = i_{A2} + i_{AL}; \\
i_{B1} = i_{B2} + i_{BL}; \\
E_m = i_m R_m + i_{A1} (2R_K + R_{A1}) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\
0 = -i_{A2} R_{A2}(h) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\
E_m = i_m R_m + i_{B1} (2R_K + R_{B1}) + \frac{d(i_{BL} L_B(h))}{dt}; \\
0 = -i_{B2} R_{B2}(h) + \frac{d(i_{BL} L_B(h))}{dt}.
\end{cases} \quad (2.17)$$

Pagal šią lygčių sistemą, srovė maitinimo grandinėje (algoritme – f_{TV1})

$$i_m = \frac{\frac{E_m + i_{AL} R_{A2}(h)}{2R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)} + \frac{E_m + i_{BL} R_{B2}(h)}{2R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)}}{1 + \frac{R_m}{2R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)} + \frac{R_m}{2R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)}}. \quad (2.18)$$

Srovės išvestinė pavaros apvijų A ritėje (algoritme – f_{TV2A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[\frac{(E_m - i_m R_m) R_{A2}(h)}{2R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)} - i_{AL} \left(\frac{R_{A2}(h) \cdot (2R_K + R_{A1})}{2R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)} + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.19)$$

Srovės išvestinė pavaros apvijų B ritėje (algoritme – f_{TV2B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[\frac{(E_m - i_m R_m) R_{B2}(h)}{2R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)} - i_{BL} \left(\frac{R_{B2}(h) \cdot (2R_K + R_{B1})}{2R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)} + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.20)$$

Srovė apvijų A elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{TV3A})

$$i_{A1} = \frac{E_m - i_m R_m + i_{AL} R_{A2}(h)}{2R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)}. \quad (2.21)$$

Srovė apvijų B elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{TV3B})

$$i_{B1} = \frac{E_m - i_m R_m + i_{BL} R_{B2}(h)}{2R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)}. \quad (2.22)$$

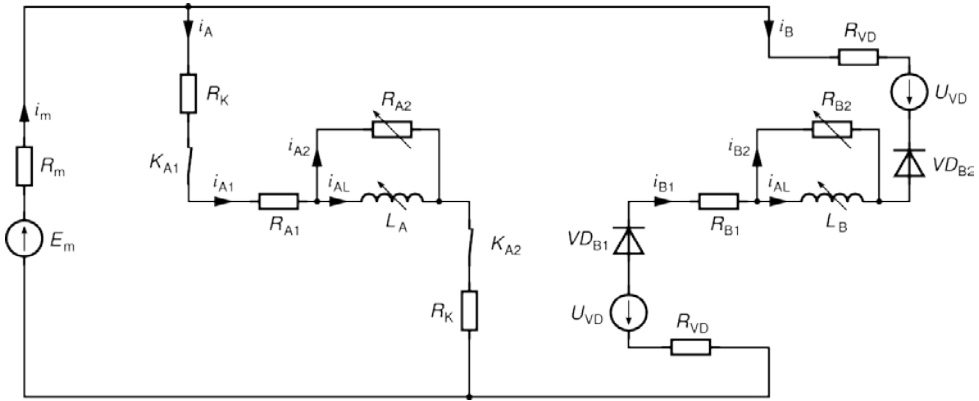
Srovė apvijų A magnetinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{TV4A})

$$i_{A2} = i_{A1} - i_{AL}. \quad (2.23)$$

Srovė apvijų B magnetinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{TV4B})

$$i_{B2} = i_{B1} - i_{BL} . \quad (2.24)$$

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A įjungti, o K_B išjungti, diodai VD_B atviri, pateikta 2.10 paveiksle.



2.10 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A įjungti, o K_B išjungti, diodai VD_B atviri (apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\left\{ \begin{array}{l} i_m = i_A + i_B ; i_A = i_{A1} ; \\ i_B = -i_{B1} ; \\ i_{A1} = i_{A2} + i_{AL} ; \\ i_{B1} = i_{B2} + i_{BL} ; \\ E_m = i_m R_m + i_{A1} (2R_K + R_{A1}) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt} ; \\ 0 = -i_{A2} R_{A2}(h) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt} ; \\ -E_m + 2U_{VD} = -i_m R_m + i_{B1} (2R_{VD} + R_{B1}) + \frac{d(i_{BL} L_B(h))}{dt} ; \\ 0 = -i_{B2} R_{B2}(h) + \frac{d(i_{BL} L_B(h))}{dt} . \end{array} \right. \quad (2.25)$$

Pagal šią lygčių sistemą srovė maitinimo grandinėje (algoritme – f_{TV5A})

$$i_m = \frac{\frac{E_m + i_{AL} R_{A2}(h)}{2R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)} + \frac{E_m - 2U_{VD} - i_{BL} R_{B2}(h)}{2R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h)}}{1 + \frac{R_m}{2R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)} + \frac{R_m}{2R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h)}} . \quad (2.26)$$

Srovės pavaros apvijos A ritėje išvestinės išraiška tokia pat kaip ir (2.19).

Srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{TV7B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[\frac{-(E_m + 2U_{VD} + i_m R_m) R_{B2}(h)}{2R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h)} - i_{BL} \left(\frac{R_{B2}(h) \cdot (2R_{VD} + R_{B1})}{2R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h)} + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.27)$$

Srovės i_{A1} išraiška tokia pat kaip ir (2.21), srovės i_{A2} – tokia pat kaip ir (2.23), srovės i_{B2} – tokia pat kaip ir (2.24).

Srovė apvijos B elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{TV6B})

$$i_{B1} = \frac{-E_m + 2U_{VD} + i_m R_m + i_{BL} R_{B2}(h)}{2R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h)}. \quad (2.28)$$

Analogiškai, kai jungikliai K_B įjungti, o K_A išjungti ir atviri diodai VD_A , srovė maitinimo grandinėje (algoritme – f_{TV5B})

$$i_m = \frac{\frac{E_m + i_{BL} R_{B2}(h)}{2R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)} + \frac{E_m - 2U_{VD} - i_{AL} R_{A2}(h)}{2R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h)}}{1 + \frac{R_m}{2R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)} + \frac{R_m}{2R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h)}}; \quad (2.29)$$

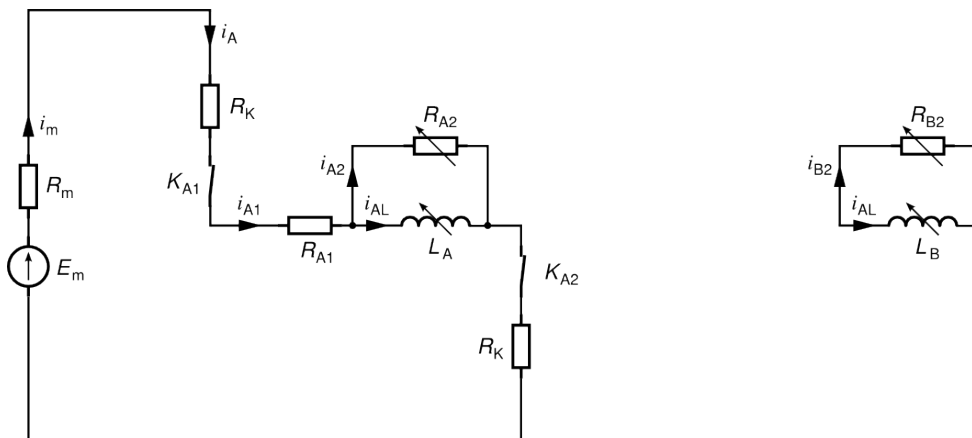
srovės pavaros apvijos B ritėje išvestinės išraiška tokia pat kaip ir (2.20), o srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{TV7A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[\frac{-(E_m + 2U_{VD} + i_m R_m) R_{A2}(h)}{2R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h)} - i_{AL} \left(\frac{R_{A2}(h) \cdot (2R_{VD} + R_{A1})}{2R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h)} + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]; \quad (2.30)$$

srovės i_{B1} išraiška tokia pat kaip ir (2.22), srovės i_{B2} – tokia pat kaip ir (2.24), srovės i_{A2} – tokia pat kaip ir (2.23), o srovė apvijos A elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{TV6A})

$$i_{A1} = \frac{-E_m + 2U_{VD} + i_m R_m + i_{AL} R_{A2}(h)}{2R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h)}. \quad (2.31)$$

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A įjungti, o K_B išjungti, diodai VD_B uždari, pateikta 2.11 paveiksle.



2.11 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A įjungti, o K_B išjungti, diodai VD_B uždari (apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\left\{ \begin{array}{l} i_m = i_A; i_A = i_{A1}; \\ i_B = 0; \\ i_{A1} = i_{A2} + i_{AL}; \\ i_{B1} = 0; \\ i_{B2} = -i_{BL}; \\ E_m = i_m R_m + i_{A1} (2R_K + R_{A1}) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\ 0 = -i_{A2} R_{A2}(h) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\ 0 = -i_{B2} R_{B2}(h) + \frac{d(i_{BL} L_B(h))}{dt}. \end{array} \right. \quad (2.32)$$

Pagal šią lygčių sistemą srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{TV8A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[\frac{E_m R_{A2}(h)}{2R_K + R_{A1} + R_{A2}(h) + R_m} - i_{AL} \left(\frac{R_{A2}(h) \cdot (2R_K + R_{A1} + R_m)}{2R_K + R_{A1} + R_{A2}(h) + R_m} + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.33)$$

Srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{TV10B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[-i_{BL} \left(R_{B2}(h) + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.34)$$

Srovės i_{A2} išraiška tokia pat kaip ir (2.23).

Srovė apvijos A elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{TV9A})

$$i_{A1} = \frac{E_m + i_{AL} R_{A2}(h)}{2R_K + R_{A1} + R_{A2}(h) + R_m}. \quad (2.35)$$

Analogiškai, kai jungikliai K_B įjungti, o K_A išjungti, diodai VD_A uždari, srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{TV8B})

$$\begin{aligned} \frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} & \left[\frac{E_m R_{B2}(h)}{2R_K + R_{B1} + R_{B2}(h) + R_m} \right. \\ & \left. - i_{BL} \left(\frac{R_{B2}(h) \cdot (2R_K + R_{B1} + R_m)}{2R_K + R_{B1} + R_{B2}(h) + R_m} + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \end{aligned} \quad (2.36)$$

Srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{TV10A})

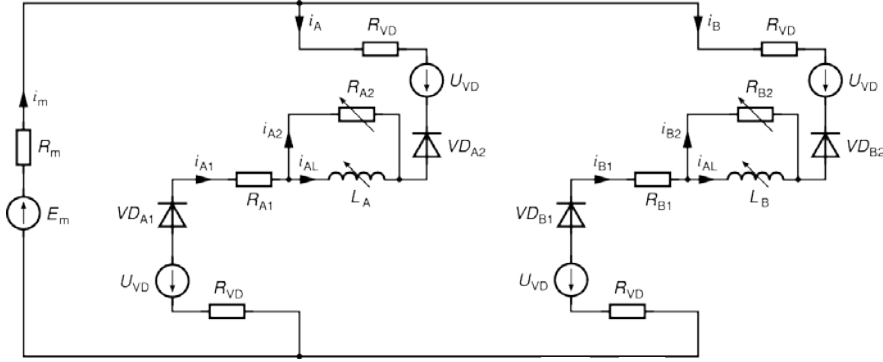
$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[-i_{AL} \left(R_{A2}(h) + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.37)$$

Srovės i_{B2} išraiška tokia pat kaip ir (2.24).

Srovė apvijos B elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{TV9B})

$$i_{B1} = \frac{E_m + i_{BL} R_{B2}(h)}{2R_K + R_{B1} + R_{B2}(h) + R_m}. \quad (2.38)$$

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_A ir VD_B atviri, pateikta 2.12 paveiksle.



2.12 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_A ir VD_B atviri (apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai)

Lygčių sistema šiai schemai

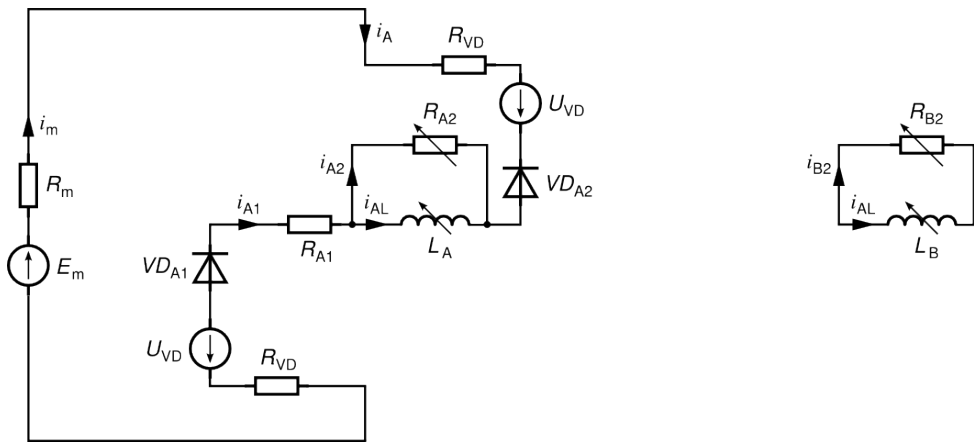
$$\begin{cases}
 i_m = i_A + i_B; i_A = -i_{A1}; \\
 i_B = -i_{B1}; \\
 i_{A1} = i_{A2} + i_{AL}; \\
 i_{B1} = i_{B2} + i_{BL}; \\
 -E_m + 2U_{VD} = -i_m R_m + i_{A1}(2R_{VD} + R_{A1}) + \frac{d(i_{AL}L_A(h))}{dt}; \\
 0 = -i_{A2}R_{A2}(h) + \frac{d(i_{AL}L_A(h))}{dt}; \\
 -E_m + 2U_{VD} = -i_m R_m + i_{B1}(2R_{VD} + R_{B1}) + \frac{d(i_{BL}L_B(h))}{dt}; \\
 0 = -i_{B2}R_{B2}(h) + \frac{d(i_{BL}L_B(h))}{dt}.
 \end{cases} \quad (2.39)$$

Pagal šią lygčių sistemą, srovė maitinimo grandinėje (algoritme – f_{TV11})

$$i_m = \frac{\frac{E_m - 2U_{VD} - i_{AL}R_{A2}(h)}{2R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h)} + \frac{E_m - 2U_{VD} - i_{BL}R_{B2}(h)}{2R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h)}}{1 + \frac{R_m}{2R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h)} + \frac{R_m}{2R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h)}}. \quad (2.40)$$

Srovės pavaros apvijos A ritėje išvestinės išraiška tokia pat kaip ir (2.30), srovės išvestinė pavaros apvijos B induktyvume – tokia pat kaip ir (2.27). Srovės i_{A1} išraiška tokia pat kaip ir (2.31), srovės i_{A2} – tokia pat kaip ir (2.23), srovės i_{B1} – tokia pat kaip ir (2.28), srovės i_{B2} – tokia pat kaip ir (2.24).

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_A



2.13 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_A atviri, o diodai VD_B uždari (apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai)

atviri, o diodai VD_B uždari, pateikta 2.13 paveiksle.

Lygčių sistema šiai schemai

$$\left\{ \begin{array}{l} i_m = i_A; i_A = -i_{A1}; \\ i_B = 0; \\ i_{A1} = i_{A2} + i_{AL}; \\ i_{B1} = 0; \\ i_{B2} = -i_{BL}; \\ -E_m + 2U_{VD} = -i_m R_m + i_{A1}(2R_{VD} + R_{A1}) + \frac{d(i_{AL}L_A(h))}{dt}; \\ 0 = -i_{A2}R_{A2}(h) + \frac{d(i_{AL}L_A(h))}{dt}; \\ 0 = -i_{B2}R_{B2}(h) + \frac{d(i_{BL}L_B(h))}{dt}. \end{array} \right. \quad (2.41)$$

Pagal šią lygčių sistemą srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{TV12A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[\frac{(-E_m + 2U_{VD})R_{A2}(h)}{2R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h) + R_m} - i_{AL} \left(\frac{R_{A2}(h) \cdot (2R_{VD} + R_{A1} + R_m)}{2R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h) + R_m} + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right] \quad (2.42)$$

Srovės pavaros apvijos B ritėje išvestinės išraiška tokia pat kaip ir (2.34).
Srovė pavaros apvijos A elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{TV13A})

$$i_{A1} = \frac{-E_m + 2U_{VD} + i_{AL}R_{A2}(h)}{2R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h) + R_m}. \quad (2.43)$$

Srovės i_{A2} išraiška tokia pat kaip ir (2.23).

Analogiškai, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_B atviri, o diodai VD_A uždari, srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (žymėjimas algoritme – f_{TV12B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[\frac{(-E_m + 2U_{VD})R_{B2}(h)}{2R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h) + R_m} - i_{BL} \left(\frac{R_{B2}(h) \cdot (2R_{VD} + R_{B1} + R_m)}{2R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h) + R_m} + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.44)$$

Srovės pavaros apvijos A ritėje išvestinės išraiška tokia pat kaip ir (2.37).
Srovė pavaros apvijos B elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{TV13B})

$$i_{B1} = \frac{-E_m + 2U_{VD} + i_{BL}R_{B2}(h)}{2R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h) + R_m}. \quad (2.45)$$

Srovės i_{B2} išraiška tokia pat kaip ir (2.24).

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_A ir VD_B uždari, pateikta 2.14 paveiksle.



2.14 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_A ir VD_B uždari (apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\left\{ \begin{array}{l}
 i_m = 0; i_A = 0; \\
 i_B = 0; \\
 i_{A1} = 0; \\
 i_{B1} = 0; \\
 i_{A2} = -i_{AL}; \\
 i_{B2} = -i_{BL}; \\
 0 = -i_{A2}R_{A2}(h) + \frac{d(i_{AL}L_A(h))}{dt}; \\
 0 = -i_{B2}R_{B2}(h) + \frac{d(i_{BL}L_B(h))}{dt}.
 \end{array} \right. \quad (2.46)$$

Pagal šią lygčių sistemą, srovės išvestinė pavaros apvijų A ritėje išraiška tokia pat kaip ir (2.37).

Srovės išvestinė pavaros apvijų B ritėje išraiška tokia pat kaip ir (2.34).

Srovių išvestinių skaičiavimo algoritmas, kai apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai:

function *di_L_dt_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius*

if $K_A > 0$ **then**

if $K_B > 0$ **then** $i_m = f_{TV1}$; $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TV2A}$; $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TV2B}$; **else**

$i_m = f_{TV5A}$; $i_{B1} = f_{TV6B}$;

if $i_{B1} > 0$ **then** $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TV2A}$; $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TV7B}$ **else**

$\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TV8A}$;

if $i_{BL} > 0$ **then** $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TV10B}$; **else** $\frac{di_{BL}}{dt} = 0$; **endif**

endif

endif

else

if $K_B > 0$ **then**

$i_m = f_{TV5B}$; $i_{A1} = f_{TV6A}$;

if $i_{A1} > 0$ **then** $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TV7A}$; $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TV2B}$; **else**

$\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TV8B}$;

if $i_{AL} > 0$ **then** $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TV10A}$; **else** $\frac{di_{AL}}{dt} = 0$; **endif**

endif

else

```

im = fTV11; iA1 = fTV6A; iB1 = fTV6B;
if iA1 > 0 then
    if iB1 > 0 then  $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TV7A}$ ;  $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TV7B}$ ; else
         $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TV12A}$ ;
    if iBL > 0 then  $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TV10B}$ ; else  $\frac{di_{BL}}{dt} = 0$ ; endif
endif
else
    if iB1 > 0 then  $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TV12B}$ ; else
        if iBL>0 then  $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TV10B}$ ; else  $\frac{di_{BL}}{dt} = 0$ ; endif
    endif
    if iAL > 0 then  $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TV10A}$ ; else  $\frac{di_{AL}}{dt} = 0$ ; endif
endif
endif
endif
return  $\frac{di_{AL}}{dt}$ ;  $\frac{di_{BL}}{dt}$ ;

```

endfunction

Srovių skaičiavimo algoritmas, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai:

function *sroves__tiltelis__ivertinus_magnetinius_nuostolius*

if *K*_A > 0 **then**

if *K*_B > 0 **then**

$$i_m = f_{TV1}; \quad i_{A1} = f_{TV3A}; \quad i_{B1} = f_{TV3B}; \quad i_{A2} = f_{TV4A};$$

$$i_{B2} = f_{TV4B}; \quad i_A = i_{A1}; \quad i_B = i_{B1};$$

$$i_m = i_A + i_B;$$

else

$$i_m = f_{TV5A}; \quad i_{B1} = f_{TV6B};$$

if *i*_{B1} > 0 **then**

$$i_{A1} = f_{TV3A}; \quad i_{A2} = f_{TV4A}; \quad i_{B2} = f_{TV4B}; \quad i_A = i_{A1}; \quad i_B = -i_{B1};$$

else

$$i_{A1} = f_{TV9A}; \quad i_{B1} = 0; \quad i_{A2} = f_{TV4A}; \quad i_A = i_{A1}; \quad i_B = 0;$$

if *i*_{BL} > 0 **then** *i*_{B2} = -*i*_{BL}; **else** *i*_{B2} = 0; **endif**

endif

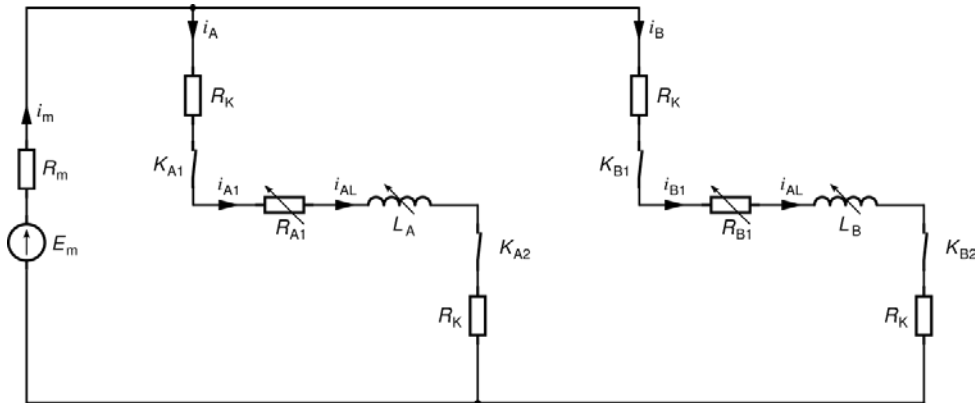
```

endif
 $i_m = i_A + i_B;$ 
else
if  $K_B > 0$  then
 $i_m = f_{TV5B}; i_{A1} = f_{TV6A};$ 
if  $i_{A1} > 0$  then
 $i_{A2} = f_{TV4A}; i_{B1} = f_{TV3B}; i_{B2} = f_{TV4B}; i_A = -i_{A1}; i_B = i_{B1};$ 
else
 $i_{A1} = 0; i_{B1} = f_{TV9B}; i_{B2} = f_{TV4B}; i_A = 0; i_B = i_{B1};$ 
if  $i_{AL} > 0$  then  $i_{A2} = -i_{AL};$  else  $i_{A2} = 0;$  endif
 $i_m = i_A + i_B;$ 
endif
else
 $i_m = f_{TV11}; i_{A1} = f_{TV6A}; i_{B1} = f_{TV6B};$ 
if  $i_{A1} > 0$  then
if  $i_{B1} > 0$  then  $i_{A2} = f_{TV4A}; i_{B2} = f_{TV4B}; i_A = -i_{A1}; i_B = -i_{B1};$  else
 $i_{A1} = f_{TV13A}; i_{B1} = 0; i_{A2} = f_{TV4A}; i_A = -i_{A1}; i_B = 0;$ 
if  $i_{BL} > 0$  then  $i_{B2} = -i_{BL};$  else  $i_{B2} = 0;$  endif
 $i_m = i_A + i_B;$ 
endif
else
 $i_{A1} = 0; i_A = 0;$ 
if  $i_{B1} > 0$  then  $i_{B1} = f_{TV13B}; i_{B2} = f_{TV4B}; i_B = -i_{B1};$  else
if  $i_{BL} > 0$  then  $i_{B2} = -i_{BL};$  else  $i_{B2} = 0;$  endif
endif
if  $i_{AL} > 0$  then  $i_{A2} = -i_{AL};$  else  $i_{A2} = 0;$  endif
 $i_m = i_A + i_B;$ 
endif
endif
endif
return  $i_{AL}, i_{BL}, i_{A1}, i_{B1}, i_{A2}, i_{B2}, i_A, i_B$ 
endfunction

```

2.3. Modeliavimo algoritmo dalis, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B įjungti, pateikta 2.15 paveiksle.



2.15 pav. Atstojamoji elektrinė schema kai jungikliai K_A ir K_B įjungti (apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases} i_m = i_A + i_B; i_A = i_{A1}; \\ i_B = i_{B1}; \\ i_{A1} = i_{AL}; \\ i_{B1} = i_{BL}; \\ E_m = i_m R_m + i_{A1} (2R_K + R_{A1}(h)) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\ E_m = i_m R_m + i_{B1} (2R_K + R_{B1}(h)) + \frac{d(i_{BL} L_B(h))}{dt}. \end{cases} \quad (2.47)$$

Pagal šią lygčių sistemą, srovė maitinimo grandinėje (algoritme – f_{TP1})

$$i_m = i_{AL} + i_{BL}. \quad (2.48)$$

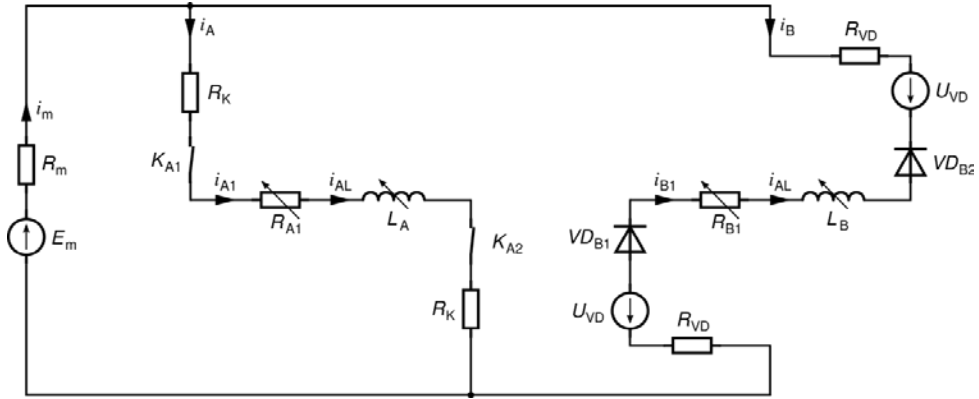
Srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{TP2A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[E_m - i_m R_m - i_{AL} \left(2R_K + R_{A1}(h) + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.49)$$

Srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{TP2B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[E_m - i_m R_m - i_{BL} \left(2R_K + R_{B1}(h) + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.50)$$

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A įjungti, o K_B išjungti, diodai VD_B atviri, pateikta 2.16 paveiksle.



2.16 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A įjungti, o K_B išjungti, diodai VD_B atviri (apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases} i_m = i_A + i_B; i_A = i_{A1}; \\ i_B = -i_{B1}; \\ i_{A1} = i_{AL}; \\ i_{B1} = i_{BL}; \\ E_m = i_m R_m + i_{A1} (2R_K + R_{A1}(h)) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\ -E_m + 2U_{VD} = -i_m R_m + i_{B1} (2R_{VD} + R_{B1}(h)) + \frac{d(i_{BL} L_B(h))}{dt}. \end{cases} \quad (2.51)$$

Pagal šią lygčių sistemą, srovė maitinimo grandinėje (algoritme – f_{TP3A})

$$i_m = i_{AL} - i_{BL}. \quad (2.52)$$

Srovės pavaros apvijos A ritėje išvestinės išraiška tokia pat kaip ir (2.49).

Srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{TP4B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[-E_m + 2U_{VD} + i_m R_m - i_{BL} \left(2R_{VD} + R_{B1}(h) + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.53)$$

Analogiškai, kai jungikliai K_B įjungti, o K_A išjungti, diodai VD_A atviri, srovė maitinimo grandinėje (algoritme – f_{TP3B})

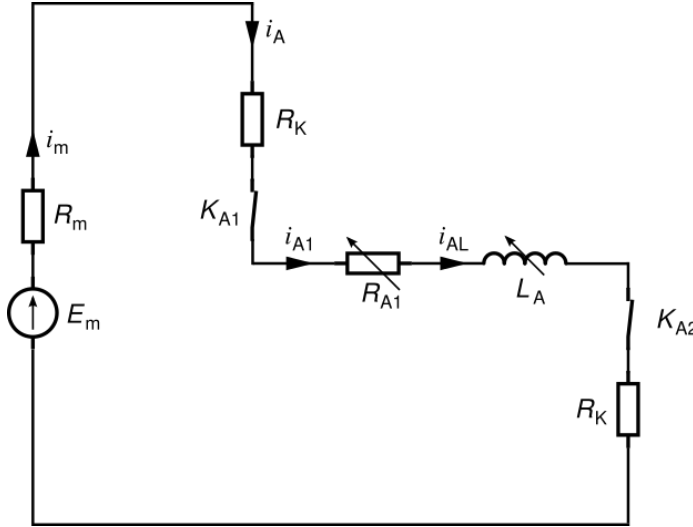
$$i_m = i_{BL} - i_{AL}. \quad (2.54)$$

Srovės pavaros apvijos B ritėje išvestinės išraiška tokia pat kaip ir (2.50).

Srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{TP4A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[-E_m + 2U_{VD} + i_m R_m - i_{AL} \left(2R_{VD} + R_{A1}(h) + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.55)$$

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A įjungti, o K_B išjungti, diodai VD_B uždari, pateikta 2.17 paveiksle.



2.17 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A įjungti, o K_B išjungti, diodai VD_B uždari (apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases} i_m = i_A; \\ i_A = i_{A1}; \\ i_B = 0; \\ i_{A1} = i_{AL}; \\ i_{B1} = 0; \\ E_m = i_m R_m + i_{A1} (2R_K + R_{A1}(h)) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}. \end{cases} \quad (2.56)$$

Pagal šią lygčių sistemą srovės išvestinė pavaros apvijos A riteje (algoritme – f_{TP5A})

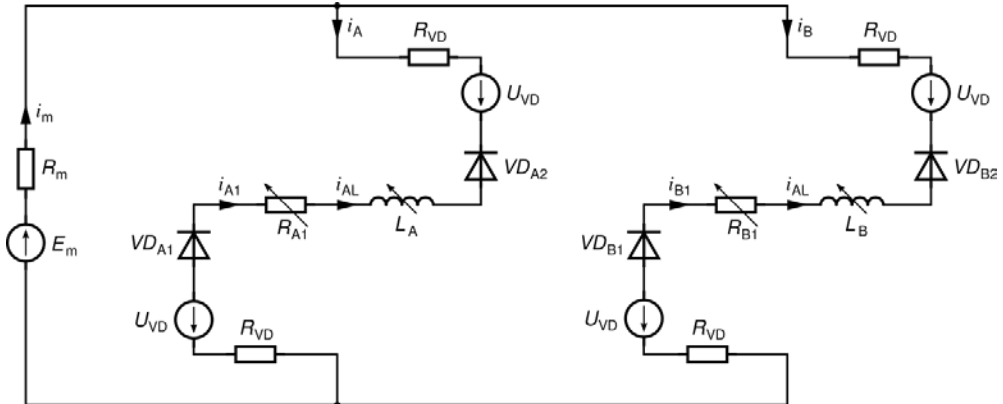
$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[E_m - i_{AL} \left(2R_K + R_{A1}(h) + R_m + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.57)$$

Analogiškai, kai jungikliai K_B įjungti, o K_A išjungti, diodai VD_A uždari,

šrovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{TP5B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[E_m - i_{BL} \left(2R_K + R_{B1}(h) + R_m + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.58)$$

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_A ir VD_B atviri, pateikta 2.18 paveiksle.



2.18 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_A ir VD_B atviri (apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami)

Lygčių sistema šiai schemai

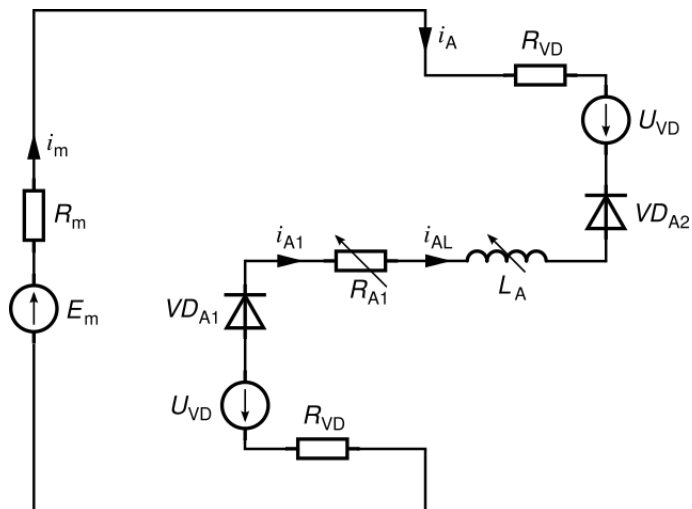
$$\begin{cases} i_m = i_A + i_B; i_A = -i_{A1}; \\ i_B = -i_{B1}; \\ i_{A1} = i_{AL}; \\ i_{B1} = i_{BL}; \\ -E_m + 2U_{VD} = -i_m R_m + i_{A1} (2R_{VD} + R_{A1}(h)) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\ -E_m + 2U_{VD} = -i_m R_m + i_{B1} (2R_{VD} + R_{B1}(h)) + \frac{d(i_{BL} L_B(h))}{dt}. \end{cases} \quad (2.59)$$

Pagal šią lygčių sistemą, šrovė maitinimo grandinėje (algoritme – f_{TP6})

$$i_m = -i_{AL} - i_{BL}. \quad (2.60)$$

Šrovės pavaros apvijos A ritėje išvestinės išraiška tokia pat kaip ir (2.55), šrovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje – tokia pat kaip ir (2.53).

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_A atviri, o diodai VD_B uždari, pateikta 2.19 paveiksle.



2.19 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_A atviri, o diodai VD_B uždari (apvijos jungiamos tiltelių išstrižainėse, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases} i_m = i_A; \\ i_A = -i_{A1}; \\ i_B = 0; \\ i_{A1} = i_{AL}; \\ i_{B1} = 0; \\ -E_m + 2U_{VD} = -i_m R_m + i_{A1} (2R_{VD} + R_{A1}(h)) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}. \end{cases} \quad (2.61)$$

Pagal šią lygčių sistemą srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{TP7A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[-E_m + 2U_{VD} - i_{AL} \left(2R_{VD} + R_{A1}(h) + R_m + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.62)$$

Analogiškai, kai jungikliai K_A ir K_B išjungti, diodai VD_B atviri, o diodai VD_A uždari, srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (žymėjimas algoritme – f_{TP7B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[-E_m + 2U_{VD} - i_{BL} \left(2R_{VD} + R_{B1}(h) + R_m + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.63)$$

Srovių išvestinių skaičiavimo algoritmas, kai apvijos jungiamos tiltelių

įstrižainėse ir atskirai magnetiniai nuostoliai neivertinami:

function *di_L_dt_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu*

if $K_A > 0$ **then**

if $K_B > 0$ **then** $i_m = f_{TP1}$; $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TP2A}$; $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TP2B}$; **else**

if $i_{BL} > 0$ **then** $i_m = f_{TP3A}$; $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TP2A}$; $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TP4B}$; **else**

$\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TP5A}$; $\frac{di_{BL}}{dt} = 0$;

endif

endif

else

if $K_B > 0$ **then**

if $i_{AL} > 0$ **then** $i_m = f_{TP3B}$; $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TP4A}$; $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TP2B}$; **else**

$\frac{di_{AL}}{dt} = 0$; $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TP5B}$;

endif

else

if $(i_{AL} > 0) \wedge (i_{BL} > 0)$ **then** $i_m = f_{TP6}$; $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TP4A}$; $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TP4B}$; **else**

if $i_{AL} > 0$ **then** $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{TP7A}$; **else** $\frac{di_{AL}}{dt} = 0$; **endif**

if $i_{BL} > 0$ **then** $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{TP7B}$; **else** $\frac{di_{BL}}{dt} = 0$; **endif**

endif

endif

endif

return $\frac{di_{AL}}{dt}$; $\frac{di_{BL}}{dt}$;

endfunction

Srovių skaičiavimo algoritmas, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir atskirai magnetiniai nuostoliai neivertinami:

function *sroves_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu*

if $K_A > 0$ **then**

if $K_B > 0$ **then** $i_{A1} = i_{AL}$; $i_{B1} = i_{BL}$; $i_A = i_{A1}$; $i_B = i_{B1}$; **else**

if $i_{BL} > 0$ **then** $i_{A1} = i_{AL}$; $i_{B1} = i_{BL}$; $i_A = i_{A1}$; $i_B = -i_{B1}$; **else**

$i_{BL} = 0$; $i_{A1} = i_{AL}$; $i_{B1} = 0$; $i_A = i_{A1}$; $i_B = 0$;

endif

endif

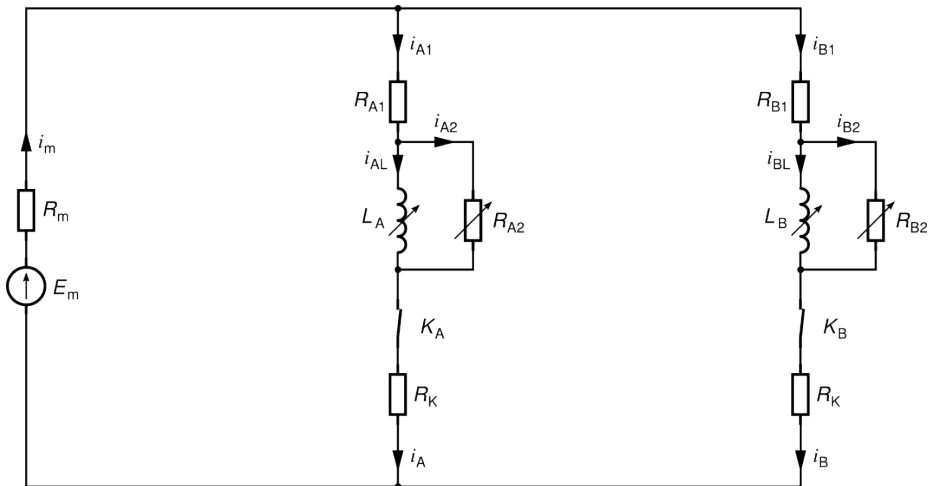
```

else
  if  $K_B > 0$  then
    if  $i_{AL} > 0$  then  $i_{A1} = i_{AL}; i_{B1} = i_{BL}; i_A = -i_{A1}; i_B = i_{B1};$  else
       $i_{AL} = 0; i_{A1} = 0; i_{B1} = i_{BL}; i_A = 0; i_B = i_{B1};$ 
    endif
  else
    if  $(i_{AL} > 0) \wedge (i_{BL} > 0)$  then  $i_{A1} = i_{AL}; i_{B1} = i_{BL}; i_A = -i_{A1}; i_B = -i_{B1};$  else
      if  $i_{AL} > 0$  then  $i_{A1} = i_{AL}; i_A = -i_{A1};$  else  $i_{AL} = 0; i_{A1} = 0; i_A = 0;$  endif
      if  $i_{BL} > 0$  then  $i_{B1} = i_{BL}; i_B = -i_{B1};$  else  $i_{BL} = 0; i_{B1} = 0; i_B = 0;$  endif
    endif
  endif
endif
 $i_m = i_A + i_B;$ 
return  $i_{AL}, i_{BL}, i_{A1}, i_{B1}, i_A, i_B$ 
endfunction

```

2.4. Modeliavimo algoritmo dalis, kai apvijos šuntuojamos diodais ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B įjungti, pateikta 2.20 paveiksle.



2.20 pav. Atstojamoji elektrinė schema kai jungikliai K_A ir K_B įjungti (apvijos šuntuojamos diodais ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases}
i_m = i_A + i_B; i_A = i_{A1}; \\
i_B = i_{B1}; \\
i_{A1} = i_{A2} + i_{AL}; \\
i_{B1} = i_{B2} + i_{BL}; \\
E_m = i_m R_m + i_{A1} (R_K + R_{A1}) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\
0 = -i_{A2} R_{A2}(h) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\
E_m = i_m R_m + i_{B1} (R_K + R_{B1}) + \frac{d(i_{BL} L_B(h))}{dt}; \\
0 = -i_{B2} R_{B2}(h) + \frac{d(i_{BL} L_B(h))}{dt}.
\end{cases} \quad (2.64)$$

Pagal šią lygčių sistemą, srovė maitinimo grandinėje (algoritme – f_{DV1})

$$i_m = \frac{\frac{E_m + i_{AL} R_{A2}(h)}{R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)} + \frac{E_m + i_{BL} R_{B2}(h)}{R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)}}{1 + \frac{R_m}{R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)} + \frac{R_m}{R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)}}. \quad (2.65)$$

Srovės išvestinė pavaros apvijų A ritėje (algoritme – f_{DV2A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[\frac{(E_m - i_m R_m) R_{A2}(h)}{R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)} - i_{AL} \left(\frac{R_{A2}(h) \cdot (R_K + R_{A1})}{R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)} + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.66)$$

Srovės išvestinė pavaros apvijų B ritėje (algoritme – f_{DV2B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[\frac{(E_m - i_m R_m) R_{B2}(h)}{R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)} - i_{BL} \left(\frac{R_{B2}(h) \cdot (R_K + R_{B1})}{R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)} + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.67)$$

Srovė apvijų A elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{DV3A})

$$i_{A1} = \frac{E_m - i_m R_m + i_{AL} R_{A2}(h)}{R_K + R_{A1} + R_{A2}(h)}. \quad (2.68)$$

Srovė apvijų B elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{DV3B})

$$i_{B1} = \frac{E_m - i_m R_m + i_{BL} R_{B2}(h)}{R_K + R_{B1} + R_{B2}(h)}. \quad (2.69)$$

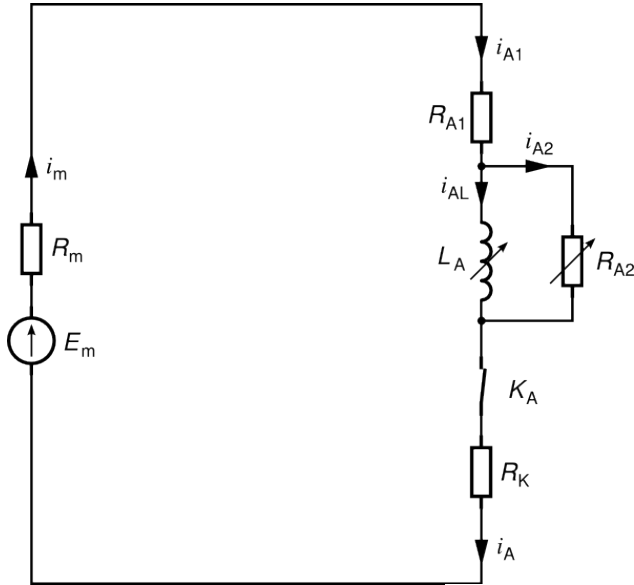
Srovė apvijų A magnetinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{DV4A})

$$i_{A2} = i_{A1} - i_{AL}. \quad (2.70)$$

Srovė apvijų B magnetinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{DV4B})

$$i_{B2} = i_{B1} - i_{BL} \quad (2.71)$$

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungiklis K_A įjungtas, o jungiklis K_B išjungtas, pateikta 2.21 paveiksle.



2.21 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungiklis K_A įjungtas, o jungiklis K_B išjungtas (apvijos šuntuojamos diodais ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases} i_m = i_A; i_A = i_{A1}; \\ i_{A1} = i_{A2} + i_{AL}; \\ E_m = i_m R_m + i_{A1} (R_K + R_{A1}) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\ 0 = -i_{A2} R_{A2}(h) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}. \end{cases} \quad (2.72)$$

Pagal šią lygčių sistemą, srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{DV5A})

$$\begin{aligned} \frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} & \left[\frac{E_m R_{A2}(h)}{R_K + R_{A1} + R_{A2}(h) + R_m} \right. \\ & \left. - i_{AL} \left(\frac{R_{A2}(h) \cdot (R_K + R_{A1} + R_m)}{R_K + R_{A1} + R_{A2}(h) + R_m} + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \end{aligned} \quad (2.73)$$

Srovė apvijos A elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{DV6A})

$$i_{A1} = \frac{E_m + i_{AL} R_{A2}(h)}{R_K + R_{A1} + R_{A2}(h) + R_m}. \quad (2.74)$$

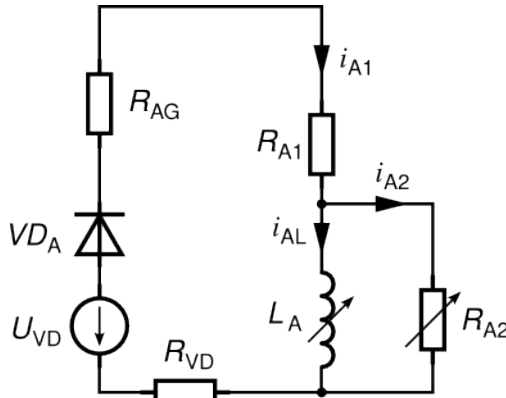
Analogiškai, kai jungiklis K_B įjungtas, o jungiklis K_A išjungtas, srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{DV5B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[\frac{E_m R_{B2}(h)}{R_K + R_{B1} + R_{B2}(h) + R_m} - i_{BL} \left(\frac{R_{B2}(h) \cdot (R_K + R_{B1} + R_m)}{R_K + R_{B1} + R_{B2}(h) + R_m} + \nu \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.75)$$

Srovė apvijos B elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{DV6B})

$$i_{B1} = \frac{E_m + i_{BL} R_{B2}(h)}{R_K + R_{B1} + R_{B2}(h) + R_m}. \quad (2.76)$$

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungiklis K_A išjungtas, diodas VD_A atviras, pateikta 2.22 paveiksle.



2.22 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungiklis K_A išjungtas, diodas VD_A atviras (apvijos šuntuojamos diodais ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases} i_A = 0; \\ i_{A1} = i_{A2} + i_{AL}; \\ -U_{VD} = i_{A1}(R_{AG} + R_{VD} + R_{A1}) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\ 0 = -i_{A2} R_{A2}(h) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}. \end{cases} \quad (2.77)$$

Pagal šią lygčių sistemą, srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme –

f_{DV8A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[\frac{-U_{VD} R_{A2}(h)}{R_{AG} + R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h)} - i_{AL} \left(\frac{R_{A2}(h) \cdot (R_{AG} + R_{VD} + R_{A1})}{R_{AG} + R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h)} + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right] \quad (2.78)$$

Srovė apvijos A elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{DV7A})

$$i_{A1} = \frac{-U_{VD} + i_{AL} R_{A2}(h)}{R_{AG} + R_{VD} + R_{A1} + R_{A2}(h)} \quad (2.79)$$

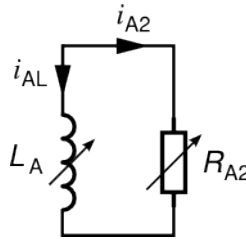
Analogiškai, kai jungiklis K_B išjungtas, diodas VD_B atviras, srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{DV8B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[\frac{-U_{VD} R_{B2}(h)}{R_{BG} + R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h)} - i_{BL} \left(\frac{R_{B2}(h) \cdot (R_{BG} + R_{VD} + R_{B1})}{R_{BG} + R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h)} + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right] \quad (2.80)$$

Srovė apvijos B elektrinių nuostolių varžoje (algoritme – f_{DV7B})

$$i_{B1} = \frac{-U_{VD} + i_{BL} R_{B2}(h)}{R_{BG} + R_{VD} + R_{B1} + R_{B2}(h)} \quad (2.81)$$

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungiklis K_A išjungtas, diodas VD_A uždaras, pateikta 2.23 paveiksle.



2.23 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungiklis K_A išjungtas, diodas VD_A uždaras (apvijos šuntuojamos diodais ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases} i_A = 0; \\ i_{A1} = 0; \\ i_{A2} = -i_{AL}; \\ 0 = -i_{A2}R_{A2}(h) + \frac{d(i_{AL}L_A(h))}{dt}. \end{cases} \quad (2.82)$$

Pagal šią lygčių sistemą srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{DV9A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[-i_{AL} \left(R_{A2}(h) + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.83)$$

Analogiškai, kai jungiklis K_B išjungtas, diodas VD_B uždaras, srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{DV9B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[-i_{BL} \left(R_{B2}(h) + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.84)$$

Srovių išvestinių skaičiavimo algoritmas, kai apvijos šuntuojamos diodais ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai:

function *di_L_dt_suntuojantis_diodas__ivertinus_magnetinius_nuostolius*

if $(K_A > 0) \wedge (K_B > 0)$ **then** $i_m = f_{DV1}$; $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{DV2A}$; $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{DV2B}$; **else**

if $K_A > 0$ **then** $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{DV5A}$; **else**

$i_{A1} = f_{DV7A}$;

if $i_{A1} > 0$ **then** $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{DV8A}$; **else**

if $i_{AL} > 0$ **then** $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{DV9A}$; **else** $\frac{di_{AL}}{dt} = 0$; **endif**

endif

endif

if $K_B > 0$ **then** $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{DV5B}$; **else**

$i_{B1} = f_{DV7B}$;

if $i_{B1} > 0$ **then** $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{DV8B}$; **else**

if $i_{BL} > 0$ **then** $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{DV9B}$; **else** $\frac{di_{BL}}{dt} = 0$; **endif**

endif

endif

endif

return $\frac{di_{AL}}{dt}; \frac{di_{BL}}{dt};$

endfunction

Srovių skaičiavimo algoritmas, kai apvijos šuntuojamos diodais ir atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai:

function *sroves_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius*

if $(K_A > 0) \wedge (K_B > 0)$ **then**

$i_m = f_{DV1}; i_{A1} = f_{DV3A}; i_{B1} = f_{DV3B}; i_{A2} = f_{DV4A};$

$i_{B2} = f_{DV4B}; i_A = i_{A1}; i_B = i_{B1};$

else

if $K_A > 0$ **then** $i_{A1} = f_{DV6A}; i_{A2} = f_{DV4A}; i_A = i_{A1};$ **else**

$i_{A1} = f_{DV7A}; i_A = 0;$

if $i_{A1} > 0$ **then** $i_{A2} = f_{DV4A};$ **else**

$i_{A1} = 0;$

if $i_{AL} > 0$ **then** $i_{A2} = -i_{AL};$ **else** $i_{AL} = 0; i_{A2} = 0;$ **endif**

endif

endif

if $K_B > 0$ **then** $i_{B1} = f_{DV6B}; i_{B2} = f_{DV4B}; i_B = i_{B1};$ **else**

$i_{B1} = f_{DV7B}; i_B = 0;$

if $i_{B1} > 0$ **then** $i_{B2} = f_{DV4B};$ **else**

$i_{B1} = 0;$

if $i_{BL} > 0$ **then** $i_{B2} = -i_{BL};$ **else** $i_{BL} = 0; i_{B2} = 0;$ **endif**

endif

endif

endif

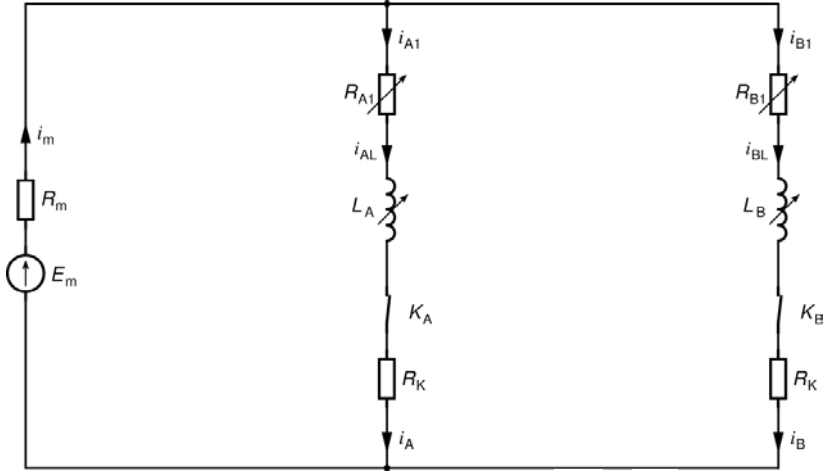
$i_m = i_A + i_B;$

return $i_{AL}, i_{BL}, i_{A1}, i_{B1}, i_{A2}, i_{B2}, i_A, i_B$

endfunction

2.5. Modeliavimo algoritmo dalis, kai apvijos šuntuojamos diodais, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungikliai K_A ir K_B įjungti, pateikta 2.24 paveiksle.



2.24 pav. Atstojamoji elektrinė schema kai jungikliai K_A ir K_B įjungti (apvijos šuntuojamos diodais, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases} i_m = i_A + i_B; i_A = i_{A1}; \\ i_B = i_{B1}; \\ i_{A1} = i_{AL}; \\ i_{B1} = i_{BL}; \\ E_m = i_m R_m + i_{AL} (R_K + R_{A1}(h)) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}; \\ E_m = i_m R_m + i_{BL} (R_K + R_{B1}(h)) + \frac{d(i_{BL} L_B(h))}{dt}. \end{cases} \quad (2.85)$$

Pagal šią lygčių sistemą, srovė maitinimo grandinėje (algoritme – f_{DP1})

$$i_m = i_{AL} + i_{BL}. \quad (2.86)$$

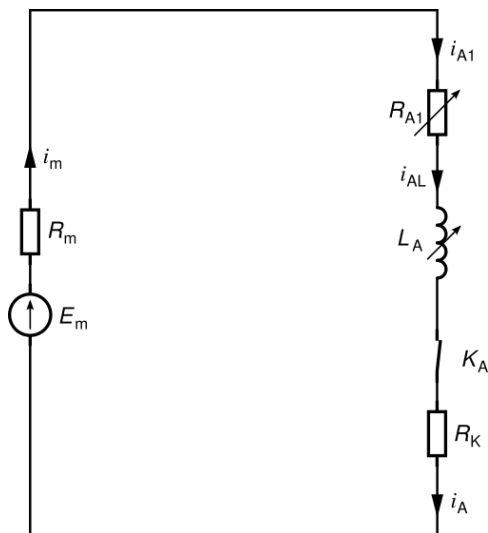
Srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{DP2A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[E_m - i_m R_m - i_{AL} \left(R_K + R_{A1}(h) + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.87)$$

Srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{DP2B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[E_m - i_m R_m - i_{BL} \left(R_K + R_{B1}(h) + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.88)$$

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungiklis K_A įjungtas, o jungiklis K_B išjungtas, pateikta 2.25 paveiksle.



2.25 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungiklis K_A įjungtas, o jungiklis K_B išjungtas (apvijos šuntuojamos diodais, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases} i_m = i_A; \\ i_A = i_{A1}; \\ i_{A1} = i_{AL}; \\ E_m = i_m R_m + i_{AL} (R_K + R_{A1}(h)) + \frac{d(i_{AL} L_A(h))}{dt}. \end{cases} \quad (2.89)$$

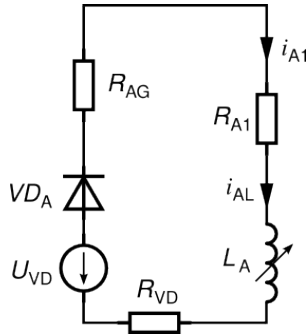
Pagal šią lygčių sistemą, srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{DP3A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[E_m - i_{AL} \left(R_K + R_{A1}(h) + R_m + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.90)$$

Analogiškai, kai jungiklis K_B įjungtas, o jungiklis K_A išjungtas, srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{DP3B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[E_m - i_{BL} \left(R_K + R_{B1}(h) + R_m + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.91)$$

Atstojamoji elektrinė schema, kai jungiklis K_A išjungtas, diodas VD_A atviras, pateikta 2.26 paveiksle.



2.26 pav. Atstojamoji elektrinė schema, kai jungiklis K_A išjungtas, diodas VD_A atviras (apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami)

Lygčių sistema šiai schemai

$$\begin{cases} i_A = 0; \\ i_{A1} = i_{AL}; \\ -U_{VD} = i_{AL}(R_{AG} + R_{VD} + R_{A1}(h)) + \frac{d(i_{AL}L_A(h))}{dt}. \end{cases} \quad (2.92)$$

Pagal šią lygčių sistemą, srovės išvestinė pavaros apvijos A ritėje (algoritme – f_{DP4A})

$$\frac{di_{AL}}{dt} = \frac{1}{L_A(h)} \left[-U_{VD} - i_{AL} \left(R_{AG} + R_{VD} + R_{A1}(h) + v \frac{dL_A(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.93)$$

Analogiškai, kai jungiklis K_B išjungtas, diodas VD_B atviras, srovės išvestinė pavaros apvijos B ritėje (algoritme – f_{DP4B})

$$\frac{di_{BL}}{dt} = \frac{1}{L_B(h)} \left[-U_{VD} - i_{BL} \left(R_{BG} + R_{VD} + R_{B1}(h) + v \frac{dL_B(h)}{dh} \right) \right]. \quad (2.94)$$

Srovių išvestinių skaičiavimo algoritmas, kai apvijos šuntuojamos diodais ir atskirai magnetiniai nuostoliai neįvertinami:

function *di_L_dt_suntuojantis_diodas_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu*

if $(K_A > 0) \wedge (K_B > 0)$ **then** $i_m = f_{DP1}$; $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{DP2A}$; $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{DP2B}$; **else**

if $K_A > 0$ **then** $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{DP3A}$; **else**

if $i_{AL} > 0$ **then** $\frac{di_{AL}}{dt} = f_{DP4A}$; **else** $\frac{di_{AL}}{dt} = 0$; **endif**

```

endif
if  $K_B > 0$  then  $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{DP3B}$ ; else
    if  $i_{BL} > 0$  then  $\frac{di_{BL}}{dt} = f_{DP4B}$ ; else  $\frac{di_{BL}}{dt} = 0$ ; endif
endif
endif
return  $\frac{di_{AL}}{dt}$ ;  $\frac{di_{BL}}{dt}$ ;
endfunction

```

Srovių skaičiavimo algoritmas, kai apvijojos šuntuojamos diodais ir atskirai magnetiniai nuostoliai neivertinami:

```

function sroves__suntuojantis_diodas__nepaisant_magnetiniu_nuostoliu
if  $(K_A > 0) \wedge (K_B > 0)$  then  $i_{A1} = i_{AL}$ ;  $i_{B1} = i_{BL}$ ;  $i_A = i_{A1}$ ;  $i_B = i_{B1}$ ; else
    if  $K_A > 0$  then  $i_{A1} = i_{AL}$ ;  $i_A = i_{A1}$ ; else
         $i_A = 0$ ;
        if  $i_{AL} > 0$  then  $i_{A1} = i_{AL}$ ; else  $i_{AL} = 0$ ;  $i_{A1} = 0$ . endif
    endif
    if  $K_B > 0$  then  $i_{B1} = i_{BL}$ ;  $i_B = i_{B1}$ ; else
         $i_B = 0$ ;
        if  $i_{BL} > 0$  then  $i_{B1} = i_{BL}$ ; else  $i_{BL} = 0$ ;  $i_{B1} = 0$ ; endif
    endif
endif
return  $i_{AL}, i_{BL}, i_{A1}, i_{B1}, i_A, i_B$ 
endfunction

```

2.6. Programinė įranga modeliui įgyvendinti

Modelis realizuotas naudojant GNU OCTAVE programinės įrangos paketą.

GNU OCTAVE yra solidi aukšto lygio kalba [36], skirta matematiniams skaičiavimams. Šioje programoje, naudojantis komandų eilutės sąsaja skaitiniais metodais sprendžiami tiesiniai ar netiesiniai uždaviniai, atliekami kitokie skaitiniai eksperimentai. Programa veikia daugelyje platformų: ji gali veikti Linux, Mac OS X, ir Windows operacinėse sistemose. GNU OCTAVE yra suderinama su MATLAB daugeliu aspektu, tokių kaip: matricos – pagrindinis duomenų tipas, kompleksiniai skaičiai, nemažai matematinių funkcijų ir didelės funkcijų bibliotekos, naudotojas jas gali praplėsti kurdamas savas funkcijas.

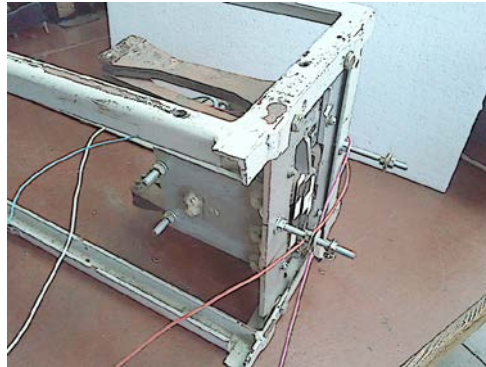
GNU OCTAVE programinės įrangos licencija yra GNU General Public License, t. y. ją galima laisvai naudoti, modifikuoti, platinti.

2.7. Skyriaus išvados

1. Sukurtas sinchroninės švytuojančio judesio pavaros matematinis modelis: variklis maitinamas iš nuolatinės įtampos šaltinio, formuojant stačiakampius variklio apvijas maitinančius impulsus; variklio apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse arba šuntuojamos diodais.
2. Sukurtuoju modeliu galima tirti švytuojamojo tiesiaieigio judesio pavaras, kurių apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse arba šuntuojamos diodais.
3. Sukurtame modelyje nauja yra tai, kad įvertinami varžų variklio apvijos atstojamojoje schemoje netiesiškamai, įvertinamas puslaidininkinių diodų netiesiškumas, puslaidininkinių jungiklių ir įtampos šaltinio vidinės varžos.

3. ŠJSPSP FIZINIO IR MATEMATINIO MODELIŲ ADEKVATUMO TYRIMAS

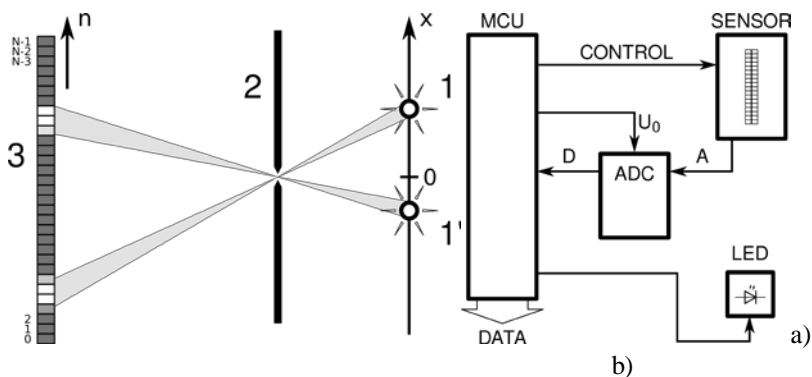
Siekiant įvertinti matematinio modelio adekvatumą, buvo atliktas fizinis eksperimentas.



3.1 pav. Pjūklo pavaros fizinis modelis

Fiziniame eksperimente buvo tiriamas Klaipėdos universitete Elektrotechnikos katedroje pagamintas ŠJSPSP (3.1 pav.).

Pjūklo pvara maitinama specializuotu maitinimo šaltiniu, kuris generuoja žemo dažnio stačiakampės įtampos impulsus. Galima keisti šios įtampos impulsų dažnį f ir impulsų santykinę plotį D (skverbtį). Įtampos impulsai gaunami dviem to paties dažnio ir impulsų santykinio pločio signalais, kurie skiriasi faze $= 180^\circ$, valdomi puslaidininkiniai raktai K_A ir K_B . Jie komutuoja variklio apvijas L_A ir L_B prie nuolatinės įtampos šaltinio. Variklio apvijas maitinimo šaltinyje galima jungti keliais būdais: šuntuojančio diodo schemeje arba tiltelio įstrižainėje.



3.2 pav. a) amplitudės matavimo sistemos veikimo principas ir b) įtaiso principinė schema

Pavaros judžiosios dalies amplitudė matuojama amplitudės matavimo sistema

[94]. Amplitudės matavimo principas: ant judžiosios dalies pritvirtinto šviesos šaltinio (3.2 pav. a, 1) šviesa per blendą (3.2 pav. a, 2) projektuojama ant optinio jutiklio eilutės (3.2 pav. a, 3; 3.2 pav. b, SENSOR). Jutiklio duomenys apdorojami mikrovaldikliu (3.2 pav. b, MCU) ir siunčiami kompiuteriui.

3.1. Tyrimo prielaidos

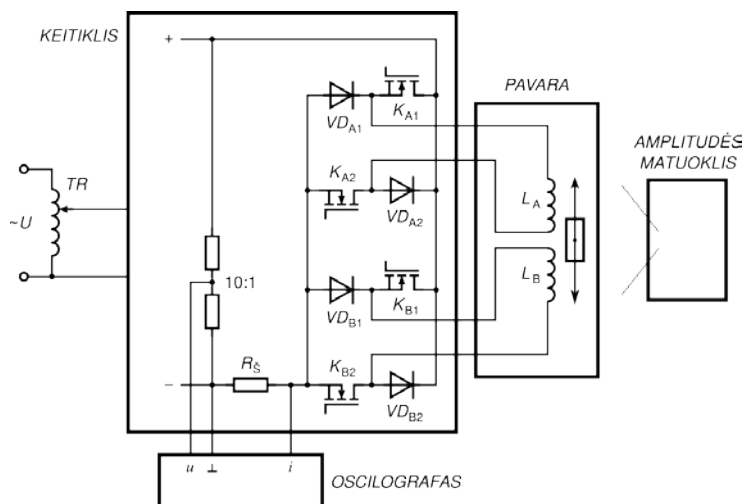
Matematiniam modelyje, remiantis fiziniu ŠJSPSP modeliu, buvo priimtos šios parametrų vertės:

- 1) pavara simetrinė – abi apvijos ir magnetinės grandinės vienuodų parametru,
- 2) judžiosios dalies masė – $m = 0,612\text{kg}$,
- 3) mechaninės sistemos standumas – $c = 35300\text{N/m}$,
- 4) mechaninės sistemos varža – $R_{\text{mch}} = 7,5\text{Ns/m}$,
- 5) maitinimo šaltinio vidinė įtampa – $E = 200\text{V}$,
- 6) maitinimo šaltinio vidaus varža – $R_{\text{m}} = 10\Omega$,
- 7) galios jungiklių komutavimo dažnis – $f = 41,33\text{Hz}$ (artimas pavaros mechaniniam rezonansui),
- 8) srovę gėsinančio varžo varža – $R_{\text{G}} = 262\Omega$,
- 9) įjungtų galios jungiklių varža – $R_{\text{K}} = 1\Omega$,
- 10) įtampos kritimas ant atviro diodo – $U_{\text{VD}} = 0,7\text{V}$,
- 11) atviro diodo įtampos kritimo priklausomybę nuo diodu tekančios srovės apibūdinanti varža – $R_{\text{VD}} = 0,3\Omega$,
- 12) pavaros apvijos ominė varža – $R_1 = 40\Omega$,
- 13) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_1 = f(h)$ minimumo koordinatė – $h_{\text{min}} = -0,0139\text{m}$, kai atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 14) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_1 = f(h)$ maksimumo koordinatė – $h_{\text{max}} = 0,0138\text{m}$, kai atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 15) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_2 = f(h)$ minimumo koordinatė – $h_{\text{min}} = -0,0141\text{m}$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 16) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_2 = f(h)$ maksimumo koordinatė – $h_{\text{max}} = 0,0139\text{m}$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 17) nuostolius apvijoje nusakančios varžos minimumas – $R_{1\text{min}} = 63\Omega$,
- 18) nuostolius apvijoje nusakančios varžos maksimumas – $R_{1\text{max}} = 245\Omega$,
- 19) magnetinius nuostolius apvijoje atskirai nusakančios varžos minimumas – $R_{2\text{min}} = 5800\Omega$,
- 20) magnetinius nuostolius apvijoje atskirai nusakančios varžos maksimumas – $R_{2\text{max}} = 9000\Omega$,
- 21) apvijos induktyvumo minimumas – $L_{\text{min}} = 0,94\text{H}$, kai atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 22) apvijos induktyvumo maksimumas – $L_{\text{max}} = 4,31\text{H}$, kai atskirai neįvertinami

magnetiniai nuostoliai.

- 23) apvijos induktyvumo minimumas – $L_{\min} = 0,948\text{H}$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 24) apvijos induktyvumo maksimumas – $L_{\max} = 4,25\text{H}$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai.

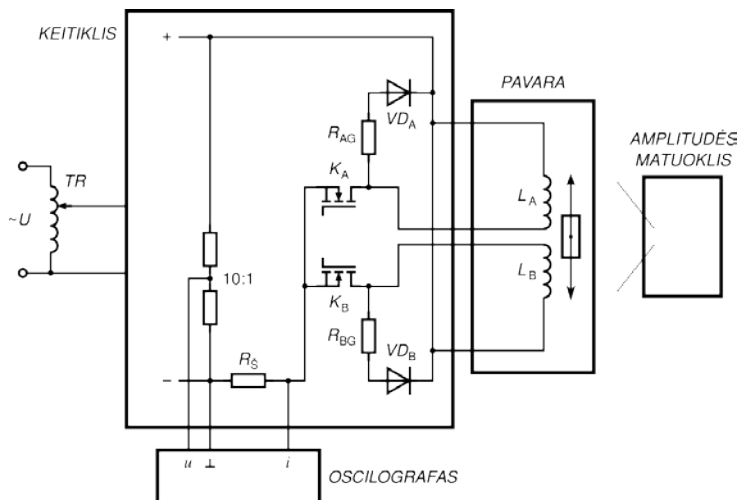
Fizinio eksperimento principinė schema, kai pavaros apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, pateikta 3.3 paveiksle.



3.3 pav. Fizinio eksperimento principinė schema, kai pavaros apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse

Pavaros apviją maitinanti šaltinio įtampos amplitudė reguliuojama autotransformatoriumi TR (3.3 pav.). Pavaros apviją L_A maitinama keitiklyje išlygintą įtampą komutuojant puslaidininkiniais jungikliais K_{A1} , K_{A2} ir atbulinės srovės diodais VD_{A1} , VD_{A2} , apviją L_B – analogiškai K_{B1} , K_{B2} ir VD_{B1} , VD_{B2} . Jungiklių atidarymo dažnis ir atidarymo santykinė trukmė reguliuojama keitikliu. Pavaros elektriniai parametrai matuojami oscilografu, matuojant maitinimo grandinės srovės ir įtampos kreives. Apžvelgus pavaros judžiosios dalies koordinatės matavimo būdus [85, 47, 54, 34], judžiosios dalies švytavių amplitudei matuoti buvo pasirinktas optinis amplitudės matuoklis [94].

Fizinio eksperimento principinė schema, kai pavaros apviją šuntuojamos diodais, pateikta 3.4 paveiksle.



3.4 pav. Fizinio eksperimento principinė schema, kai pavaros apvijų šuntuojamos diodais

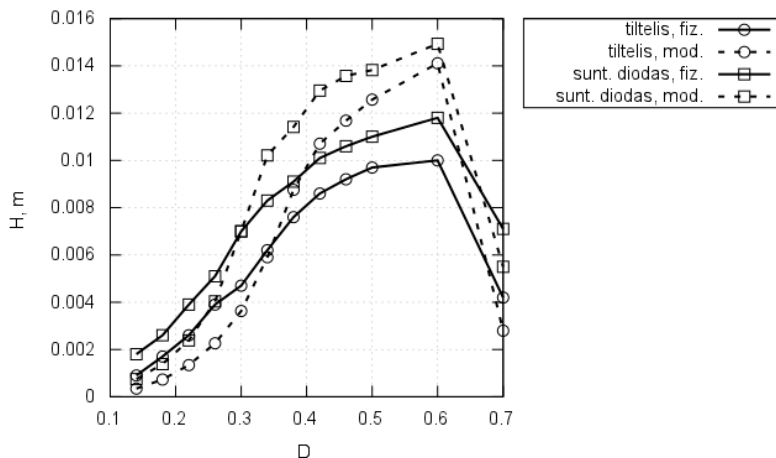
Fizinio eksperimento schema (3.4 pav.) analogiška pirma minėtai, tik skiriasi pavaros apvijų jungimo būdas: apvija komutuojama puslaidininkiniu jungikliu K ir atbulinės srovės diodu VD su srovę gesinančiu varžu R_G .

Atliekant fizinį ir matematinį eksperimentą buvo keičiama galios jungiklių įjungimo santykinė trukmė ir nusistovėjusio darbo režimo metu matuojami šie parametrai:

- 1) maitinimo šaltinio įtampa (pagal įtampos oscilogramas apskaičiuota efektinė vertė) – U_m ,
- 2) srovė maitinimo šaltinio šakoje (pagal srovės oscilogramas apskaičiuota efektinė vertė) – I_m ,
- 3) bendra aktyvioji galia (skaičiuota pagal įtampos ir srovės oscilogramas) – P_{el} ,
- 4) elektros energijos grąža maitinimo šaltiniui (apskaičiuota pagal srovės oscilogramas) – β ,
- 5) judžiosios dalies švytavimų amplitudė (matuota amplitudės matuokliu) – H .

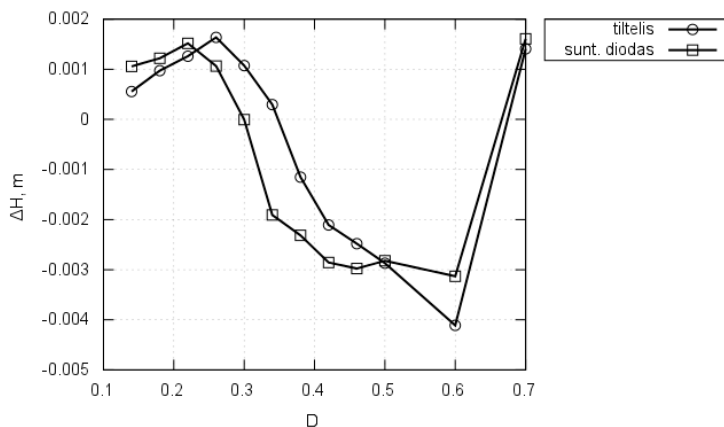
3.2. Tyrimo rezultatai

Fizinio ir matematinio eksperimento metu pavaros, kurios apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse ir šuntuojamos diodais, gautos judžiosios dalies švytavimų amplitudės priklausomybės nuo galios jungiklių įjungimo santykinės trukmės pateiktos 3.5 paveiksle. Iš pateikto grafiko matosi, kad matematinio modeliavimo ir fiziniu eksperimentu gautų kreivių, kai pavaros apvijų šuntuojamos diodais ir kai pavaros apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse, kitimo formos yra panašios.



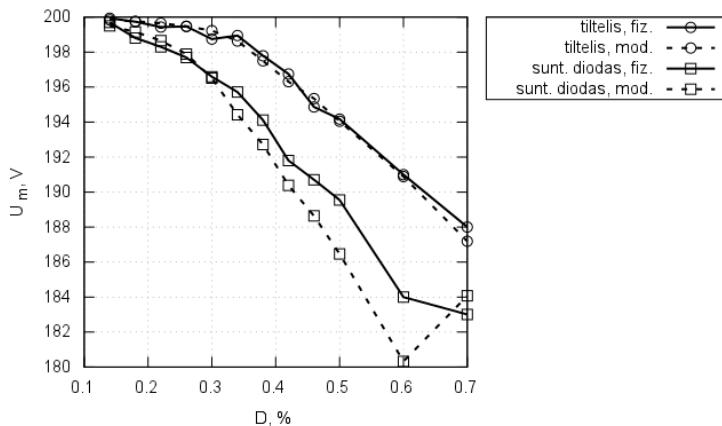
3.5 pav. Pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudės priklausomybė nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės

Fizinio ir matematinio eksperimento metu gautų pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudžių verčių skirtumai pateikti 3.6 paveiksle: skirtumai D diapazone iki 0,34 yra mažesni nei 20%, o diapazone nuo 0,34 iki 0,6 – mažesni nei 25%. Iš pateiktų grafikų galima spręsti, kad matematinio modeliavimo rezultatai artimi fizinio eksperimento rezultatams.



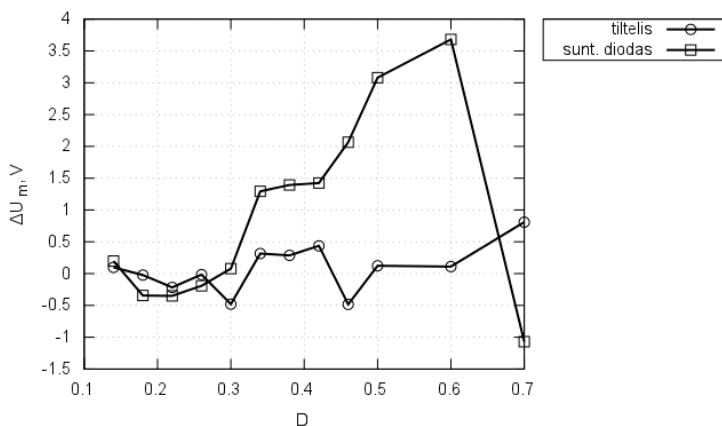
3.6 pav. Pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudės verčių skirtumų priklausomybė nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės

Maitinimo šaltinio įtampos priklausomybės nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės pateiktos 3.7 paveiksle. Iš pateikto grafiko matosi, kad matematinio modeliavimo ir fizinio eksperimentu gautų kreivių kitimo formos yra panašios.



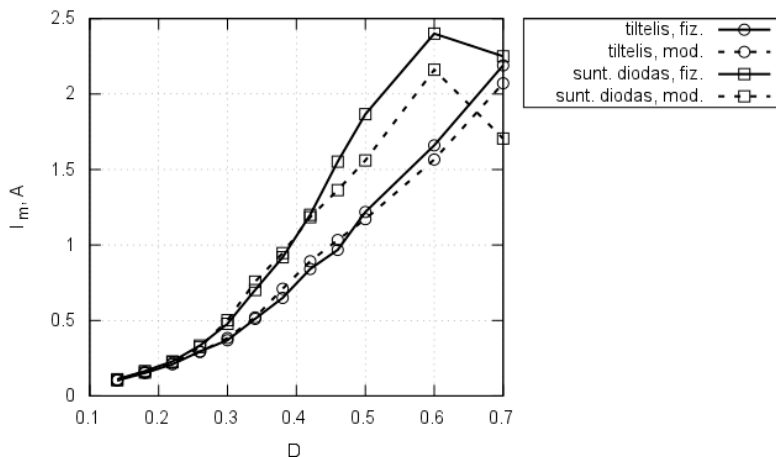
3.7 pav. Maitinimo šaltinio įtampos priklausomybės nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės

Fizinio ir matematinio eksperimento metu gautu maitinimo šaltinio įtampos verčių skirtumai pateikti 3.8 paveiksle: rezultatų skirtumas, kai pavaros apvijos šuntuojamos diodais, yra mažesnis nei 2%, o kai pavaros apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse – mažesnis nei 0,7%. Iš pateiktų grafikų galima spręsti, kad matematinio modeliavimo rezultatai artimi fizinio eksperimento rezultatams.



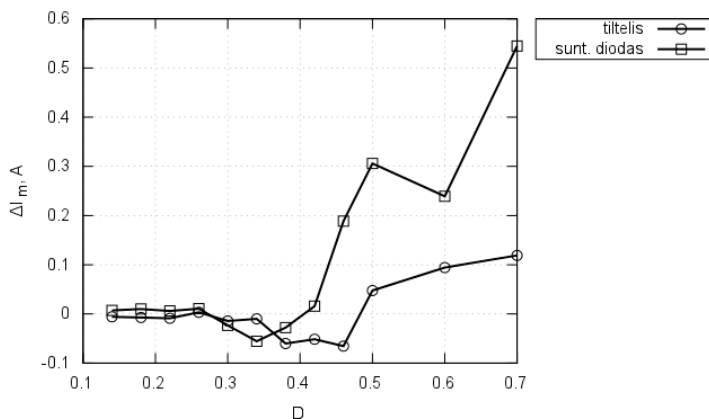
3.8 pav. Maitinimo šaltinio įtampos verčių skirtumų priklausomybė nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės

Srovės stiprio maitinimo šaltinio šakoje priklausomybės nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės pateiktos 3.9 paveiksle. Iš pateikto grafiko matosi, kad matematinu modeliavimu ir fiziniu eksperimentu gautų kreivių, kai pavaros apvijos šuntuojamos diodais ir kai pavaros apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, kitimo formos yra panašios.



3.9 pav. Srovės stiprio maitinimo šaltinio šakoje priklausomybės nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės

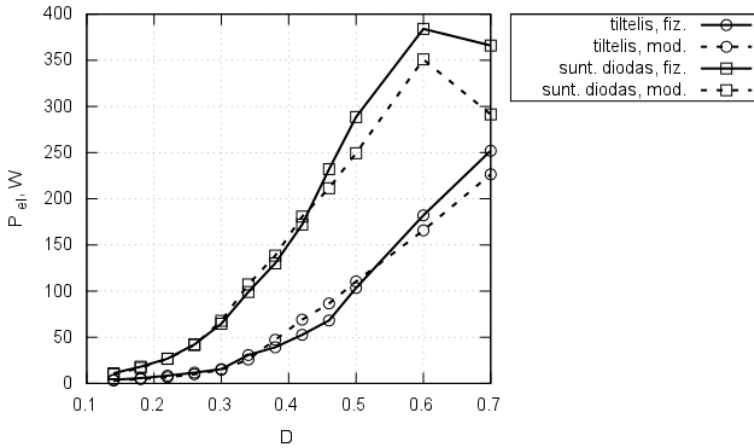
Fizinio ir matematinio eksperimento metu gautu srovės stiprio maitinimo šaltinio šakoje verčių skirtumai pateikti 3.10 paveiksle: galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės verčių diapazone iki 0,42 skirtumai yra mažesni nei 4%, o diapazone nuo 0,42 – jie yra mažesni nei 25%, kai apvijos šuntuojamos diodais, ir mažesni nei 5%, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse. Iš pateiktų grafikų galima spręsti, kad matematinio modeliavimo rezultatai artimi fizinio eksperimento rezultatams.



3.10 pav. Srovės stiprio maitinimo šaltinio šakoje verčių skirtumų priklausomybė nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės

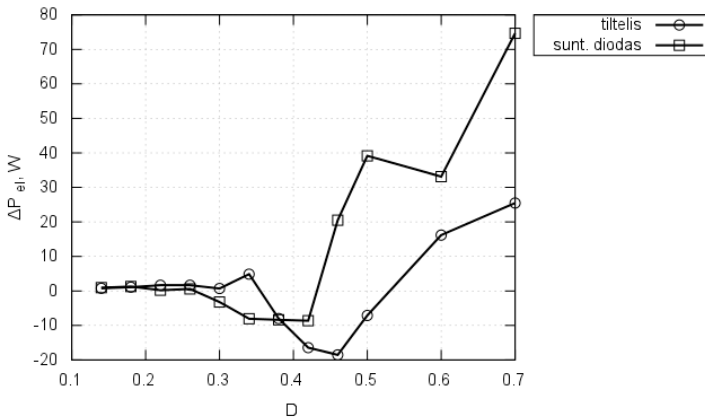
Bendros aktyviosios galios verčių priklausomybės nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės pateiktos 3.11 paveiksle. Iš pateikto grafiko matosi, kad matematinio modeliavimo ir fizinio eksperimentu gautų kreivių kitimo formos

yra panašios.



3.11 pav. Bendros aktyviosios galios priklausomybės nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės

Fizinio ir matematinio eksperimento metu gautu bendros aktyviosios galios verčių skirtumai pateikti 3.12 paveiksle: diapazone $D \leq 0,42$ skirtumai mažesni nei 5%, kai apvijos šuntuojamos diodais, ir mažesnis nei 25%, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrizainėse. Iš pateiktų grafikų galima spręsti, kad matematinio modeliavimo

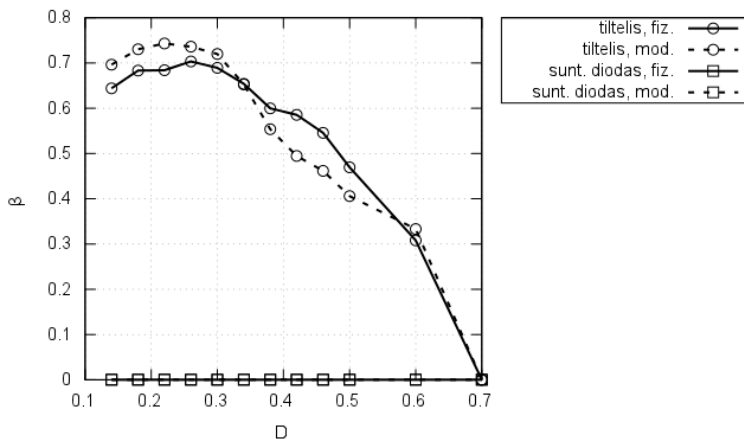


3.12 pav. Bendros aktyviosios galios verčių skirtumų priklausomybė nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės

rezultatai artimi fizinio eksperimento rezultatams.

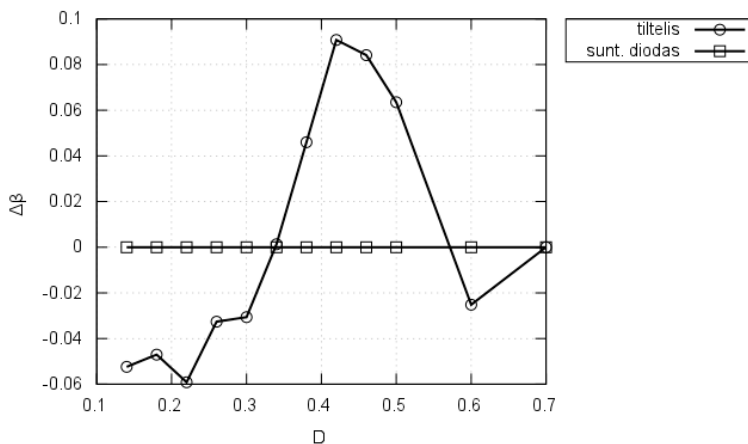
Elektros energijos gražos maitinimo šaltiniui priklausomybės nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės pateiktos 3.13 paveiksle. Iš pateikto grafiko matosi, kad matematinio modeliavimo ir fizinio eksperimentu gautų kreivių, kai

pavaros apvijoj jungiamos tiltelių įstrižainėse, kitimo formos yra panašios.



3.13 pav. Elektros energijos grąžos maitinimo šaltiniui priklausomybės nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės

Fizinio ir matematinio eksperimento metu gautu elektros energijos grąžos maitinimo šaltiniui verčių skirtumai pateikti 3.14 paveiksle: skirtumai yra mažesni nei 15%. Iš pateiktų grafikų galima spręsti, kad matematinio modeliavimo rezultatai artimi fizinio eksperimento rezultatams.



3.14 pav. Elektros energijos grąžos maitinimo šaltiniui verčių skirtumų priklausomybė nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės

Iš pateiktų grafikų galima spręsti, kad sudarytuju matematinio modeliavimo gautos pavaros elektromechaninių rodiklių vertės artimos fizinio eksperimento metu gautoms vertėms. Nepilną atitikimą lėmė įvertinti nevisi fizinio modelio netobulumai.

3.3. Skyriaus išvados ir rezultatai

1. Fiziniame eksperimente ištyrus ŠJSPSP, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir šuntuojamos diodais, nustatyta, kad pavaros elektromechaninių rodiklių kreivių kitimo charakteriai panašūs, lyginant su matematinio modeliavimu gautomis kreivėmis.
2. Fizinio ir matematinio eksperimento metu gautu maitinimo šaltinio įtampos verčių skirtumai neviršija 2%.
3. Fizinio ir matematinio eksperimento metu gautų ŠJSPSP, kurios apvijos šuntuojamos diodais, srovės stiprio maitinimo šaltinio šakoje ir bendros aktyviosios galios verčių skirtumai, kai D diapazone iki 0,3, neviršija 5%. Tiriant pavarą, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, minėtų parametrų verčių skirtumai neviršija 5%.
4. Galima tvirtinti, kad matematinis modelis artimas fiziniam.

4. ŠJSPSP APVIJOS EKVIVALENTINIŲ SCHEMŲ ĮVERTINIMAS

Galimos švytuojamojo judesio pulsuojamąsios srovės sinchroninio variklio apvijos ekvivalentinės schemas:

- 1) nuosekliai sujungta varža, kuria įvertinami nuostoliai apvijoje, ir induktyvumu; jų vertės priklauso nuo pavaros judžiosios dalies padėties;
- 2) lygiagrečiai induktyvumui prijungta varža (antrinis kontūras), kuria atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai variklio magnetinėje grandinėje, ir prie jų nuosekliai prijungtu elektrinius nuostolius apvijos laide apibūdinančiu varžu; induktyvumas ir magnetinių nuostolių varža priklauso nuo pavaros judžiosios dalies padėties.

Ankstesniuose darbuose [24] buvo tiriama, kokią įtaką skaičiavimo rezultatams turi ekvivalentinis uždarysis kontūras, t.y., magnetinius nuostolius pavaros magnetolaidyje atskirai įvertinanti varža R_2 (priimta pastovi). Buvo prieita išvados, kad įvertinus antrinį kontūrą skaičiavimai tikslesni, tačiau matematinio modelio supaprastinimui jo galima neįvertinti.

Kaip jau minėta, pavaros matematiniam modelyje apvijos ekvivalentinėje schemoje magnetinius nuostolius atskirai įvertinančios varžos R_2 , kaip ir visus nuostolius įvertinančios varžos R_1 (schemoje be antrinio kontūro), priklausomybė nuo pavaros judžiosios dalies koordinatės yra sinusinė. Iki šiol šis faktorius moksliniuose darbuose dar nebuvo įvertinamas.

Šiame skyriuje tiriama kokią įtaką modeliavimo rezultatų tikslumui turi magnetinius nuostolius atskirai įvertinanti varža, kai modeliuojama pavara tiltelio įstrižainėse įjungtomis apvijomis ir diodais šuntuojamomis apvijomis.

4.1. Modeliavimo paklaidos, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse

Pirma pateikiami magnetinius nuostolius atskirai įvertinančios varžos įtaka modeliavimo rezultatams, kai modeliuojama pavara, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse. Pavaros parametrai matematiniam modelyje, priimti pagal fizinį ŠJSPSP modelį:

- 1) variklis simetrinis – abi apvijos ir magnetinės grandinės vienodų parametrų,
- 2) judžiosios dalies masė – $m = 0,612\text{kg}$,
- 3) mechaninės sistemos standumas – $c = 35300\text{N/m}$,
- 4) įtampos šaltinio vidinė įtampa – $E = 200\text{V}$,
- 5) įtampos šaltinio vidaus varža – $R_m = 10\Omega$,
- 6) galios jungiklių komutavimo dažnis – $f = 36,152\text{Hz}$,
- 7) įjungtų galios jungiklių varža – $R_K = 1\Omega$,
- 8) įtampos kritimas ant atviro diodo – $U_{VD} = 0,7\text{V}$,
- 9) atviro diodo įtampos kritimo priklausomybę nuo diodu tekančios srovės apibūdinanti varža – $R_{VD} = 0,3\Omega$,
- 10) pavaros apvijos ominė varža – $R_1 = 40\Omega$,

- 11) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_1 = f(h)$ minimumo koordinatė – $h_{\min} = -0,0139\text{m}$, kai atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 12) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_1 = f(h)$ maksimumo koordinatė – $h_{\max} = 0,0138\text{m}$, kai atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 13) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_2 = f(h)$ minimumo koordinatė – $h_{\min} = -0,0141\text{m}$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 14) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_2 = f(h)$ maksimumo koordinatė – $h_{\max} = 0,0139\text{m}$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 15) nuostolius apvijoje nusakančios varžos minimumas – $R_{1\min} = 63\Omega$,
- 16) nuostolius apvijoje nusakančios varžos maksimumas – $R_{1\max} = 245\Omega$,
- 17) magnetinius nuostolius apvijoje atskirai nusakančios varžos minimumas – $R_{2\min} = 5800\Omega$,
- 18) magnetinius nuostolius apvijoje atskirai nusakančios varžos maksimumas – $R_{2\max} = 9000\Omega$,
- 19) apvijos induktyvumo minimumas – $L_{\min} = 0,94\text{H}$, kai atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 20) apvijos induktyvumo maksimumas – $L_{\max} = 4,31\text{H}$, kai atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai.
- 21) apvijos induktyvumo minimumas – $L_{\min} = 0,948\text{H}$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 22) apvijos induktyvumo maksimumas – $L_{\max} = 4,25\text{H}$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai.

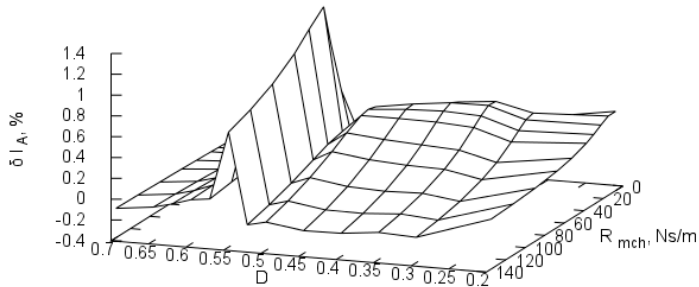
Švytuojamosiose pavarose energija apkrovai efektyviausiai perduodama mechaninio rezonanso metu, todėl siekiama, kad pavara dirbtų rezonansiniu dažniu [71, 32, 91].

Jungiklių komutavimo dažnis nustatytas pagal pavaros savąjį mechaninį dažnį, kurį nusako mechaninės sistemos varža, tamprumas ir judžiosios dalies masė ($f_0 = 1/2\pi\sqrt{c/m - R_{\text{mch}}^2/2m^2}$).

Galios jungiklių komutavimo dažnis eksperimento metu nekito, jis buvo nustatytas pavarai, apkrautai nominalia mechaninės sistemos varža – $R_{\text{mch}} = 65,5\text{Ns/m}$.

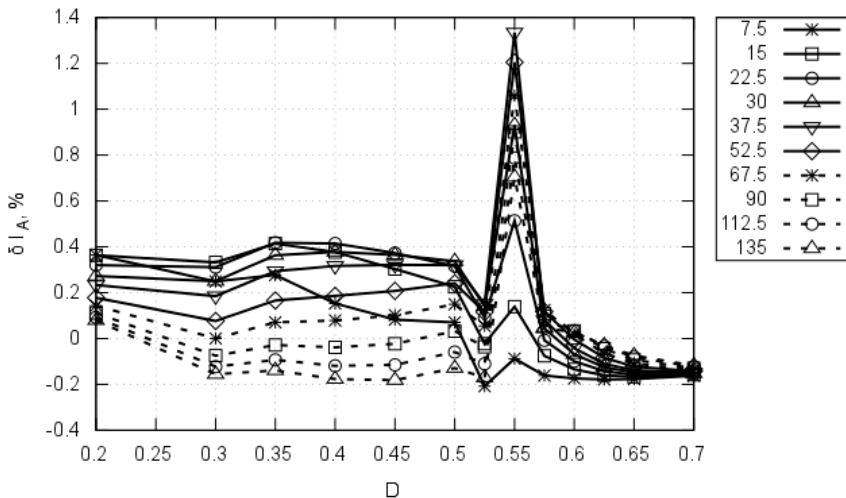
Eksperimento metu buvo keičiama jungikliu įjungimo santykinė trukmė D ir pavaros apkrova R_{mch} . Pavaros parametrai buvo skaičiuojami nusistovėjus pavaros darbo pereinamajam vyksmui.

Toliau pateikiami modeliavimo rezultatų paklaidų grafikai. Santykinė paklaida skaičiuota modelio, kuriame atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai, rezultatams atžvilgiu modelio, kuriame magnetiniai nuostoliai įvertinti atskirai, rezultatams.



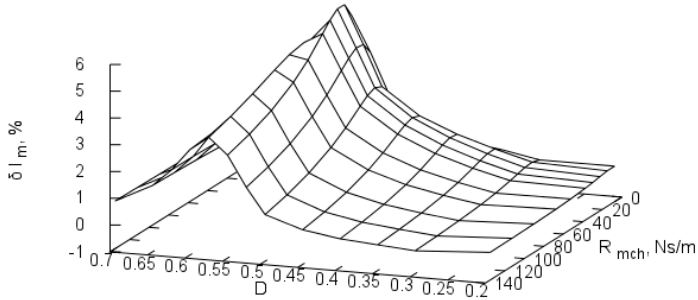
4.1 pav. Srovės stiprio apvijos A šakoje santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.1 ir 4.2 pateikti grafikai, rodantys kaip, priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos, kinta srovės stiprio vienoje iš pavaros apvijos šakų santykinė paklaida.



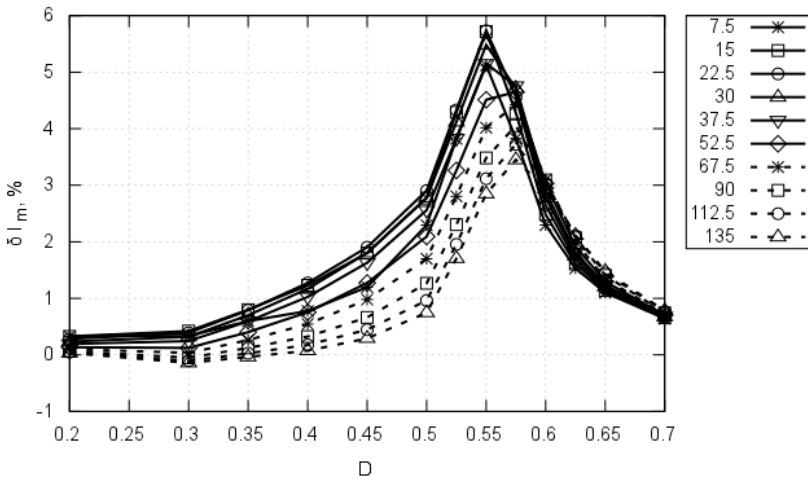
4.2 pav. Srovės stiprio apvijos A šakoje santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projektija $D-\delta I_A$

Iš modeliavimo rezultatų (4.1 ir 4.2 pav.) matosi, kad srovės stiprio apvijos šakoje santykinė paklaida nėra žymi, ji turi didžiausią piką ties $D = 0,55$.



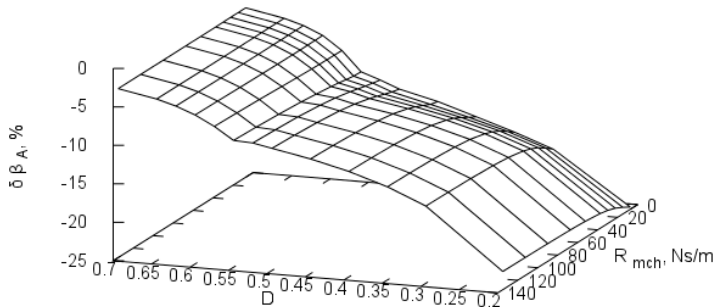
4.3 pav. Srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.3 ir 4.4 pateikti grafikai, rodantys kaip, priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos, kinta srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje santykinė paklaida.



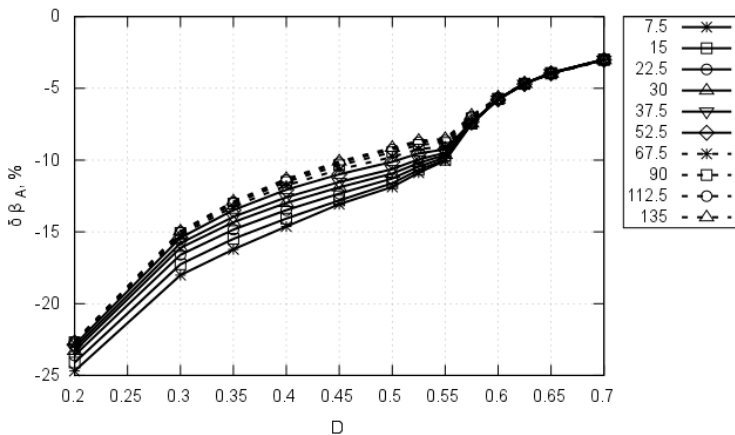
4.4 pav. Srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projektcija D - δI_m

Iš modeliavimo rezultatų (4.3 ir 4.4 pav.) matosi, kad srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje santykinė paklaida nėra labai žymi, ji turi piką ties $D = 0,55 \dots 0,58$.



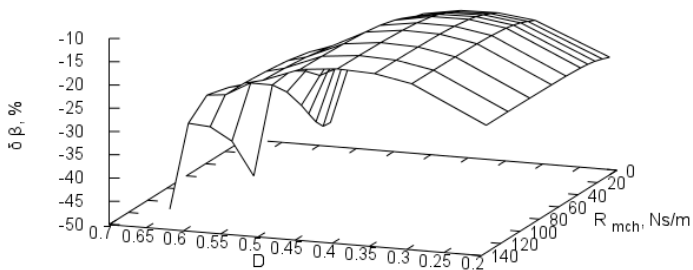
4.5 pav. Elektros energijos grąžos iš vienos iš pavaros apvijų faktoriaus santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.5 ir 4.6 pateikti grafikai, rodantys kaip, priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos kinta elektros energijos grąžos faktoriaus iš vienos iš pavaros apvijų santykinė paklaida.



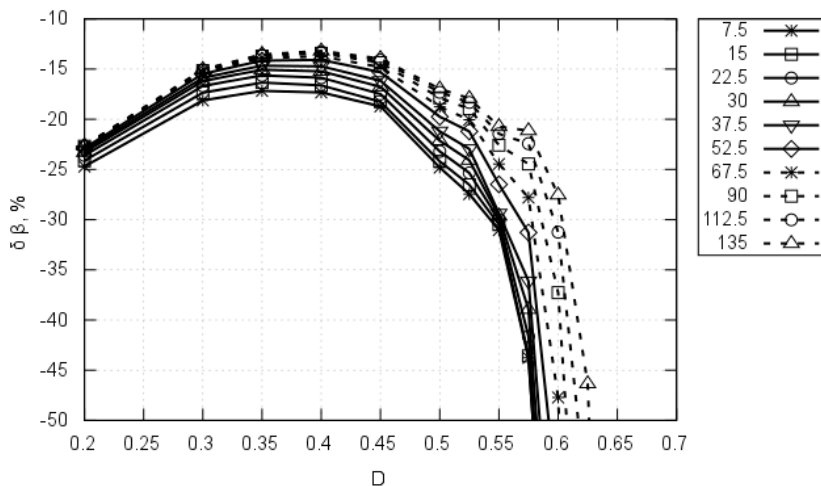
4.6 pav. Elektros energijos grąžos iš vienos iš pavaros apvijų faktoriaus santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projektija D - $\delta\beta_A$

Iš modeliavimo rezultatų (4.5 ir 4.6 pav.) matosi, kad energijos grąžos iš pavaros apvijų faktoriaus santykinė paklaida žymi. Ji didėja mažinant jungiklių santykinę įjungimo trukmę.



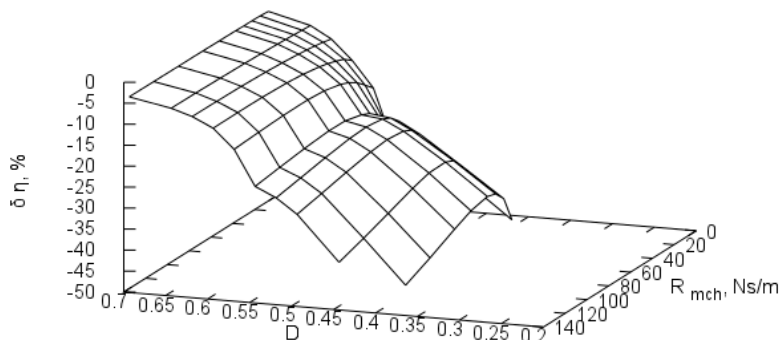
4.7 pav. Elektros energijos grąžos į maitinimo šaltinį faktoriaus santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.7 ir 4.8 pateikti grafikai, rodantys kaip, priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos kinta, elektros energijos grąžos į maitinimo šaltinį faktoriaus santykinė paklaida.



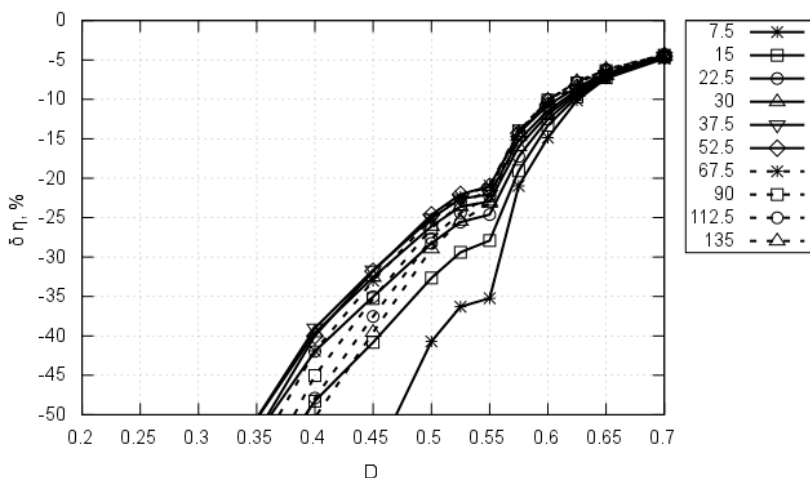
4.8 pav. Elektros energijos grąžos į maitinimo šaltinį faktoriaus santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projektcija D - $\delta\beta$

Iš modeliavimo rezultatų (4.7 ir 4.8 pav.) matosi, kad elektros energijos grąžos į maitinimo šaltinį faktoriaus santykinė paklaida nebūna mažesnė nei 18%. Raktų santykinėi įjungimo trukmei esant didesnei nei 0,55 paklaida nepriimtina didėja.



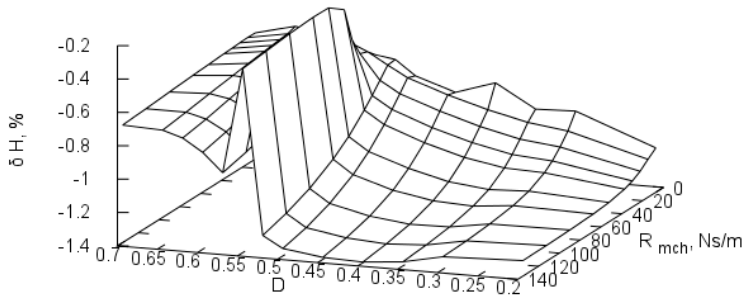
4.9 pav. Pavaros naudingumo faktoriaus santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.9 ir 4.10 pateikti grafikai, rodantys kaip, priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos kinta pavaros naudingumo faktoriaus santykinė paklaida.



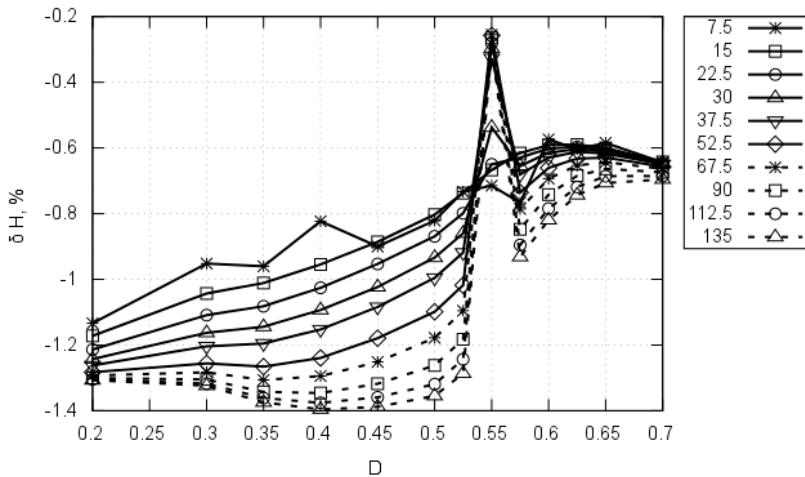
4.10 pav. Pavaros naudingumo faktoriaus santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projektija D - $\delta\eta$

Iš modeliavimo rezultatų (4.9 ir 4.10 pav.) matosi, kad naudingumo faktoriaus santykinė paklaida labai didėja mažėjant jungiklių santykiniai įjungimo trukmei. Jungiklių santykiniai įjungimo trukmei esant mažesnei nei 0,55 paklaida yra nepriimtina didelė.



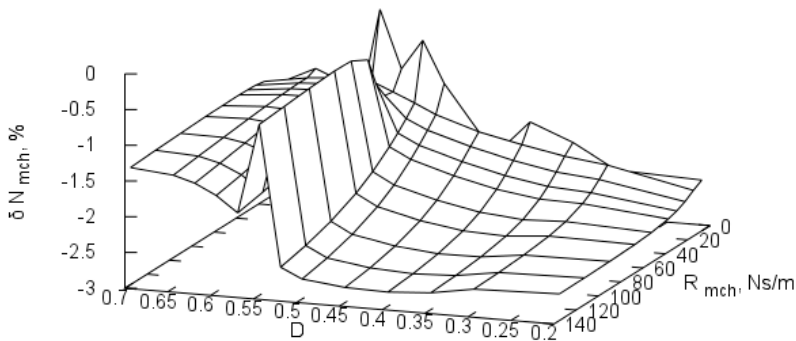
4.11 pav. Pavaros judžiosios dalies švytvimų amplitudės santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.11 ir 4.12 pateikti grafikai, rodantys kaip, priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos kinta pavaros judžiosios dalies švytvimų amplitudės santykinė paklaida.



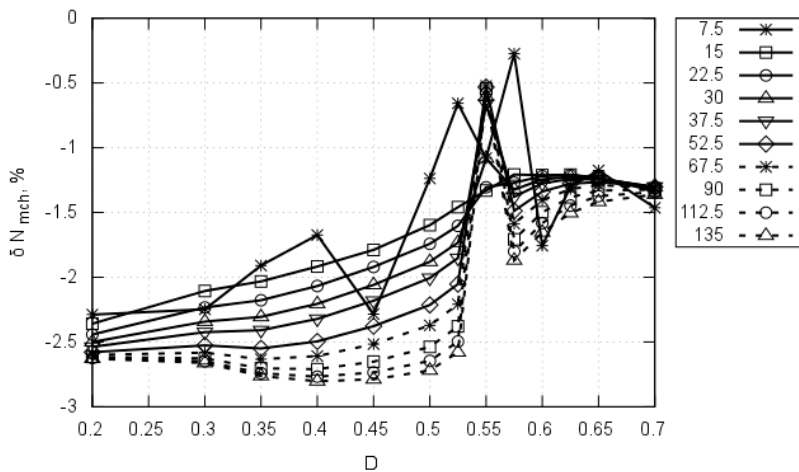
4.12 pav. Pavaros judžiosios dalies švytvimų amplitudės santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projektcija D - δH

Iš modeliavimo rezultatų (4.11 ir 4.12 pav.) matosi, kad švytvimų amplitudės santykinė paklaida nėra žymi.



4.13 pav. Pavaros išvystomos mechaninės galios santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.13 ir 4.14 pateikti grafikai, rodantys kaip, priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos kinta pavaros išvystomos mechaninės galios santykinė paklaida.



4.14 pav. Pavaros išvystomos mechaninės galios santykinės procentinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projektcija D - δN_{mch}

Iš modeliavimo rezultatų (4.13 ir 4.14 pav.) matosi, kad mechaninės galios santykinė paklaida nėra labai žymi.

4.2. Modeliavimo trukmė, kai apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse

Siekiant nustatyti, kokią įtaką skaičiavimų trukmei turi magnetinius nuostolius atskirai įvertinanti varža modelyje, kuriame modeliuojamos pavaros apvijos įjungtos tiltelių įstrižainėse, buvo atliekama keletas identiškų skaičiavimų ir matuojama jų trukmė.

Modelio parametrai tokie pat kaip ankstesniame skyriuje, tik mechaninė apkrova $R_{mch} = 22,5Ns/m$ ir jungiklių santykinė įjungimo trukmė $D = 0,3$. Modeliuojamas buvo vienos sekundės trukmės pavaros darbas, modeliavimo žingsnių kiekis – 10000.

Skaičiavimai buvo atliekami personaliniu kompiuteriu, kuriame įdiegtas dviejų branduolių Intel 2GHz taktinio dažnio procesorius, 2GB operatyvios atminties ir Kubuntu 11.04 operacinė sistema.

Skaičiavimai užtruko 88 sekundes, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai, o jų atskirai neįvertinus – 75 sekundes. Skaičiavimų trukmė sutrumpėjo nežymiai – 15%.

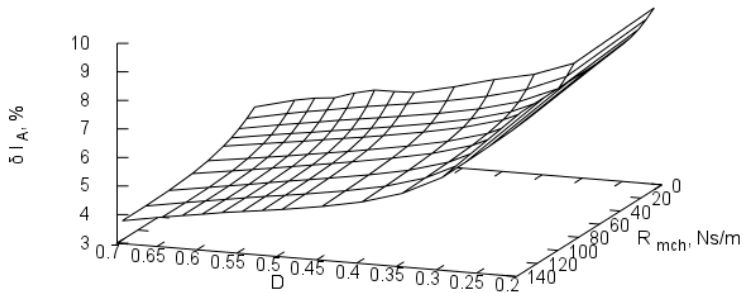
4.3. Modeliavimo paklaidos, kai apvijos šuntuojamos diodais

Toliau pateikiama magnetinius nuostolius įvertinančios varžos įtaka modeliavimo rezultatams, kai modeliuojama pavara, kurios apvijos šuntuojamos diodais.

Pavaros parametrai tokie pat kaip ir pavaros, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, papildomas parametras – srovę gesinančio varžo varža – $R_G = 400\Omega$, kurios parinkimas aprašytas 5 skyriuje.

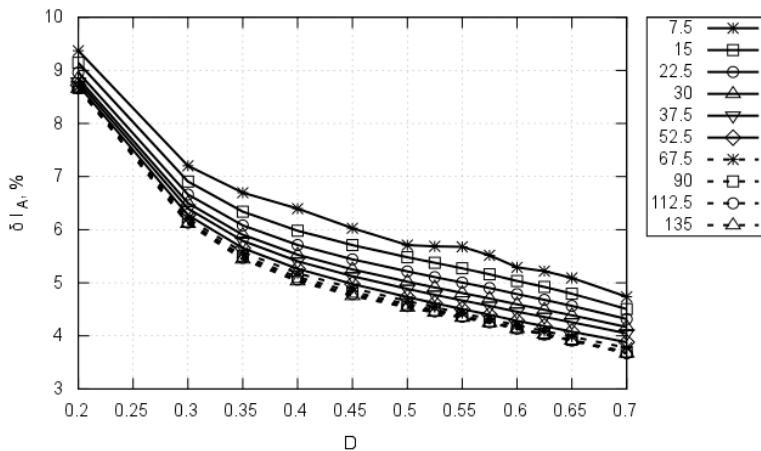
Eksperimento metu, keičiama jungiklių įjungimo santykinė trukmė D ir pavaros apkrova R_{mch} .

Pateikiami modeliavimo rezultatų paklaidų grafikai. Kaip ir praeito eksperimento atveju, santykinė paklaida skaičiuota modelio, kuriame atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai, rezultatams atžvilgiu modelio, kuriame magnetiniai nuostoliai įvertinami atskirai, rezultatams.



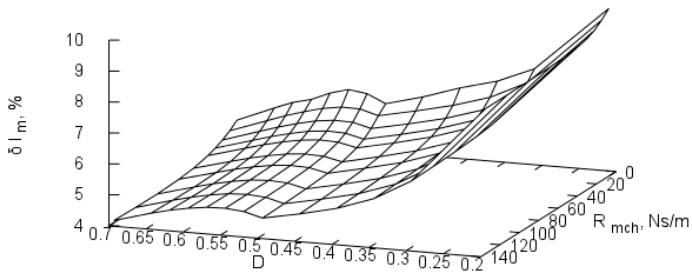
4.15 pav. Srovės stiprio apvijos A šakoje santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.15 ir 4.16 pateikti grafikai, rodantys, kaip priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos kinta srovės stiprio vienoje iš pavaros apvijos šakų santykinė paklaida.



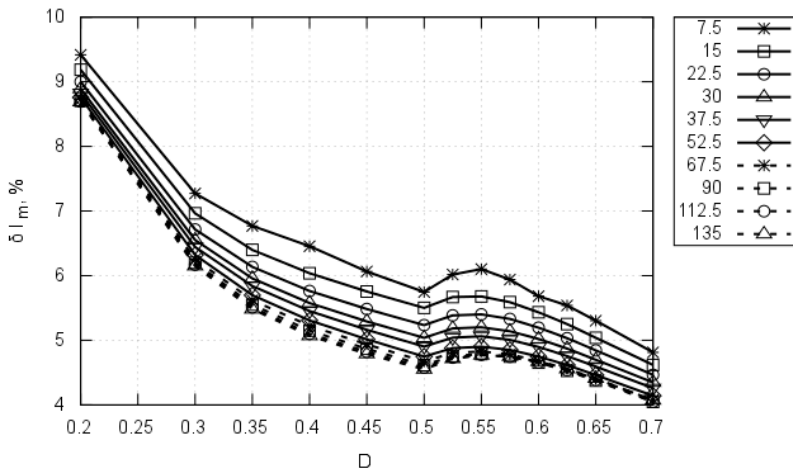
4.16 pav. Srovės stiprio apvijos A šakoje santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projekcija $D-\delta|A$

Iš modeliavimo rezultatų (4.15 ir 4.16 pav.) matosi, kad srovės apvijos šakoje santykinė paklaida nėra labai žymi.



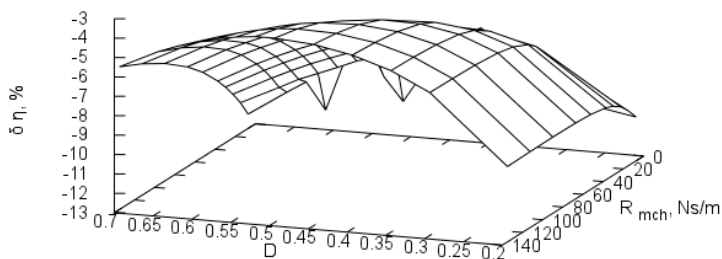
4.17 pav. Srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.17 ir 4.18 pateikti grafikai, rodantys kaip, priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos, kinta srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje santykinė paklaida.



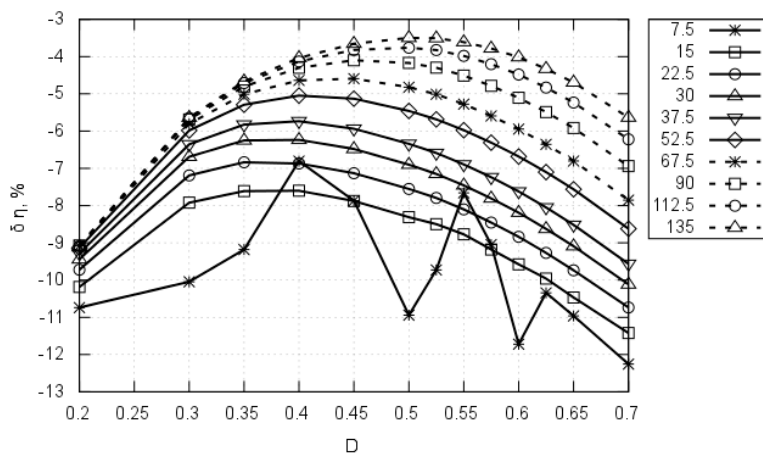
4.18 pav. Srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projektija D - δI_m

Iš modeliavimo rezultatų (4.17 ir 4.18 pav.) matosi, kad srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje santykinė paklaida nėra labai žymi, ji didėja mažinant jungiklių santykinę įjungimo trukmę.



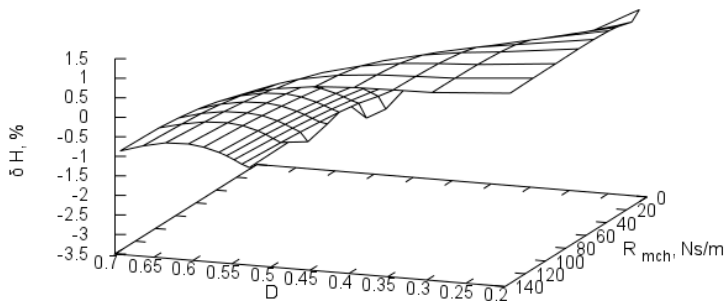
4.19 pav. Pavaros naudingumo faktoriaus santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.19 ir 4.20 pateikti grafikai, rodantys kaip, priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos kinta pavaros naudingumo faktoriaus santykinė paklaida.



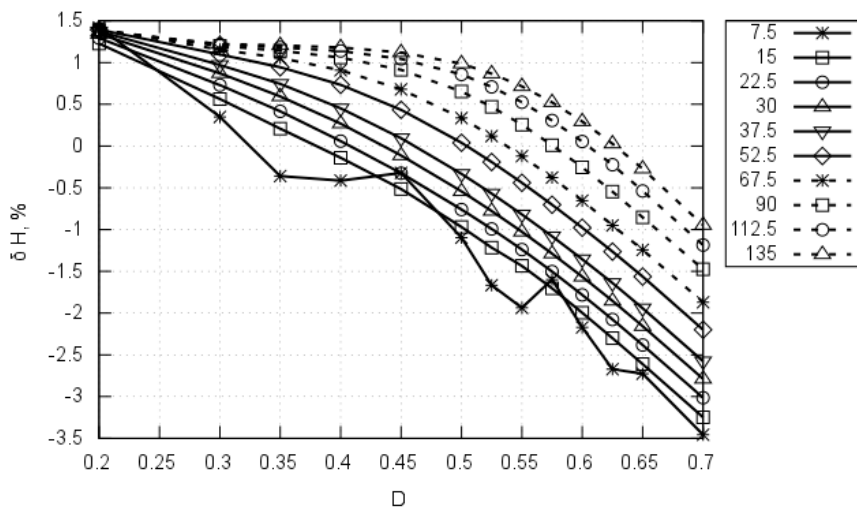
4.20 pav. Pavaros naudingumo faktoriaus santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projektija D - $\delta\eta$

Iš modeliavimo rezultatų (4.19 ir 4.20 pav.) matosi, kad naudingumo faktoriaus santykinė paklaida nėra itin žymi, ji nėra didesnė nei 12%.



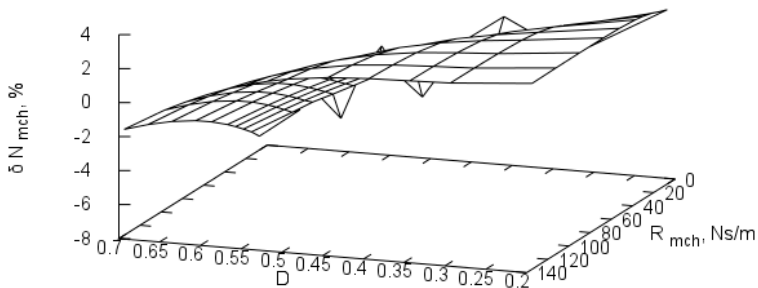
4.21 pav. Pavaros judžiosios dalies švytvimų amplitudės santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.21 ir 4.22 pateikti grafikai, rodantys kaip, priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos kinta pavaros judžiosios dalies švytvimų amplitudės santykinė paklaida.



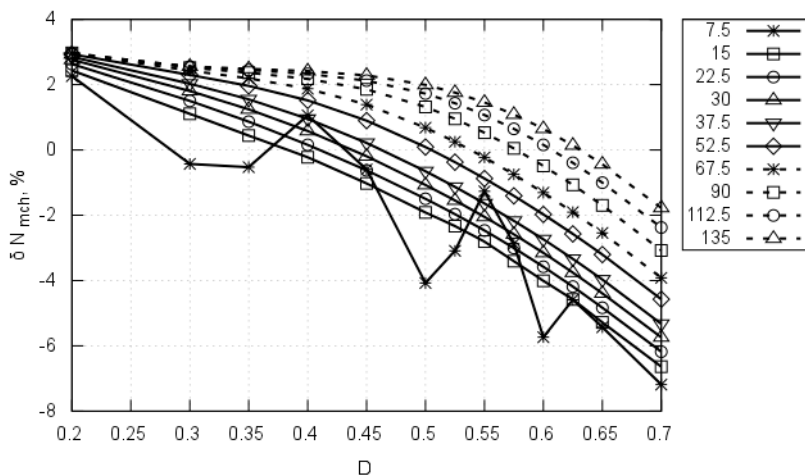
4.22 pav. Pavaros judžiosios dalies švytvimų amplitudės santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projektija D - δH

Iš modeliavimo rezultatų (4.21 ir 4.22 pav.) matosi, kad švytvimų amplitudės santykinė paklaida nėra žymi, ji neviršija 1,5% kai jungiklių santykinė įjungimo trukmė yra mažesnė nei 0,55.



4.23 pav. Pavaros išvystomos mechaninės galios santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch}

Paveiksluose 4.23 ir 4.24 pateikti grafikai, rodantys kaip, priklausomai nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir nuo pavaros aktyviosios apkrovos kinta pavaros išvystomos mechaninės galios santykinė paklaida.



4.24 pav. Pavaros išvystomos mechaninės galios santykinės paklaidos priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Projektija D - δN_{mch}

Iš modeliavimo rezultatų (4.23 ir 4.24 pav.) matosi, kad mechaninės galios santykinė paklaida nėra labai žymi, ji neviršija 3%, kai jungiklių santykinė įjungimo trukmė yra mažesnė nei 0,55.

4.4. Modeliavimo trukmė, kai apvijos šuntuojamos diodais

Siekiant nustatyti, kokią įtaką skaičiavimų trukmei turi magnetinius nuostolius atskirai įvertinanti varža modelyje, kuriame modeliujamos pavaros apvijos šuntuojamomis diodais, buvo atliekama keletas identiškų skaičiavimų ir matuojama jų trukmė.

Modelio parametrai tokie pat kaip ankstesniame skyriuje, tik srovę gesinantis varžas $R_G = 400\Omega$, mechaninė apkrova $R_{mch} = 22,5Ns/m$ ir jungiklių santykinė įjungimo trukmė $D = 0,3$. Modeliuojama buvo vienos sekundės trukmės pavaros darbas, modeliavimo žingsnių kiekis – 10000.

Skaičiavimai buvo atliekami personaliniu kompiuteriu, kuriame įdiegtas dviejų branduolių Intel 2GHz taktinio dažnio procesorius, 2GB operatyvios atminties ir Kubuntu 11.04 operacinė sistema.

Skaičiavimai užtruko 73 sekundes, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai, o jų atskirai neįvertinus – 61 sekundes. Skaičiavimų trukmė sutrumpėjo nežymiai – 16%.

4.5. Skyriaus išvados ir rezultatai

1. Siekiant supaprastinti matematinį modelį, pavaros, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, variklio apvijos ekvivalentinę schemą, kurioje magnetiniai nuostoliai neįvertinami atskira varža, naudoti galima tada, kai skaičiuojama srovė vienoje iš pavaros apvijos šakų, srovė nuolatinės įtampos šaltinio šakoje, pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudė ir pavaros išvystoma mechaninė galia. Šiais atvejais santykinė paklaida neviršija 5%. Skaičiuojant elektros energijos gražos faktorių ir naudingumo faktorių santykinės paklaidos yra nepriimtina didelės.
2. Pavaros, kurios apvijos šuntuojamos diodais, modelyje, siekiant pastarąjį supaprastinti, galima naudoti apvijos ekvivalentinę magnetinius nuostolius atskirai neįvertinančią schemą. Tuo atveju santykinės paklaidos neviršija 10%, kai skaičiuojama srovė nuolatinės įtampos šaltinio šakoje, srovė pavaros apvijos šakoje, pavaros naudingumo faktorius, pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudė, ir pavaros išvystoma mechaninė galia.
3. Modeliuojant pulsuojamąsias srovės variklius ir siekiant tikslesnių modeliavimo rezultatų būtina naudoti variklio apvijos ekvivalentinę schemą, kurioje atskira varža įvertinami magnetiniai nuostoliai.
4. Siekis sutrumpinti modeliavimo trukmę supaprastinant modelį, t. y. naudojant variklio ekvivalentinę magnetinius nuostolius atskiru varžu neįvertinančią schemą, nėra racionalus. Modeliavimo trukmė sumažėja nežymiai (modeliuojant 1s pavaros darbo trukmę ir naudojant 10000 modeliavimo žingsnių – skaičiavimai sutrumpėja 15%).

5. SROVĖ GESINANČIO VARŽO ĮTAKA ŠJSPSP MAITINIMO SCHEMOJE SU ŠUNTUOJANČIAIS DIODAIS

Pavaros maitinimo schemoje, kurioje pavaros apvijos šuntuojamos diodu, yra srovę gesinantis elementas – varžas R_G . Išjungus pavaros apviją komutuojančią raktą, šiame varže (taip pat ir apvijos ominiėje varžoje) pavaros magnetiniame lauke sukaupta energija verčiama šiluma.

Šio varžo varža turi pavaros elektromechaniniams rodikliams. Mažinant varžą, srovė slops lėčiau – tekančios per pavaros apviją srovės nuolatinė dedamoji didės, dėl mažesnės srovės amplitudės mažės judžiosios dalies švytavimų amplitudė. Taip pat didės pavaros magnetolaidžio įsotinimas – siaurės srovės leistinos kitimo ribos. Be to, mažinant srovės gesinimo varžą didės pavaros apvijos ominiėje varžoje šiluma verčiama magnetinio lauko energijos dalis – apvijos turėtų kaisti kuo mažiau. Didinant srovę gesinančio varžo varžą, dėl pavaros apvijos saviindukcijos, didės ant varžo krentanti įtampa, reikės kelti pavaroje naudojamų elementų atsparumą pramušimui įtampa.

Prieš lyginant pavaros maitinimo būdus, kai pavaros apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse ir kai apvijos šuntuojamos diodu, būtina parinkti tokią srovę gesinančio varžo vertę, kad pavaros elektromechaniniai rodikliai (judžiosios dalies švytavimų amplitudė H , naudingumo faktorius η) būtų aukščiausi.

5.1. Eksperimento planas

Pavaros parametrai matematiname modelyje priimti pagal fizinių ŠJSPSP modelį, aprašytą 3 skyriuje:

- 1) pavara simetrinė – abi apvijos ir magnetinės grandinės vienodų parametru,
- 2) judžiosios dalies masė – $m = 0,612\text{kg}$,
- 3) mechaninės sistemos standumas – $c = 35300\text{N/m}$,
- 4) įtampos šaltinio vidinė įtampa – $E = 200\text{V}$,
- 5) įtampos šaltinio vidaus varža – $R_m = 10\Omega$,
- 6) galios jungiklių komutavimo dažnis – $f = 36,152\text{Hz}$,
- 7) įjungtų galios jungiklių varža – $R_K = 1\Omega$,
- 8) įtampos kritimas ant atviro diodo – $U_{VD} = 0,7\text{V}$,
- 9) atviro diodo įtampos kritimo priklausomybę nuo diodu tekančios srovės apibūdinanti varža – $R_{VD} = 0,3\Omega$,
- 10) pavaros apvijos ominė varža – $R_l = 40\Omega$,
- 11) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_2 = f(h)$ minimumo koordinatė – $h_{\min} = -0,0141\text{m}$,
- 12) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_2 = f(h)$ maksimumo koordinatė – $h_{\max} = 0,0139\text{m}$,
- 13) magnetinius nuostolius apvijoje atskirai nusakančios varžos minimumas –

$$R_{2\min} = 5800\Omega,$$

14) magnetinius nuostolius apvijoje atskirai nusakančios varžos maksimumas –

$$R_{2\max} = 9000\Omega,$$

15) apvijų induktyvumo minimumas – $L_{\min} = 0,948H$,

16) apvijų induktyvumo maksimumas – $L_{\max} = 4,25H$.

Jungiklių komutavimo dažnis nustatytas pagal pavaros savąjį mechaninį dažnį.

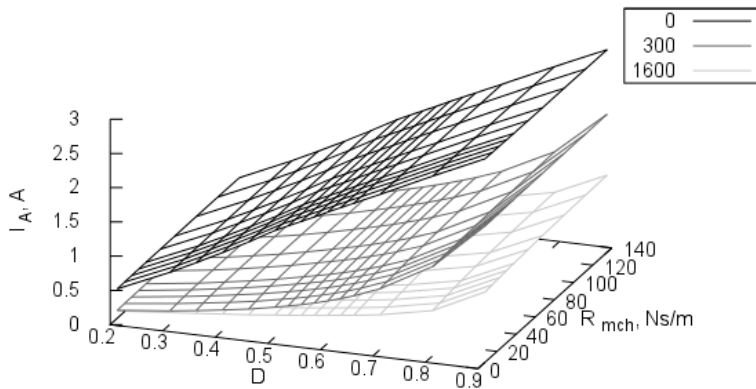
Komutavimo dažnis matematinio eksperimento metu nekito, jis buvo nustatytas pavarai, apkrautai nominalia mechaninės sistemos varža – $R_{\text{mch}} = 65,5\text{Ns/m}$.

Eksperimento metu, keičiant srovę gesinančio varžo R_G vertę, buvo keičiama jungikliu įjungimo santykinė trukmė D ir pavaros apkrova R_{mch} . Pavaros parametrai buvo skaičiuojami nusistovėjus pavaros darbo pereinamajam vyksmui.

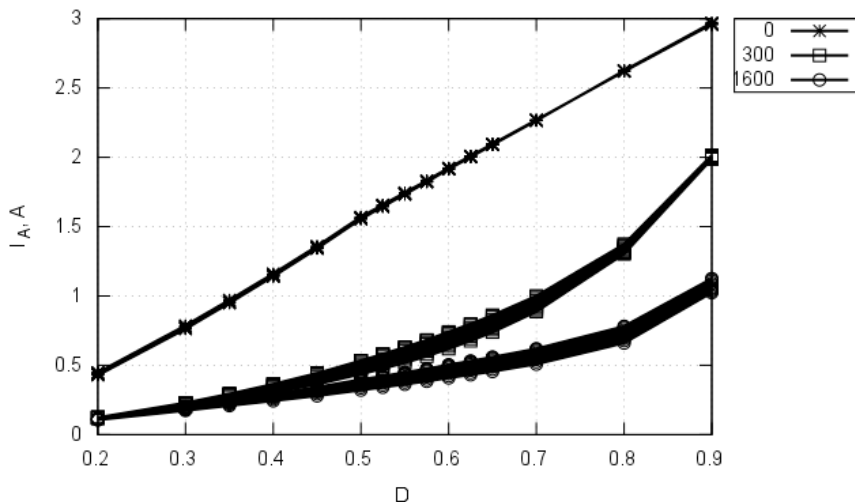
Esant skirtingoms R_G vėrtėms, buvo ieškoma modeliavimo pasėkoje gautų pavaros elektromechaninių parametų vėrėių maksimumų.

5.2. Eksperimento rezultatai

Vienoje iš pavaros apvijų tekančios srovės priklausomybės nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir mechaninės aktyviosios apkrovos pateiktos 5.1 ir 5.2 paveiksluose.

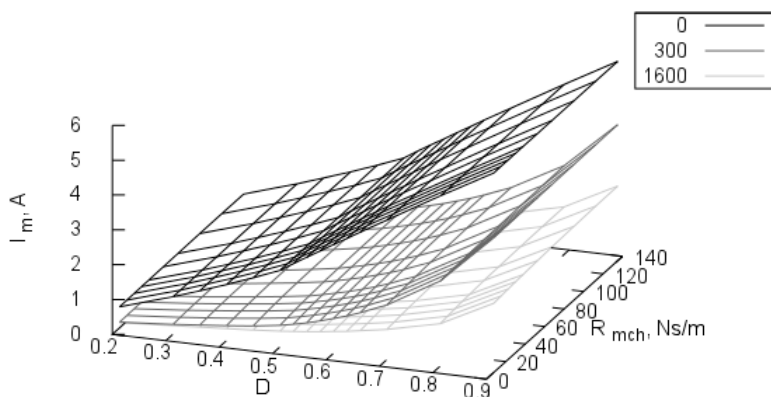


5.1 pav. Srovės stiprio apvijų L_A šakoje priklausomybės nuo D ir R_{mch} , esant įvairioms R_G vėrtėms

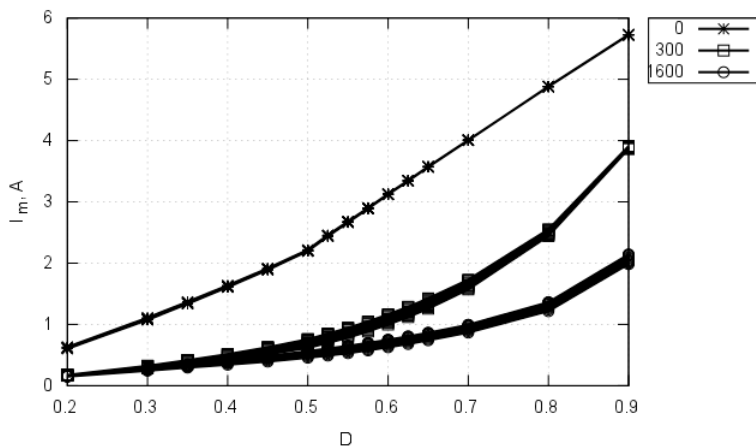


5.2 pav. Srovės stiprio apvijos L_A šakoje priklausomybės nuo D ir R_{mch} , esant įvairioms R_G vertėms. Projektija $D-I_A$

Srovės, tekančios nuolatinės įtampos šaltinio šakoje, priklausomybės nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir mechaninės aktyviosios apkrovos, kuri pateikta 5.3 ir 5.4 paveiksluose.

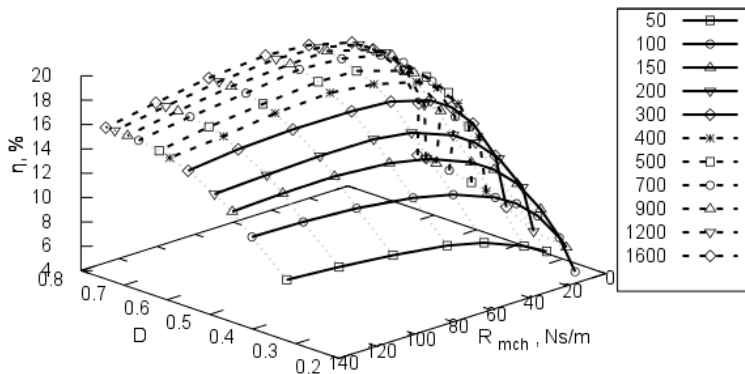


5.3 pav. Srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje priklausomybės nuo D ir R_{mch} , esant įvairioms R_G vertėms



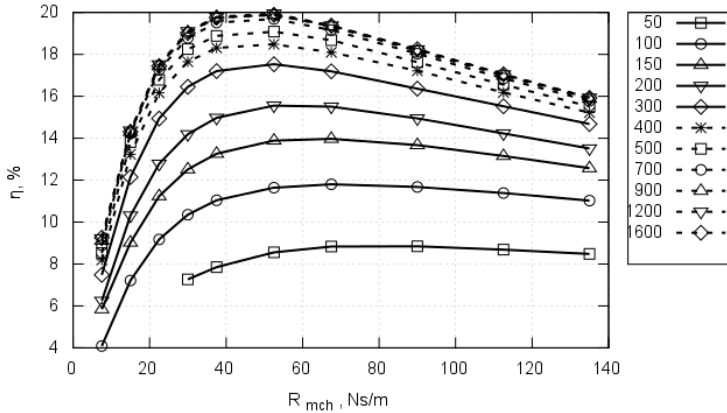
5.4 pav. Srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje priklausomybės nuo D ir R_{mch} , esant įvairioms R_G vertėms. Projektija $D-I_m$

Iš pateiktų modeliavimo rezultatų (5.1, 5.2, 5.3 ir 5.4 pav.) matosi, kad, didinant srovę gėsinančio varžo varžą, srovė tiek pavaros apvijos šakoje, tiek nuolatinės įtampos šaltinio šakoje mažėja.



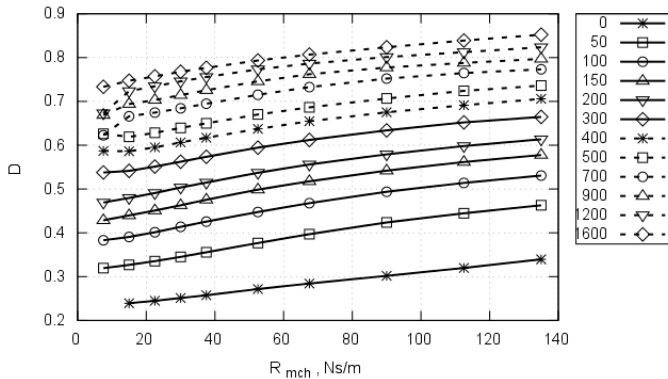
5.5 pav. Pavaros naudingumo faktoriaus, kaip funkcijos nuo D , esant įvairioms R_{mch} vertėms, maksimumų priklausomybės nuo R_G

Pavaros naudingumo faktoriaus priklausomybių nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir pavaros aktyviosios apkrovos maksimumai, esant įvairioms srovę gėsinančio varžo varžos vertėms, pateikti 5.5, 5.6 ir 5.7 paveiksluose.



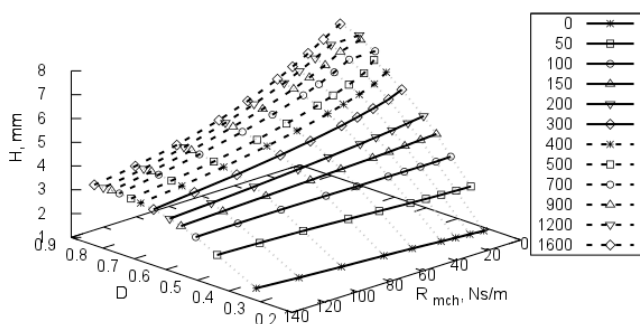
5.6 pav. Pavaros naudingumo faktoriaus, kaip funkcijos nuo D , esant įvairioms R_{mch} vertėms, maksimumų priklausomybės nuo R_G . Projektija $R_{mch}-\eta$

Pagal modeliavimo rezultatus (5.5 ir 5.6 pav.) matosi, kad kintant mechaninei varžai, naudingumo faktoriaus kitimo pobūdžiai, esant įvairioms srovės gesinimo varžo varžos vertėms, yra panašūs. Didėjant srovę gesinančio varžo varžai, naudingumo faktoriaus maksimumų pokytis, esant tai pačiai mechaninės varžos vertei, vis mažesnis – naudingumo faktorius didėja eksponentiškai link $\eta = 17\%$.



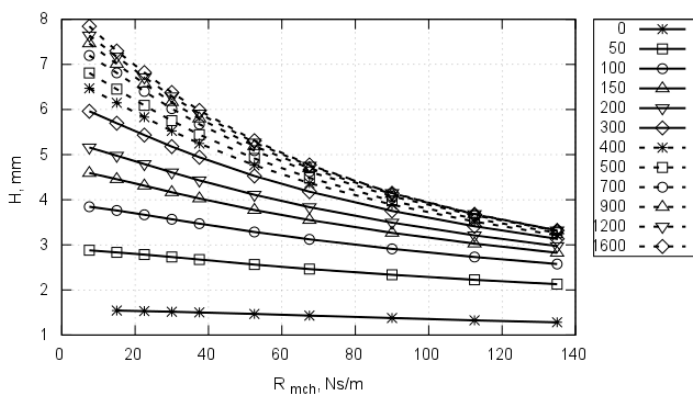
5.7 pav. Pavaros naudingumo faktoriaus, kaip funkcijos nuo D , esant įvairioms R_{mch} vertėms, maksimumų priklausomybės nuo R_G . Projektija $R_{mch}-D$

Pagal modeliavimo rezultatus (5.5 ir 5.7 pav.) matosi, kad didinant srovę gesinančio varžo varžą ir siekiant aukščiausio pavaros naudingumo faktoriaus, jungiklių santykinę įjungimo trukmę reikia didinti. Be to, didėjant srovę gesinančio varžo varžai, santykinės jungiklio įjungimo trukmės verčių pokyčiai mažėja.



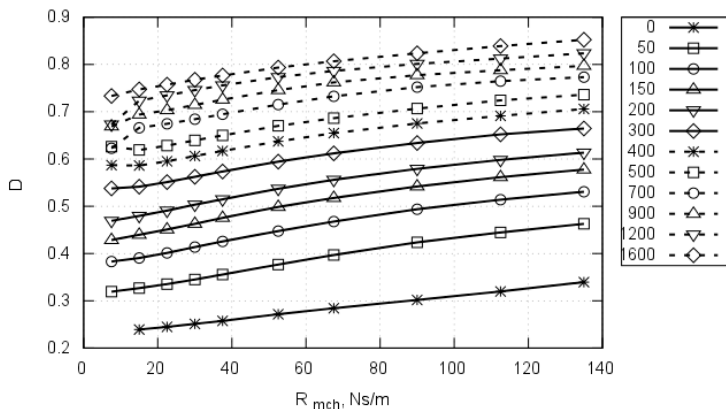
5.8 pav. Pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudės, kaip funkcijos nuo D , esant įvairioms R_{mch} vertėms, maksimumų priklausomybės nuo R_G

Pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudės priklausomybių nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir pavaros aktyviosios apkrovos maksimumai, esant įvairioms srovę gesinančio varžo varžos vertėms, pateikti 5.8, 5.9 ir 5.10 paveiksluose.



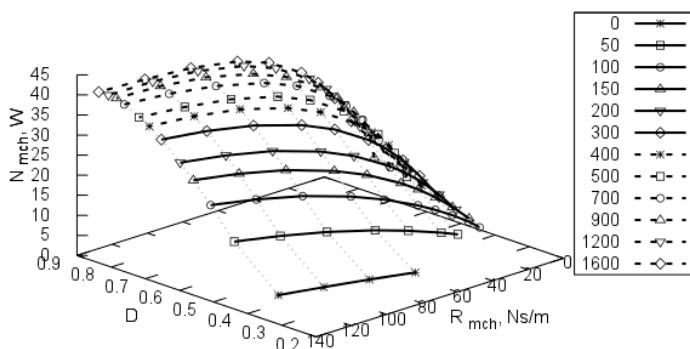
5.9 pav. Pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudės, kaip funkcijos nuo D , esant įvairioms R_{mch} vertėms, maksimumų priklausomybės nuo R_G . Projektija R_{mch} - H_1

Pagal modeliavimo rezultatus (5.8 ir 5.9 pav.) matosi, kad kintant mechaninei varžai, pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudės kitimo pobūdžiai, esant įvairioms srovės gesinimo varžo varžos vertėms, yra panašūs. Didėjant srovę gesinančio varžo varžai, švytavimų amplitudės maksimumų pokytis vis mažesnis – švytavimų amplitudė didėja eksponentiškai link vertės $H = 5\text{mm}$. Ši amplitudės didėjimą lemia didėjanti srovės amplitudė variklio apvijose.



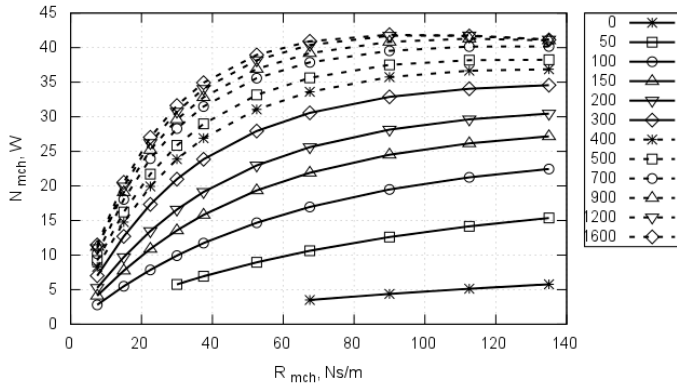
5.10 pav. Pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudės, kaip funkcijos nuo D , esant įvairioms R_{mch} vertėms, maksimumų priklausomybės nuo R_G . Projektija R_{mch} - D

Pagal modeliavimo rezultatus (5.8 ir 5.10 pav.) matosi, kad didinant srovę gesinančio varžo varžą ir siekiant didžiausios pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudės, jungiklių santykinę įjungimo trukmę reikia didinti. Be to, didėjant srovę gesinančio varžo varžai, santykinės jungiklio įjungimo trukmės verčių pokyčiai mažėja.



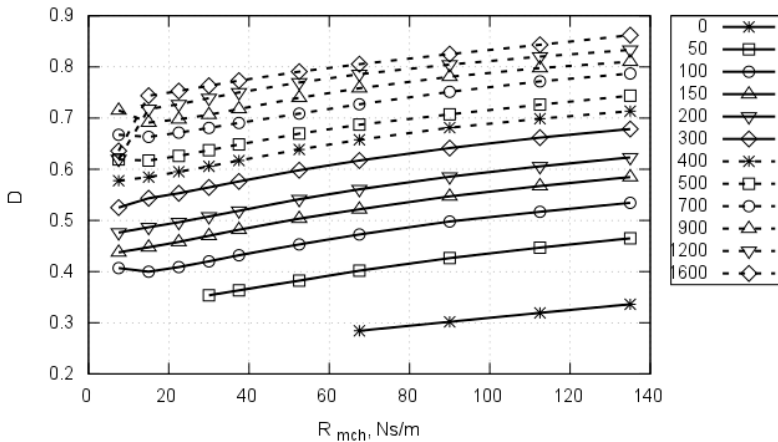
5.11 pav. Mechaninės galios, kaip funkcijos nuo D esant įvairioms R_{mch} vertėms, maksimumų priklausomybės nuo R_G

Pavaros išvystomos mechaninės galios priklausomybių nuo jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir pavaros aktyviosios apkrovos maksimumai, esant įvairioms srovę gesinančio varžo varžos vertėms, pateikti 5.11, 5.12 ir 5.13 paveiksluose.



5.12 pav. Mechaninės galios, kaip funkcijos nuo D esant įvairioms R_{mch} vertėms, maksimumų priklausomybės nuo R_G . Projektija $R_{mch}-N_{mch}$

Pagal modeliavimo rezultatus (5.11 ir 5.12 pav.) matosi, kad kintant mechaninei varžai, pavaros išvystomos mechaninės galios kitimo pobūdžiai, esant įvairioms srovės gesinimo varžo varžos vertėms, yra panašūs. Didėjant srovę gesinančio varžo varžai, mechaninės galios maksimumų pokytis vis mažesnis – mechaninė galia didėja eksponentiškai link vertės $N_{mch} = 33W$.



5.13 pav. Mechaninės galios, kaip funkcijos nuo D , esant įvairioms R_{mch} vertėms, maksimumų priklausomybės nuo R_G . Projektija $R_{mch}-D$

Pagal modeliavimo rezultatus (5.11 ir 5.13 pav.) matosi, kad didinant srovę gesinančio varžo varžą ir siekiant didžiausios pavaros išvystomos mechaninės galios, jungiklių santykinę įjungimo trukmę reikia didinti. Be to, didėjant srovę gesinančio varžo varžai, santykinės jungiklio įjungimo trukmės verčių pokyčiai mažėja.

Modeliavimas atskleidė, kad, didinant srovę gesinančio varžo varžą R_G , pavaros elektromechaninių rodiklių η , H , N_{mch} maksimumų vertės didėja eksponentiškai, o I_A , I_B ir I_m mažėja. Tai lemia mažėjanti srovės variklio apvijose nuolatinė dedamoji, ir didėjanti jos amplitudė.

Norint gerinti pavaros darbo parametrus, R_G reikia didinti. Tačiau, kuo didesnė srovės gesinimo varžo varža, tuo didesnė pavaros apvijų raktų išjungimo metu kuriama saviindukcijos vidinė įtampa. Varžos vertę racionalu parinkti tokią, kad, išjungus raktą, kuriami viršįtampiai nesugadintų grandinės elementų: ritė būtų atspari ant jos gnybtų kuriamai saviindukcijos vidinei įtampai; raktas būtų atsparus ritės kuriamos saviindukcijos ir maitinimo šaltinio įtampų sumai.

5.3. Skyriaus išvados ir rezultatai

1. Pavaros maitinimo schemeje, kai pavaros apvijų šuntuojamos diodu, esant įvairioms srovę gesinančio varžo varžoms, pavaros naudingumo faktoriaus η , judžiosios dalies švytavių amplitudės H ir išsvystomos mechaninės galios N_{mch} priklausomybių nuo pavaros mechaninės varžos R_{mch} ir puslaidininkinių jungiklių santykinės įjungimo trukmės D maksimumų kreivių pobūdžiai yra panašūs.
2. Didinant srovę slopinančio varžo varžą, pavaros naudingumo faktoriaus η , judžiosios dalies švytavių amplitudės H ir išsvystomos mechaninės galios N_{mch} priklausomybių nuo pavaros mechaninės varžos R_{mch} ir puslaidininkinių jungiklių santykinės įjungimo trukmės D maksimumų vertės, esant tai pačiai mechaninės varžos vertei, eksponentiškai artėja link $\eta = 17\%$, $H = 5\text{mm}$, $N_{mch} = 33\text{W}$. Tai paaiškinama mažėjančia srovės variklio apvijose nuolatinė dedamąja, ir didėjančia srovės amplitude.
3. Švytuojamojo judesio sinchroninį variklį maitinant šaltiniu, kuriame apvijų šuntuojamos diodais, elektromechaninių rodiklių atžvilgiu srovę gesinančio varžo varžos vertę reikia didinti iki begalybės. Tačiau, racionalu ją parinkti atsižvelgiant į elektrinės grandinės atsparumą (ritės, raktų) ant ritės susidaranti saviindukcijos vidinei įtampai (tolesniems tyrimams varža priimta 400Ω – rakto atjungimo momentu įtampa ant jo siekia trigubą įtampos šaltinio vertę). Tai taikytina visoms pulsuojamosios srovės pavaroms, kuriose variklių apvijų šuntuojamos diodais.

6. ŠJSPSP MAITINIMO BŪDŲ ĮVERTINIMAS

Šiame darbe tiriami du švytuojamojo judesio pulsuojamąsios srovės sinchroninės pavaros maitinimo būdai:

- 1) variklio apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse,
- 2) variklio apvijos šuntuojamos diodais.

Siekama nustatyti kokią įtaką pavaros elektromechaniniams rodikliams daro pavaros maitinimo būdas ir variklio apvijų maitinančios įtampos parametrai. Tai daroma atliekant matematinį eksperimentą.

6.1. Tiriamos pavaros parametrai

Pavaros parametrai matematiname modelyje priimti pagal fizinį ŠJSPSP modelį, aptartą 3 skyriuje:

- 1) pavara simetrinė – abi apvijos ir magnetinės grandinės vienuodu parametru,
- 2) judžiosios dalies masė – $m = 0,612\text{kg}$,
- 3) mechaninės sistemos standumas – $c = 35300\text{N/m}$,
- 4) įtampos šaltinio vidinė įtampa – $E = 200\text{V}$,
- 5) įtampos šaltinio vidaus varža – $R_m = 10\Omega$,
- 6) galios jungiklių komutavimo dažnis – $f = 36,152\text{Hz}$,
- 7) srovę gesinančio varžo varža – $R_G = 400\Omega$,
- 8) įjungtų galios jungiklių varža – $R_K = 1\Omega$,
- 9) įtampos kritimas ant atviro diodo – $U_{VD} = 0,7\text{V}$,
- 10) atviro diodo įtampos kritimo priklausomybę nuo diodu tekančios srovės apibūdinanti varža – $R_{VD} = 0,3\Omega$,
- 11) pavaros apvijų ominė varža – $R_l = 40\Omega$,
- 12) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_1 = f(h)$ minimumo koordinatė – $h_{\min} = -0,0139\text{m}$, kai atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 13) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_1 = f(h)$ maksimumo koordinatė – $h_{\max} = 0,0138\text{m}$, kai atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 14) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_2 = f(h)$ minimumo koordinatė – $h_{\min} = -0,0141\text{m}$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 15) pavaros elektrinių charakteristikų $L = f(h)$ ir $R_2 = f(h)$ maksimumo koordinatė – $h_{\max} = 0,0139\text{m}$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 16) nuostolius apvijoje nusakančios varžos minimumas – $R_{1\min} = 63\Omega$,
- 17) nuostolius apvijoje nusakančios varžos maksimumas – $R_{1\max} = 245\Omega$,
- 18) magnetinius nuostolius apvijoje atskirai nusakančios varžos minimumas – $R_{2\min} = 5800\Omega$,
- 19) magnetinius nuostolius apvijoje atskirai nusakančios varžos maksimumas – $R_{2\max} = 9000\Omega$,
- 20) apvijų induktyvumo minimumas – $L_{\min} = 0,94\text{H}$, kai atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 21) apvijų induktyvumo maksimumas – $L_{\max} = 4,31\text{H}$, kai atskirai neįvertinami

magnetiniai nuostoliai.

- 22) apvijos induktyvumo minimumas – $L_{\min} = 0,948H$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai,
- 23) apvijos induktyvumo maksimumas – $L_{\max} = 4,25H$, kai atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai.

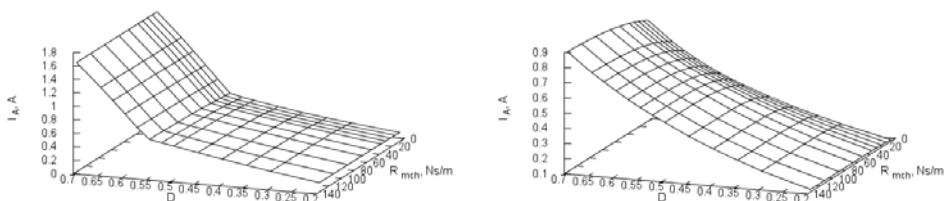
Jungiklių komutavimo dažnis nustatytas pagal pavaros savąjį mechaninį dažnį. Komutavimo dažnis eksperimento metu nekito, jis buvo nustatytas pavarai, apkrautai nominalia mechaninės sistemos varža – $R_{\text{mch}} = 65,5\text{Ns/m}$.

Eksperimento metu buvo keičiama jungiklių įjungimo santykinė trukmė D ir pavaros apkrova R_{mch} . Pavaros parametrai buvo skaičiuojami nusistovėjus pavaros darbo pereinamajam vyksmui.

Tolimesniame skyriuje pateikti modeliavimo rezultatai.

6.2. ŠJSPSP maitinimo būdų tyrimo rezultatai

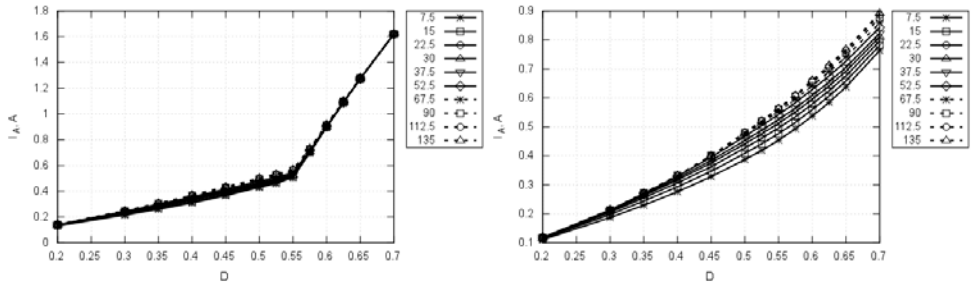
Paveiksluose 6.1 ir 6.2 pateikta srovės stiprio vienoje iš variklio apvijos šakų priklausomybė nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir pavaros aktyviosios mechaninės apkrovos. Kairysis grafikas – srovė apvijoje, kuri jungiama tiltelio įstrižainėje, dešinysis – srovė apvijoje, kuri šuntuojama diodu.



6.1 pav. Srovės stiprio variklio apvijos A šakoje priklausomybės nuo D ir R_{mch} . Kairėje – „tiltelis“, dešinėje – „šuntuojantis diodas“

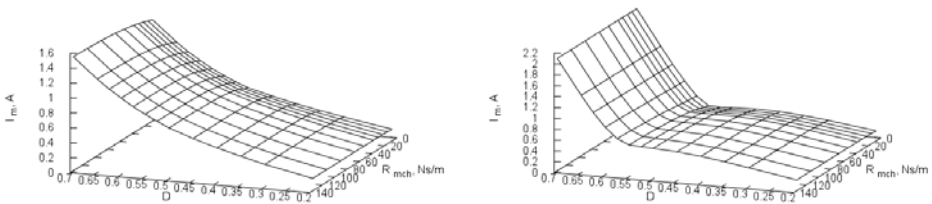
Pagal modeliavimo rezultatus (6.1 ir 6.2 pav.) matosi, kad pavaroje, kur variklio apvijos šuntuojamos diodais, didėjant santykiniai jungiklių įjungimo trukmei srovės stipris apvijos šakoje laipsniškai didėja.

Pavaroje, kur variklio apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, didėjant santykiniai trukmei srovė didėja tiesiškai. Nuo $D = 0,55$ (nepriklausomai nuo R_{mch}) srovės kreivė tampa 4 kartus statesnė, nes laikotarpiu, kai išjungti galios jungikliai, srovė apvijoje nespėja nuslopti – žymiai didėja srovės nuolatinė dedamoji. Abiejų nagrinėjamų maitinimo būdų atvejais srovės diapazone $D = 0..0,55$ yra panašių verčių.



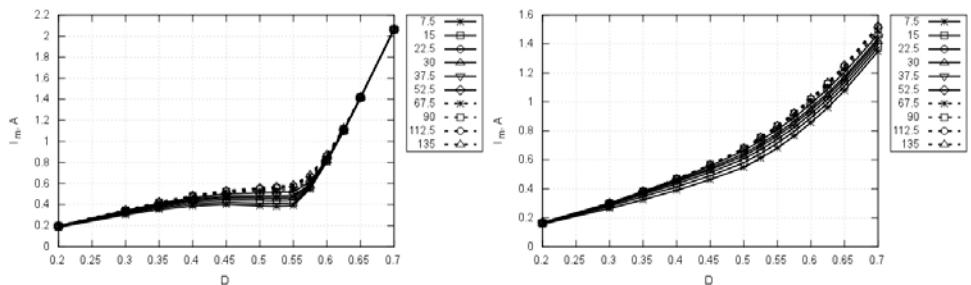
6.2 pav. Srovės variklio apvijos A šakoje priklausomybės nuo D ir R_{mch} . Kairėje – „tiltelis“, dešinėje – „šuntuojantis diodas“. Projektija $D-I_A$

Paveiksluose 6.3 ir 6.4 pateikta srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje priklausomybės nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir pavaros aktyviosios mechaninės apkrovos.



6.3 pav. Srovės stiprio nuolatinės įtampos šaltinio šakoje priklausomybės nuo D ir R_{mch} . Kairėje – „tiltelis“, dešinėje – „šuntuojantis diodas“

Kairysis grafikas – srovė apvijoje, kur jungiama tiltelių įstrižainėje, dešinysis – srovė apvijoje, kuri šuntuojama diodu.

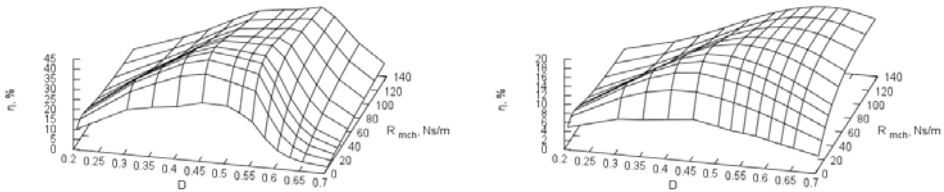


6.4 pav. Srovės nuolatinės įtampos šaltinio šakoje priklausomybės nuo D ir R_{mch} . Kairėje – „tiltelis“, dešinėje – „šuntuojantis diodas“. Projektija $D-I_m$

Pagal modeliavimo rezultatus (6.3 ir 6.4 pav.) matosi, kad nuolatinės įtampos šaltinio šakoje tekančios srovės ir srovės, tekančios variklio apvijos šakoje, kitimo

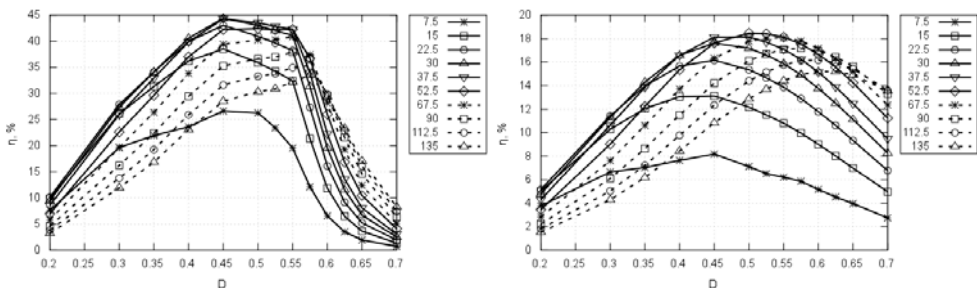
pobūdžiai yra panašūs.

Pavaros, kurioje variklio apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse, atveju diapazone $D = 0,45..0,55$ srovės šaltinio šakoje didėjimas prislopsta – išryškėja elektros energijos mainai tarp variklio apvijų.



6.5 pav. Pavaros naudingumo faktoriaus priklausomybės nuo D ir R_{mch} . Kairėje – „tiltelis“, dešinėje – „šuntuojantis diodas“

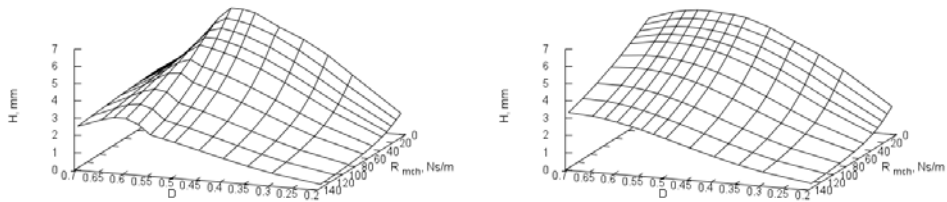
Paveiksluose 6.5 ir 6.6 pateikta pavaros naudingumo faktoriaus priklausomybė nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir pavaros aktyviosios mechaninės apkrovos. Kairysis grafikas – srovė pavaroje, kurios variklio apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse, dešinysis – srovė pavaroje, kurios variklio apvijų šuntuojamos diodais.



6.6 pav. Pavaros naudingumo faktoriaus priklausomybės nuo D ir R_{mch} . Kairėje – „tiltelis“, dešinėje – „šuntuojantis diodas“. Projektija D - η

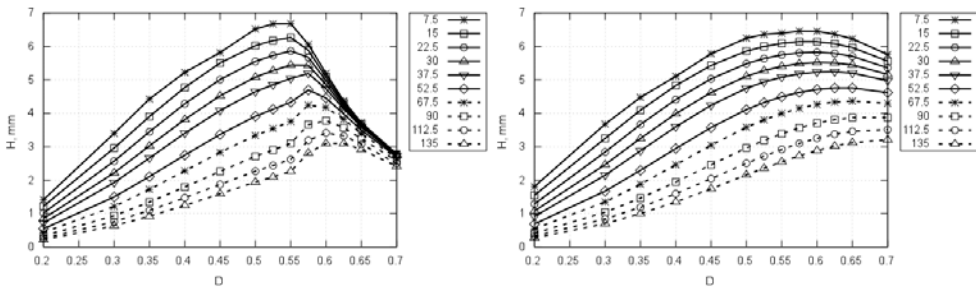
Pagal modeliavimo rezultatus (6.5 ir 6.6 pav.) matosi, kad naudingumo faktorius, abiem nagrinėjamų maitinimo būdų atvejais, turi aiškius maksimumus: jungiklių santykinėi įjungimo trukmei esant diapazone nuo 0,45 iki 0,55 „tiltelio“ atveju, o „šuntuojančio diodo“ atveju – 0,4..0,65. Didėjant pavaros mechaninei aktyviajai apkrovai naudingumo faktoriaus maksimumas slenka D didėjimo kryptimi.

Lyginant maitinimo būdus, pavaros, kurioje variklio apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse, maksimalus naudingumo faktorius yra dvigubai didesnis nei pavaros, kurioje variklio apvijų šuntuojamos diodais.



6.7 pav. Pavaros judžiosios dalies švytavių amplitudės priklausomybės nuo D ir R_{mch} . Kairėje – „tiltelis“, dešinėje – „šuntuojantis diodas“

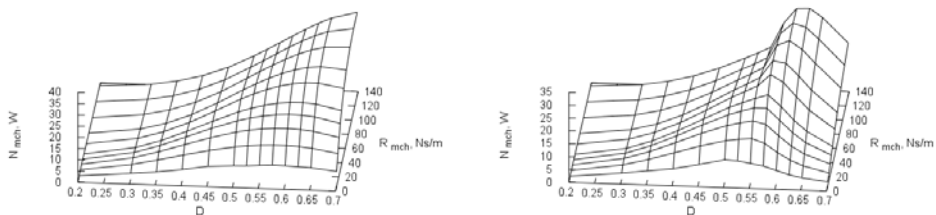
Paveiksluose 6.7 ir 6.8 pateikta pavaros judžiosios dalies švytavių amplitudės priklausomybė nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir pavaros aktyviosios mechaninės apkrovos. Kairysis grafikas – srovė pavaroje, kurioje variklio apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse, dešinysis – srovė pavaroje, kurioje variklio apvijų šuntuojamos diodais.



6.8 pav. Pavaros judžiosios dalies švytavių amplitudės priklausomybės nuo D ir R_{mch} . Kairėje – „tiltelis“, dešinėje – „šuntuojantis diodas“. Projektija $D-H$

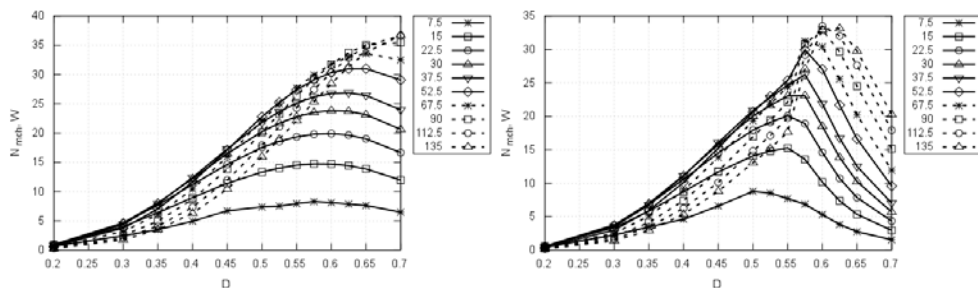
Pagal modeliavimo rezultatus (6.7 ir 6.8 pav.) matosi, kad abiem nagrinėjamų maitinimo būdų atvejais pavaros judžiosios dalies švytavių amplitudė turi aiškius maksimumus: jungiklių santykinėi įjungimo trukmei esant diapazone nuo 0,55 iki 0,6 maitinimo būdo atveju, kai variklio apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse, ir diapazone nuo 0,55 iki 0,7, kai variklio apvijų šuntuojamos diodais. Didėjant pavaros mechaninei aktyviai apkrovai, švytavių amplitudės maksimumas slenka D didėjimo kryptimi.

Lyginant maksimalias švytavimo amplitudžių vertės abiem nagrinėjamais maitinimo būdų atvejais, esant tom pačiom apkrovos vertėms, jos yra panašios.



6.9 pav. Pavaros išvystomos mechaninės galios priklausomybės nuo D ir R_{mch} . Kairėje – „tiltelis“, dešinėje – „šuntuojantis diodas“

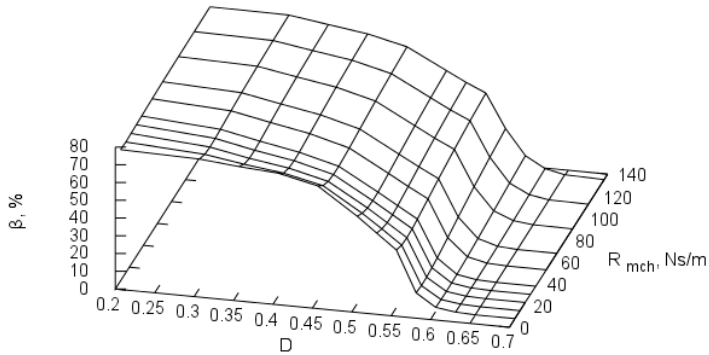
Paveiksluose 6.9 ir 6.10 pateikta pavaros išvystomos mechaninės galios priklausomybė nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir pavaros aktyviosios mechaninės apkrovos. Kairysis grafikas – srovė pavaroje, kurioje variklio apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse, dešinysis – srovė pavaroje, kurioje variklio apvijų šuntuojamos diodais.



6.10 pav. Pavaros išvystomos mechaninės galios priklausomybės nuo D ir R_{mch} . Kairėje – „tiltelis“, dešinėje – „šuntuojantis diodas“. Projektija $D-N_{mch}$

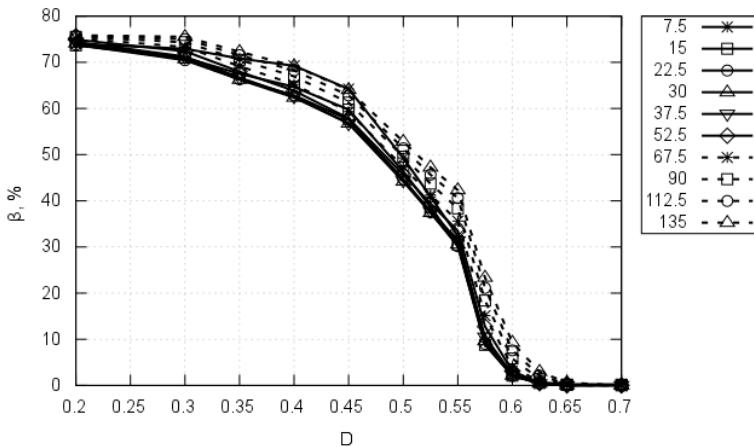
Pagal modeliavimo rezultatus (6.9 ir 6.10 pav.) matosi, kad abiem nagrinėjamų maitinimo būdų atvejais, pavaros išvystoma mechaninė galia turi aiškius maksimumus. Kintant pavaros aktyviai mechaninei apkrovai, jungiklių santykinę įjungimo trukmę reikia keisti diapazone nuo 0,5 iki 0,6, kai variklio apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse, ir diapazone nuo 0,57 iki 0,7, kai apvijų šuntuojamos diodais. Didėjant pavaros mechaninei aktyviai apkrovai, mechaninės galios maksimumas slenka D didėjimo kryptimi.

Abiem nagrinėjamais maitinimo būdo atvejais maksimalios mechaninės galios vertės prie tų pačių apkrovų yra panašios.



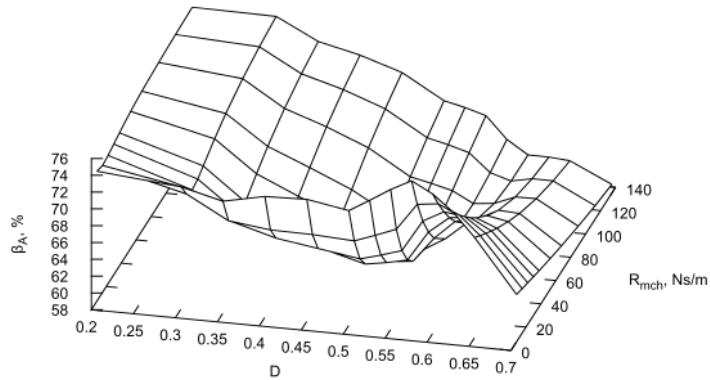
6.11 pav. Elektros energijos grąžos į nuolatinės įtampos šaltinį faktoriaus priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse

Paveiksluose 6.11 ir 6.12 pateikta elektros energijos grąžos į nuolatinės įtampos šaltinį faktoriaus pavaroje, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, priklausomybė nuo raktų santykinės įjungimo trukmės ir pavaros aktyviosios mechaninės apkrovos.



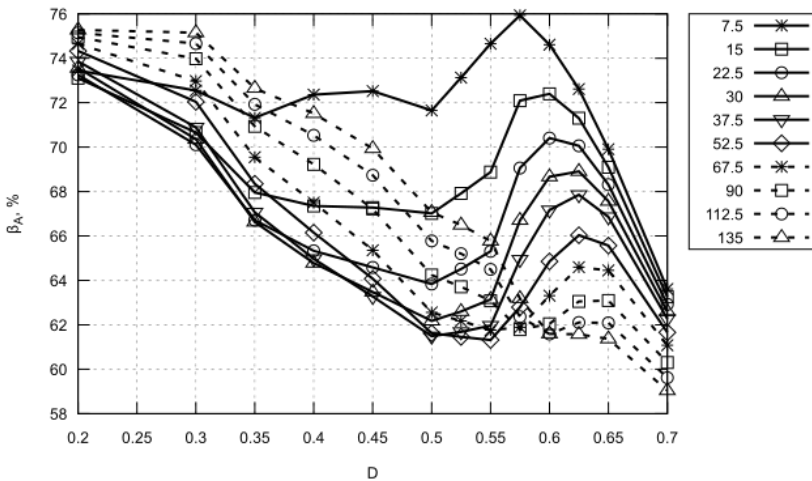
6.12 pav. Elektros energijos grąžos nuolatinės įtampos šaltinio šakoje faktoriaus priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse. Projektija D - β

Pagal modeliavimo rezultatus (6.11 ir 6.12 pav.) matosi, kad didinant santykinę jungiklių įjungimo trukmę elektros energijos grąža šaltiniui mažėja iki 40%, kai $D = 0,55$ ir staigiai krenta kai $D > 0,55$.



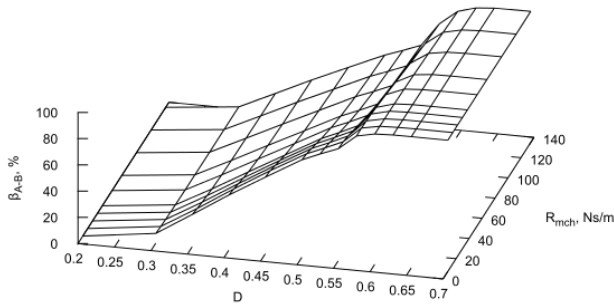
6.13 pav. Elektros energijos grąžos iš variklio apvijos A faktoriaus priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse

Paveiksluose 6.13 ir 6.14 pateikta elektros energijos grąžos į nuolatinės įtampos šaltinį faktoriaus pavaroje, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, priklausomybė nuo raktų santykinės įjungimo trukmės ir pavaros aktyviosios mechaninės apkrovos.



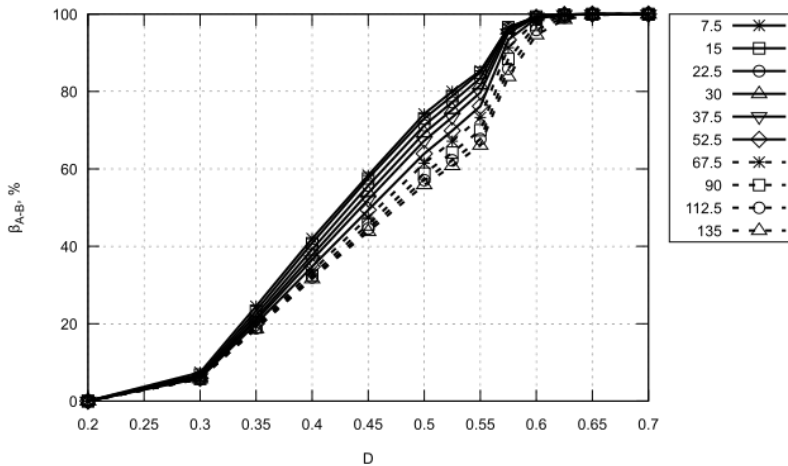
6.14 pav. Elektros energijos grąžos iš variklio apvijos A faktoriaus priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse. Projektcija D - β_A

Pagal modeliavimo rezultatus (6.13 ir 6.14 pav.) matosi, plačiose apkrovos ribose apvijoje rekuperuojama daugiau nei 60% elektros energijos.



6.15 pav. Variklio apvijoje rekuperuojamos elektros energijos dalies, tenkančios kitai variklio apvijai, priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse

Paveiksluose 6.15 ir 6.16 pateikta pavaros, kurioje variklio apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse, apvijoje rekuperuojamos elektros energijos dalies, kuria maitinama kita variklio apvija, priklausomybė nuo galios jungiklių santykinės įjungimo trukmės ir pavaros aktyviosios mechaninės apkrovos.



6.16 pav. Variklio apvijoje rekuperuojamos elektros energijos dalies, tenkančios kitai variklio apvijai, priklausomybė nuo D ir R_{mch} . Apvijų jungiamos tiltelių įstrižainėse. Projektcija D - β_{A-B}

Pagal modeliavimo rezultatus (6.15 ir 6.16 pav.) matosi, kad, didėjant galios jungiklių santykinei įjungimo trukmei, variklių apvijoje generuojamos reaktyviosios elektros energijos mainai tarp apvijų didėja. Kai $D > 0,5$, kitai apvijai tenka daugiau nei 50% pirmoje apvijoje generuojamos reaktyviosios elektros energijos.

Santykinei jungiklių įjungimų trukmei esant didesnei nei 0,65 elektros energijos grąža nebevyksta į maitinimo šaltinį, iš 6.11 ir 6.12 paveiksluose pateiktų rezultatų matosi, kad elektros energijos grąža vyksta tik tarp variklio apvijų.

Pavaroje, kurioje apvijos šuntuojamos diodais, elektros energijos grąža į nuolatinės įtampos šaltinį ir/arba į kitą apviją nevyksta.

6.3. Skyriaus išvados ir rezultatai

1. Plačiame apkrovų diapazone siekiant gauti aukščiausius pavaros, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, ir pavaros, kurios apvijos šuntuojamos diodais, elektromechaninius rodiklius (judžiosios dalies švytavimų amplitudė, naudingumo faktorius), galios jungiklių santykinę įjungimų trukmę reikia nustatyti didesnę nei 0,5. Pavaros, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, atveju galios jungiklių santykinė įjungimo trukmė neturi viršyti vertės, kuriai esant srovė variklio apvijoje dar spėja nuslopti.
2. Įvertinant maksimalų naudingumo faktorių pavaros, kurioje variklio apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, jis yra dvigubai didesnis nei pavaros, kurioje variklio apvijos šuntuojamos diodais.
3. Tiek pavaros, kurioje variklio apvijos šuntuojamos diodais, tiek pavaros, kurioje variklio apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, atvejais galima pasiekti panašių verčių maksimalias pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudes.
4. Jei pavaros apvijos, kurios jungiamos tiltelių įstrižainėse, maitinančios įtampos impulsų santykinis plotis (skverbtis) nustatomas didesnis nei 0,5, tada galima žymiai sumažinti reaktyviąją energiją kaupiančių kondensatorių talpą. Tai tampa įmanoma dėl daugiau nei 40% sumažėjusios į nuolatinės įtampos šaltinį grąžinamos reaktyviosios energijos, ir daugiau nei 50% padidėjusių reaktyviosios elektros energijos mainų tarp variklio apvijų.
5. Šios išvados taikytinos visoms pulsuojamosios srovės švytuojamojo judesio pavaroms su simetrinės konstrukcijos varikliais.

7. IŠVADOS

1. Parinktos dvi švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninių pavarų impulsinių maitinimo šaltinių architektūros:
 - a) pavaros variklio apvijos šuntuojamos diodais; reaktyvioji energija gesinama varže;
 - b) pavaros variklio apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse; reaktyvioji energija kaupiama kondensatoriuje ir (arba) perduodama kitai variklio apvijai;
2. Sukurtas naujas sinchroninės pulsuojamosios srovės švytuojamojo judesio pavaros su impulsiniu maitinimo šaltiniu matematinis modelis, kuriame, lyginant su ankstesniais modeliais, įvertinami varžų netiesiškumai variklio apvijos ekvivalentinėse schemose, o maitinimo šaltinyje diodų netiesiškumai, raktų ir įtampos šaltinio varžos. Matematinis modelis artimas fiziniam: elektromechaninių rodiklių (šaltinio įtampa U_m , srovė maitinimo šaltinio šakoje I_m , bendra aktyvioji galia P_{ei} , pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudė H) kreivės panašios.
3. Modeliuojant tiltelio įstrižainėje jungiamą švytuojamojo judesio sinchroninės pulsuojamosios srovės variklio apviją ekvivalentine schema, kurioje atskirai neįvertinami magnetiniai nuostoliai, nėra racionalu. Lyginant su modeliavimo rezultatais, kai naudojama magnetinius nuostolius atskirai įvertinanti apvijos ekvivalentinė schema, elektromechaninių rodiklių santykinės paklaidos viršija 50%. Diodų šuntuojamos apvijos atveju – iki 10%.
4. Tiriant parinktų impulsinių maitinimo šaltinių įtaką švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninių pavarų kokybės rodikliams, nustatyta:
 - a) Kai variklio apvijos šuntuojamos diodais, aukščiausi elektromechaniniai rodikliai (pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudė H , naudingumo faktorius η) gaunami esant begalinei srovė gesinančio varžo varžai. Tačiau racionalu ją parinkti atsižvelgiant į grandinės atsparumą (ritės, raktų) ant variklio apvijos susidarantį saviindukcijos vidinei įtampai.
 - b) Švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninį variklį maitinant šaltiniu, kuriame apvijos šuntuojamos diodais, didinant srovė gesinančio varžo varžą pasiekiamas iki 50% naudingumo faktoriaus pavaros, kurios variklio apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse.
 - c) Tiek švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninės pavaros, kurioje apvijos šuntuojamos diodais, tiek pavaros, kurioje apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, atvejais galima pasiekti panašių verčių maksimalias pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudes.
 - d) Plačiame apkrovų diapazone siekiant gauti aukščiausius švytuojamojo judesio pulsuojamosios srovės sinchroninės pavaros, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, ir pavaros, kurios apvijos šuntuojamos diodais, elektromechaninius rodiklius (pavaros judžiosios dalies švytavimų amplitudė H , naudingumo faktorius η), variklio apviją maitinančių

įtampos impulsų skverbtį reikia nustatyti didesnę nei 0,5. Pavaros, kurios apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, atveju įtampos impulsų skverbtis neturi viršyti vertės, kuriai esant srovė variklio apvijoje dar spėja nuslopti.

- e) Jei švytuojamojo judesio pulsuojamąsias srovės sinchroninę pavarą su simetrinės konstrukcijos varikliu, kurio apvijos jungiamos tiltelių įstrižainėse, maitinančios įtampos impulsų skverbtis nustatoma didesnė nei 0,5, tada galima žymiai sumažinti reaktyviąją energiją kaupiančių kondensatorių talpą. Tai tampa įmanoma dėl daugiau nei 40% sumažėjusios į nuolatinės įtampos šaltinį gražinamos reaktyviosios elektros energijos ir daugiau nei 50% padidėjusių reaktyviosios elektros energijos mainų tarp variklio apvijų.

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

Mokslinės informacijos instituto (ISI) duomenų bazėse referuojamuose leidiniuose:

1. Jankūnas, V.; Eidukas, D.; Guseinovicė, E. Position Measurement of Oscillating Linear Movement of Mechatronic Device // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2011. – No. 3(109). – P. 7–10. ISSN 1392-1215. Prieiga per <http://www.ee.ktu.lt/page.php?240>
2. Brazaitis, A.; Guseinovicė, E.; Jankūnas, V. Control of Oscillation Amplitude of Oscillating Motors // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2010. – No. 3(99). – P. 77-82. ISSN 1392-1215. Prieiga per <http://www.ee.ktu.lt/page.php?226>
3. Jankūnas, V.; Eidukas, D.; Guseinovicė, E.; Cirtautas, V. Investigation of Supply Possibilities of Mechatronic Actuator // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2009. – No. 5(93). – P. 25–28. ISSN 1392-1215. Prieiga per <http://www.ee.ktu.lt/page.php?216>
4. Jankūnas, V.; Guseinovicė, E.; Urmonienė, L. Švytuojamojo judesio mechatroninės pavaros fizinio ir matematinio modelių adekvatumo tyrimas // *Elektronika ir elektrotechnika*. – Kaunas: Technologija, 2008. – Nr. 7(87). – P. 69–72. ISSN 1392-1215. Prieiga per <http://www.ee.ktu.lt/page.php?207>
5. Senulis, A.; Guseinovicė, E.; Jankūnas, V.; Urmonienė, L.; Andziulis, A.; Didžiokas, R. Švytuojamojo pulsuojamosios srovės variklio – bespyruoklio kompresoriaus švytavimų centro poslinkio eksperimentinis tyrimas // *El. ir elektrotechnika*. – Kaunas: Technologija, 2007. – Nr. 7(79), p. 66-69. ISSN 1392-1215. Prieiga per <http://www.ee.ktu.lt/page.php?99>

Kituose leidiniuose:

1. Jankūnas, V.; Guseinovicė, E.; Cirtautas, V.; Senulis, A.; Urmonienė, L. Mechatroninių įtaisų koordinatės matavimo būdų apžvalga // *Jūra ir aplinka*. ISSN 1392-785X. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2007. – Nr. 1, p. 60-67.
2. Brazaitis, A.; Cirtautas, V.; Guseinovicė, E.; Jankūnas, V.; Žaltauskas, V. Pavarų su švytuojamaisiais varikliais švytavimų amplitudės pozicionavimas // *Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje*. ISSN: 1822-4652. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2006. – Nr. 5, p. 9-12.
3. Senulis, A.; Guseinovicė, E.; Cirtautas, V.; Jankūnas, V.; Urmonienė, L. Control Efficiency Analysis of Linear Oscillating Mechatronic Device // *Solid State Phenomena: Mechatronic Systems and Materials III*. Šveicarija: Trans Tech Publications: 2009. – Nr.147-149, p. 197-202. V. ISSN: 1662-9779. Prieiga per <http://www.scientific.net/SSP.147-149.197>

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Asgar, M.; Afjei, E.; Siadatan, A.; Zakerolhosseini, A. A new modified asymmetric bridge drive circuit switched reluctance motor // ECCTD 2009. European Conference on , vol., no., pp.539-542, 23-27 Aug. 2009. ISBN: 978-1-4244-3896-9
2. Baskys A, Rinkeviciene R, Jegorov S, Petrovas A Modeling of a mechatronic system with the AC induction motor supplied by the frequency converter // SOLID STATE PHENOMENA: MECHATRONIC SYSTEMS AND MATERIALS. - SWITZERLAND: TRANS TECH PUBLICATIONS LTD, 2006. - No. 113. - P. 19-24. ISSN: 1012-0394
3. Baškys, A.; Rinkevičienė, R.; Petrovas, A. Overvoltage limitation in variable speed drive with inverter // PROCEEDINGS OF THE XVII INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMAGNETIC DISTURBANCES, EMD 2007. - KAUNAS : KAUNAS UNIV TECHNOLOGY PRESS, 2007. - P. 39-42. ISSN: 1822-3249
4. Boldea, I.; Congxiao, Wang; et al. Analysis and design of flux-reversal linear permanent magnet oscillating machine. Industry Applications Conference, 1998. Thirty-Third IAS Annual Meeting. The 1998 IEEE , vol. 1. P. 136-143
5. Brazaitis A., Guseinovicienė E. Computer Aided Design on Oscillating Drives // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2006. – No. 6(70). – P. 19–22.
6. Brazaitis, A.; Cirtautas, V.; Guseinovicienė, E.; Jankūnas, V.; Žaltauskas, V. Pavarų su švytuojamaisiais varikliais švytavių amplitudės pozicionavimas // Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje. ISSN: 1822-4652. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2006. – Nr. 5, p. 9-12.
7. Brazaitis, A.; Guseinovicienė, E.; Jankūnas, V. Control of Oscillation Amplitude of Oscillating Motors // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2010. – No. 3(99). – P. 77-82. ISSN 1392 – 1215
8. Brazaitis, A.; Samuitis A. Elektromagnetinės jėgos švytuojančio judesio varikliuose // Elektrotechnika. Gamybos procesų ir valdymas automatizavimas, Kaunas. Vilnius: Lietuvos TSR aukštojo ir specialiojo vidurinio mokslo ministerija, 1983, p. 24.
9. Brazaitis, A.; Šatas J. Pavaros su švytuojamojo judesio reaktyviuoju varikliu skaitinis tyrimas. Mokslas ir technologijos Vakarų Lietuvoje. Elektros inžinerijos dabartis ir perspektyvos, 1999. Klaipėda: KU I-Ia, 1999, p. 16-21
10. Cirtautas V. Pavarų su švytuojančio judesio sincroniais elektros varikliais darbo stabilizavimas naudojant funkcinius poslinkio daviklius. // KU mokslo darbai. Technikos mokslai. Serija D, 1, 1994, p. 49-54
11. Deltuva, R.; Virbalis, J. A.; Gečys, S. Electric and Magnetic Fields of the High Voltage Autotransformer // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2010. – No. 10(106). – P. 9–12. ISSN: 1392-1215
12. Deshpande, V.V.; Lim Jun Young New converter configurations for switched reluctance motors wherein some windings operate on recovered energy. Industry Applications Conference 2000, vol. 3, 2000. P. 1578-1585.
13. Do-Hyun Jang The converter topology with half bridge inverter for switched reluctance motor drives. ISIE 2001, vol. 2, 2001. P.1387-1392.
14. Dobrucky, B.; Drozdy, S.; Frivaldsky, M.; Spanik, P. Interaction of Renewable Energy Source and Power Supply Network in Transient State // Clean Electrical Power, 2007. ICCEP '07. International Conference on , vol., no., pp.563-566, 21-23 May 2007. ISBN:

- 1-4244-0632-3
15. Eidukas, D.; Kalnius, R.; Vaišvila, A. Probability distribution transformation in continuous information systems control // ITI 2007. Zagreb: University of Zagreb, 2007. ISBN 978-953-7138-09-7. p.609-614.
 16. Eltom, A.H.; Demirbas, A. Motor system energy efficiency in the nylon industry: A comparison of PWM and square wave inverters // IEMDC '09. IEEE International , vol., no., pp.508-513, 3-6 May 2009. ISBN: 978-1-4244-4251-5
 17. Ewanchuk, J.; Salmon, J. A Square-wave Controller for a high speed induction motor drive using a three phase floating bridge inverter // Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE , vol., no., pp.2584-2591, 12-16 Sept. 2010. ISBN: 978-1-4244-5286-6
 18. Gečys, S. Critical Slip of Three-phase Cage Induction Motor Supplied from Limited Power Source // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2007. – No. 1(73). – P. 25–28. ISSN: 1392-1215
 19. Gečys, S.; Smolskas, P. Parametrical Optimization of Equivalent Circuit Parameters of Copper-squirrel-cage Solid Rotor Induction Motor supplied through Long Geophysical Cable // Electronics and Electrical Eng. – Kaunas: Technologija, 2009. – No. 2(90). – P. 73–76. ISSN: 1392-1215
 20. Gečys, S.; Smolskas, P. Copper-squirrel-cage Solid Rotor Teeth Zone Parameter Rational Choice for Induction Motor Operating under Geophysical Conditions // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2009. – No. 1(89). – P. 91–94. ISSN: 1392-1215
 21. Gečys, S.; Smolskas, P.; Žmuida, M. Application of Parametrical Method Synthesis for Borehole Motors Design // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2010. – No. 5(101). – P. 9–12. ISSN: 1392-1215
 22. Govindaraj, T.; Chatterjee, D.; Ganguli, A.K. Development, finite element analysis and electronic control of an axial flux permanent magnet linear oscillating motor direct drive suitable for short strokes // INCACEC 2009. 2009 Int. Conf. on , vol., no., pp.1-6, 4-6 June 2009. ISBN: 978-1-4244-4789-3
 23. Grbo, Z.; Vukosavic, S.; Levi, E. A novel power inverter for switched reluctance motor drives. Facta Universitatis (Nis). Ser: Elec Energ, 18(3), 2005. P. 453–465.
 24. Guseinovicė E. Švytuojamojo sinchroninio pulsuojančio srovės variklio charakteristikos. Elektronika ir Elektrotechnika. ISSN 1392-1215. – Kaunas: Technologija, 2002, Nr. 5(40), p. 55-58.
 25. Guseinovicė E. Švytuojamojo judesio sinchroninio pulsuojančio srovės variklio eksperimentinis tyrimas // Konferencijos pranešimo medžiaga. Kaunas, 1999, p. 105-106.
 26. Hao Chen; Lingguo Cheng; Xiaohui Qiu; Yang Zhao Conductive EMI Noise Measurement for Switched Reluctance Drive // Electromagnetic Compatibility, 2009 20th International Zurich Symposium on , vol., no., pp.241-244, 12-16 Jan. 2009. ISBN: 978-3-9523286-4-4
 27. Holtz, J. Acquisition of Position Error and Magnet Polarity for Sensorless Control of PM Synchronous Machines // Industry Applications, IEEE Transactions on , vol.44, no.4, pp.1172-1180, July-aug. 2008 doi: 10.1109/TIA.2008.921418. ISSN : 0093-9994
 28. Horacio, Vasquez; Joey, K. Parker A new simplified mathematical model for a switched reluctance motor in a variable speed pumping application. Mechatronics, Volume 14, Issue 9, November 2004. P. 1055-1068.
 29. Yang, C.H., Nasar, S.A., et al. Novel high force-density PM linear oscillating motors

- and their controllers. APEC' 89. Conference Proceedings 1989., Fourth Annual IEEE. P. 183-187
30. Yong-Ho Yoon, Jae-Moon Kim, et al. New approach to SRM drive with six-switch converter. *Mechatronics*, Volume 19, Issue 8, 2009. P. 1321-1333.
 31. Yu Ming-hu; Ye Yun-yue; Lu Qin-fen; Xia Yong-ming A study on power factor of linear oscillatory motor with two separated stators // *Electrical Machines and Systems*, 2009. ICEMS 2009. International Conference on , vol., no., pp.1-5, 15-18 Nov. 2009. ISBN: 978-1-4244-5177-7
 32. Yu Ming-Hu; Zhang Yu-Qiu; Ye Yun-Yue; Yao Ze-Yong; Lu Qin-Fen Research on resonant frequency tracking strategy for linear oscillatory motor // *Control Conference (CCC)*, 2010 29th Chinese , vol., no., pp.3348-3352, 29-31 July 2010. ISBN: 978-1-4244-6263-6
 33. Jankūnas, V.; Eidukas, D.; Guseinovicienė, E.; Cirtautas, V. Investigation of Supply Possibilities of Mechatronic Actuator // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2009. – No. 5(93). – P. 25–28. ISSN 1392 – 1215
 34. Jankūnas, V.; Guseinovicienė, E.; Cirtautas, V.; Senulis, A.; Urmonienė, L. Mechatroninių įtaisų koordinatės matavimo būdų apžvalga // *Jūra ir aplinka*. ISSN 1392-785X. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2007. – Nr. 1, p. 60-67.
 35. Jankūnas, V.; Guseinovicienė, E.; Urmonienė, L. Švytuojamojo judesio mechatroninės pavaros fizinio ir matematinio modelių adekvatumo tyrimas // *Elektronika ir elektrotechnika*. – Kaunas: Technologija, 2008. – Nr. 7(87). – P. 69–72. ISSN 1392 – 1215
 36. John W. Eaton, David Bateman, Soren Hauberg Gnu Octave Version 3.0.1 Manual: A High-Level Interactive Language For Numerical Computations // *CreateSpace*, 2009. - P. 618. ISBN: 1441413006
 37. Krykowski, K.; Bodora, A. Efficiency and power losses in PM BLDC motor with variable bridge/half-bridge structure electronic commutator // *EPE-PEMC 2008*. 13th , vol., no., pp.326-330, 1-3 Sept. 2008. ISBN: 978-1-4244-1741-4
 38. Kudarauskas S. Original Oscillating motor-compressor based on generalised approach to oscillating drives. *Proc. XV International Symposium Micromachines and Servosystemes*. Soplicowo, Poland, 2006, p. 126-130
 39. Kudarauskas S. Oscillating Electrical Generators Driven by Free-piston Engine for Hybrid Electric Vechicles. *Proc. European Ele-drive Transportation Conference*. Geneva, Mars 2008
 40. Kudarauskas S. Švytuojamosios elektros mašinos. Klaipėda : Klaipėdos universiteto leidykla, 2008. P. 302. ISBN 9789955182856
 41. Kudarauskas, S.; Vaupšas J. Structure and Equations of the Oscillating Synchronous Motors. *Proc. ICEM-84*, 1984. Lausanne, 1984, Part 2, p. 523-526
 42. Lu, Q.; Yu, M., et al. Thrust Force of Novel PM Transverse Flux Linear Oscillating Actuators with Moving Magnet. *Magnetics*, IEEE Transactions on, no. 99, 2011. P.1-4
 43. Marčiulionis, P.; Žebrauskas, S. Numerical Analysis of Spatial Force Components in Direct Current Corona Field // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2009. – No. 8(96). – P. 3–8. ISSN: 1392-1215
 44. Mendrelė, E.A. Comparison of the performance of a linear reluctance oscillating motor operating under AC supply with one under DC supply. *Energy Conversion*, IEEE Transactions on, vol. 14, no. 3, Sep 1999. P. 328-332.
 45. Ming Lu; Yaohua Li New Design for Sensorless BLDC Motor Using Half-Bridge Driver Circuit // *E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE)*, 2010 International

- Conference on , vol., no., pp.1-4, 7-9 Nov. 2010. ISBN: 978-1-4244-7159-1
46. Morozioukov, J.; Virbalis, J. A. Investigation of Electric Reactor Magnetic Field using Finite Element Method // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2008. – No. 5(85). – P. 9–12. ISSN: 1392-1215
 47. Niasar, A.H.; Moghbelli, H.; Vahedi, A. A low-cost sensorless control for reduced-parts, brushless DC motor drives // *Industrial Electronics*, 2008. ISIE 2008. IEEE International Symposium on , vol., no., pp.662-667, June 30 2008-July 2 2008. ISBN: 978-1-4244-1665-3
 48. Oswald, A.; Herzog, H.-G.; Haas, A. Mathematical analysis of oscillation characteristics of permanent magnet synchronous motor // *Electrical Machines (ICEM)*, 2010 XIX International Conference on , vol., no., pp.1-5, 6-8 Sept. 2010. ISBN: 978-1-4244-4174-7
 49. Oswald, A.; Herzog, H.G. Mathematical analysis of oscillation characteristics of permanent magnet synchronous motor. *Electrical Machines (ICEM)*, 2010 XIX International Conference on. P. 1-5
 50. Poska A, Smilgevičius A, Rinkevičienė R. Mechatronic systems with linear induction motors of dampers // *SOLID STATE PHENOMENA: MECHATRONIC SYSTEMS AND MATERIALS* . - SWITZERLAND: TRANS TECH PUBLICATIONS LTD, 2006. - P. 67-72. ISSN: 1012-0394
 51. Poška, A. J.; Rinkevičienė, R. Linear drives for switching device apparatus // *PROCEEDINGS OF THE XVII INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMAGNETIC DISTURBANCES, EMD 2007*. - Kaunas: KAUNAS UNIV TECHNOLOGY PRESS, 2007. - P. 179-182. ISSN: 1822-3249
 52. Poška, A. J.; Savickienė, Z.; Šlepikas, A. Unconventional Methods of Regulation and Control of Linear Electric Drives // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2008. – No. 7(87). – P. 65–68. ISSN: 1392-1215
 53. Poška, A. J.; Savickienė, Z.; Šlepikas, A. Control and Adjustment of Linear Induction Motor Starting Force // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2010. – No. 2(98). – P. 21–24. ISSN: 1392-1215
 54. Pupadubsin, R.; Chayopitak, N.; Nulek, N.; Kachapornkul, S.; Jitkreeyarn, P.; Somsiri, P.; Tungpimolrut, K. Position control of a linear variable reluctance motor with magnetically coupled phases // (ECTI-CON), 2010 International Conference on , vol., no., pp.1031-1035, 19-21 May 2010. ISBN: 978-1-4244-5606-2
 55. R. Rinkevičienė, S. Lisauskas. Control Environment of Linear Induction Drive Dynamics Models // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2007. – No. 8(80). P. 63–66. ISSN: 1392-1215
 56. Račkienė, R.; Virbalis, J. A.; Bartkevičius, S.; Lukočius, R. The Optimal Distribution of Cooling Elements // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2010. – No. 9(105). – P. 53–56. ISSN: 1392-1215
 57. Ramonas, Č.; Adomavičius, V.; Gečys, S. Research of Harmonic Minimization Possibilities in Grid-tied Photovoltaic System // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2010. – No. 1(107). – P. 83–86. ISSN: 1392-1215
 58. Rinkevičienė R, Smilgevičius A. Linear motors in mechatronic systems // 2007 *COMPATIBILITY IN POWER ELECTRONICS*. - USA: IEEE, 2007. P. 222-226. ISBN: 978-1-4244-1054-5
 59. Rinkevičienė, R.; Batkauskas, V. Modeling and Investigation of Vector Controlled Induction Drive // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2008. – No. 1(81). – P. 53–56. ISSN: 1392-1215

60. Rinkevičienė R, Batkauskas V, Petrovas A, Lisauskas S. Model of a Sensorless Induction Drive // Solid State Phenomena: MECHATRONIC SYSTEMS AND MATERIALS: MECHATRONIC SYSTEMS AND ROBOTICS. - SWITZERLAND: TRANS TECH PUBLICATIONS LTD, 2010. - No. 164. P. 85-90. ISSN: 1012-0394
61. Rinkevičienė, R.; Baškys, A.; Petrovas, A. Model for Simulation of Dynamic Characteristics of the System Frequency Converter –AC Induction Motor // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2008. – No. 2(82). P. 65–68. ISSN: 1392-1215
62. Rinkevičienė, R.; Batkauskas, V. Influence Of The Inverter Boost Voltage On The Transients Of Variable Speed Drive // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2009. – No. 4(92). – P. 75–78. ISSN: 1392-1215
63. Rinkevičienė, R.; Lisauskas, S. Simulation of linear induction drive dynamic breaking // Electrical and Control Technologies, Proceedings. - KAUNAS: KAUNAS UNIV TECHNOLOGY PRESS, 2006. P. 207-211.
64. Rinkevičienė, R.; Petrovas, A. Modelling of Frequency Controlled Induction Drive with Ventilator Type Load // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2009. – No. 6(94). – P. 69–72. ISSN: 1392-1215
65. Rinkevičienė, R.; Petrovas, A. Dynamic models of asymmetric induction drive // IEEE IEMDC 2007: Proceedings of the International Electric Machines and Drives Conference, Vols 1 and 2. - USA: IEEE, 2007. P. 683-687. ISBN: 978-1-4244-0742-2
66. Rinkevičienė, R.; Petrovas, A. Modelling AC Induction Drive in PSpice // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2007. – No. 1(73). – P. 29–32. ISSN: 1392-1215
67. Rinkevičienė, R.; Poška, A. J.; Smilgevičius, A. Tiesiaieigės mechatroninės sistemos. Teorija ir taikymas : monografija / Roma Rinkevičienė, Algimantas Juozas Poška, Algirdas Smilgevičius. Vilnius : Technika, 2006. 224 p. ISBN 9955280182.
68. Rinkevičienė, R.; Poška, A. J.; Šlepikas, A. Linear electric drives for constructional purposes // JOURNAL OF VIBROENGINEERING . - KAUNAS: JOURNAL VIBROENGINEERING, 2008. - No. 3(10). - P. 370-377. ISSN: 1392-8716
69. Rinkevičienė, R.; Smilgevičius, A. Linear Induction Motor at Present Time // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2007. – No. 6(78). – P. 3–8. ISSN: 1392-1215
70. Romaškevičius, O.; Šiožynys, M.; Virbalis, J. A. The Investigation of Poles Shape of the Technological Rotating Magnetic Field Inductor // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2010. – No. 5(101). – P. 17–20. ISSN: 1392-1215
71. Roubicek, O. Oscillating synchronous linear motor in electromechanical resonance. Electric Power Applications, IEE Proceedings B , vol.137, no.4, 1990. P. 281-292
72. Sadauskas, T.; Smilgevičius, A.; Savickienė, Z. Distribution of Magnetic Field of Linear Induction Motor // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2007. – No. 4(76). – P. 63–66. ISSN: 1392-1215
73. Samuitis A. Švytuojančio judesio pulsuojančios srovės variklio tyrimas. KU mokslo darbai. Technikos mokslai. Serija D, 1, Klaipėda, 1994, p. 87-95.
74. Savickienė, Z.; Poška, A. J. Simplified Calculation of Linear Induction Drives Characteristics // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2007. – No. 5(77). – P. 15–18. ISSN: 1392-1215
75. Senulis, A.; Guseinovicienė, E.; Cirtautas, V.; Jankūnas, V.; Urmonienė, L. Control Efficiency Analysis of Linear Oscillating Mechatronic Device // Solid State

Phenomena: Mechatronic Systems and Materials III. ISSN: 1012-0394. Šveicarija: Trans Tech Publications: 2009. – Nr.147-149, p. 197-202.V.

76. Senulis, A.; Guseinoviene, E.; Jankūnas, V.; Urmonienė, L.; Andziulis, A.; Didžiokas, R. Švytuojamojo pulsuojamąsios srovės variklio – bespyruoklio kompresoriaus švytavimų centro poslinkio eksperimentinis tyrimas // El. ir elektrotechnika. ISSN 1392-1215. – Kaunas: Technologija, 2007. – Nr. 7(79), p. 66-69. ISSN 1392 – 1215
77. Seok-Myeong Jang; Jang-Young Choi; Han-Wook Cho; Ji-Hoon Park; Kyoung-Jin Ko Comparison and dynamic behavior of moving- coil linear oscillatory actuator with/without mechanical spring driven by rectangular voltage source // ICEMS. International Conference on , vol., no., pp.874-877, 8-11 Oct. 2007.ISBN: 978-89-86510-07-2
78. Simanyniene L. Švytuojamojo variklio ir kompresoriaus pavaros darbo charakteristikų analizė. Elektronika ir Elektrotechnika. ISSN 1392-1215. – Kaunas: Technologija, 2002, Nr. 5(40), p. 51-54.
79. Tae-Won Chun; Jung-Ryol Ahn; Hong-Hee Lee; Heung-Gun Kim; Eui-Cheol Nho A Novel Strategy of Efficiency Control for a Linear Compressor System Driven by a PWM Inverter," Industrial Electronics, IEEE Transactions on , vol.55, no.1, pp.296-301, Jan. 2008. ISSN : 0278-0046
80. Tae-Won Lee, Yong-Ho Yoon, et al. Control of c-dump converters fed switched reluctance motor on an automotive application. Electric Power Systems Research, Volume 77, Issue 7, May 2007. P. 804-812.
81. Tao Sun; Ji-Young Lee; Jung-Pyo Hong Investigation on the Characteristics of a Novel Segmental Switched Reluctance Motor Driven by Asymmetric Converter and Full-Bridge Inverter // IEMDC '07. IEEE International , vol.1, no., pp.815-820, 3-5 May 2007. ISBN: 1-4244-0742-7
82. Tarvydas, P. Edge finite elements for 3D electromagnetic field modeling // Electronics and Electrical Engineering. ISSN 1392-1215. 2007, nr. 4(76). p. 29-32.
83. Tarvydas, P.; Noreika, A. Usability evaluation of finite element method equation solvers // Electronics and Electrical Engineering. ISSN 1392-1215. 2007, nr. 2(74). p. 13-16.
84. Urmoniene, L.; Gecys, S.; Guseinoviene, E.; Cirtautas, V. Investigation of Energetic Parameters of Oscillating Synchronous Pulsating Current Motors // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2011. – No. 4(110). – P. 17–20. ISSN 1392 – 1215
85. Wegener, R.; Senicar, F.; Junge, C.; Soter, S. Low Cost Position Sensor for Permanent Magnet Linear Drive // Power Electronics and Drive Systems, 2007. PEDS '07. 7th International Conference on , vol., no., pp.1367-1371, 27-30 Nov. 2007. ISBN: 978-1-4244-0645-6
86. Woothipatanapan, S.; Chanchaensook, P.; Jangwanitlert, A. Efficiency improvement of converter for switched reluctance motor drives at low speed operation // PEDS 2009. International Conference on , vol., no., pp.488-493, 2-5 Nov. 2009. ISBN: 978-1-4244-4166-2
87. Woothipatanapan, S.; Jangwanitlert, A.; Chanchaensook, P. Efficiency improvement of converter for switched reluctance motor drives by mixed parallel operation of IGBT and MOSFET // TENCON 2010 - 2010 IEEE Region 10 Conference , vol., no., pp.1841-1846, 21-24 Nov. 2010.ISBN: 978-1-4244-6889-8
88. Xu Liu; Zaiping Pan Study on switched reluctance motor using three-phase bridge inverter: Analysis and comparison with asymmetric bridge // ICEMS 2008.

- International Conference on , vol., no., pp.1354-1358, 17-20 Oct. 2008. ISBN: 978-1-4244-3826-6
89. Xu Liu; Zaiping Pan; Zhu, Z.Q. Study on the protection of asymmetric bridge circuit for switched reluctance motor // ICEMS 2008. International Conference on , vol., no., pp.1348-1353, 17-20 Oct. 2008. ISBN: 978-1-4244-3826-6
 90. Zhang Yu-qiu; Ye Yun-yue; Yu Ming-hu; Xia Yong-ming Estimation method of mover position for linear oscillatory motor with two separated stators // Electrical Machines and Systems, 2009. ICEMS 2009. International Conference on , vol., no., pp.1-4, 15-18 Nov. 2009. ISBN: 978-1-4244-5177-7
 91. Zhengyu Lin; Jiabin Wang; Howe, D. A Resonant Frequency Tracking Technique for Linear Vapor Compressors // Electric Machines & Drives Conference, 2007. IEMDC '07. IEEE International , vol.1, no., pp.370-375, 3-5 May 2007. ISBN: 1-4244-0742-7
 92. Zhu, Z.Q.; Chen, X., et al. Electromagnetic Modeling of a Novel Linear Oscillating Actuator. Magnetics, IEEE Transactions on , vol.44, no.11, 2008. P. 3855-3858
 93. Zulkifli, S.A.; Karsiti, M.N.; A-Aziz, A.-R. Investigation of linear generator starting modes by mechanical resonance and rectangular current commutation // Electric Machines and Drives Conference, 2009. IEMDC '09. IEEE International , vol., no., pp.425-433, 3-6 May 2009. ISBN: 978-1-4244-4251-5
 94. Jankūnas, V; Eidukas, D.; Guseinoviėnė, E. Position Measurement of Oscillating Linear Movement of Mechatronic Device //Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2011. – No. 3(109). – P. 7–10. ISSN 1392 – 1215

PADĖKA

Nuoširdžiai dėkoju mokslinio darbo vadovui Kauno technologijos universiteto Elektronikos inžinerijos katedros profesoriui habil. dr. Danieliui Eidukui už vadovavimą, dalykinius patarimus skelbiant mokslinio darbo rezultatus ir ruošiant daktaro disertaciją.

Nuoširdžiai dėkoju konsultantei Klaipėdos universiteto Elektrotechnikos katedros profesorei prof. dr. Eleonorai Guseinovienei už visokeriopą pagalbą ruošiant daktaro disertaciją.

Dėkoju Kauno technologijos universiteto Elektronikos inžinerijos katedros kolektyvui už palaikymą, pagalbą ir sudarytas sąlygas studijuoti Kauno technologijos universiteto doktorantūroje.

Dėkoju Klaipėdos universiteto Elektrotechnikos katedros kolektyvui už palaikymą, dalykinius patarimus, diskusijas ir konsultacijas atliekant tyrimus disertacijos tema.

Valdas Jankūnas

PRIEDAI

ŠJSPSP matematinis modelis įgyvendintas GNU Octave programiniu paketu. Matematinį modelį sudaro pagrindinis failas „modeliuok_pavara.m“ ir jam priklausantys failai:

- apskaiciuok_L.m,
- apskaiciuok_R_1.m,
- apskaiciuok_R_2.m,
- apskaiciuok_dL_dh.m,
- di_L_dt_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius.m,
- di_L_dt_suntuojantis_diodas_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu.m,
- di_L_dt_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius.m,
- di_L_dt_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu.m,
- sroves_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius.m,
- sroves_suntuojantis_diodas_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu.m,
- sroves_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius.m,
- sroves_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu.m.

Pagrindiniame faile įrašyta dauguma pagrindinio modelio algoritmo kodo. Pagrindiniam failui priklausančiuose failuose įrašytos modelio funkcijos, kviečiamos pagrindinio algoritmo.

Dėl didelės modelio algoritmo kodo apimties čia pateikiamas tik pagrindinio failo „modeliuok_pavara.m“ tekstas (visas modelio algoritmo kodas įrašytas prie šios disertacijos pridėtoje duomenų laikmenoje):

```
function rezultatai = modeliuok_pavara(tipas, t_mod, N_mod,
    h_LA_min, h_LA_max, h_LB_min, h_LB_max,
    h_RA_min, h_RA_max, h_RB_min, h_RB_max,
    m, c, R_mch, E_m, R_m, f, D_A, D_B, R_AG, R_BG, R_K, U_VD,
    R_VD, R_A1, R_B1,
    R_A1_min, R_A1_max, R_B1_min, R_B1_max,
    R_A2_min, R_A2_max, R_B2_min, R_B2_max,
    L_A_min, L_A_max, L_B_min, L_B_max,
    pradzia)
```

```
% Modeliuojam tiesiaeigį švytuojantį mechatroninį įtaisą - pjūklo pavara;
```

```
% ritė A yra koordinatinių ašies teigiamoje dalyje, ritė B - neigiamoje;
```

```
%
```

```
% Autorius: Valdas Jankūnas
```

```
%
```

```
% Keista 2011-04-05
```

```
% Funkcija priima BŪTINUS parametrus:
```

```
% tipas ----- pavaros maitinimo būdas (0 - „tiltelis“, 1 - „šuntuojantis diodas“);
```

```
% t_mod (s) ---- modeliavimo trukmė;
```

```
% N_mod ----- žingsnių kiekis modeliavimo laikotarpyje (neįskaitant pradinio žingsnio);
```

% h_{LA_min} (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro L charakteristikos argumento minimumas, ritei A ;
 % h_{LA_max} (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro L charakteristikos argumento maksimumas, ritei A ;
 % h_{LB_min} (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro L charakteristikos argumento minimumas, ritei B ;
 % h_{LB_max} (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro L charakteristikos argumento maksimumas, ritei B ;
 % h_{RA_min} (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro R charakteristikos argumento minimumas, ritei A ;
 % h_{RA_max} (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro R charakteristikos argumento maksimumas, ritei A ;
 % h_{RB_min} (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro R charakteristikos argumento minimumas, ritei B ;
 % h_{RB_max} (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro R charakteristikos argumento maksimumas, ritei B ;
 % m (kg) ----- pavaros judžiosios dalies masė;
 % c (N/m) ----- pavaros mechaninės dalies standumas;
 % R_{mch} (Ns/m) - pavaros mechaninė varža;
 % E_m (V) ----- neapkrauto nuolatinės įtampos maitinimo šaltinio įtampa;
 % R_m (Ω) ----- nuolatinės įtampos šaltinio vidaus varža;
 % f (Hz) ----- ritę komutuojančio rakto(-ų) junginėjimo dažnis;
 % D_A ----- rakto A įjungimo santykinė trukmė (0 - raktas neįjungiamas ... 1 - raktas įjungtas per visą junginėjimo periodą);
 % D_B ----- rakto B įjungimo santykinė trukmė (0 - raktas neįjungiamas ... 1 - raktas įjungtas per visą junginėjimo periodą);
 % R_{AG} (Ω) ----- „šuntuojantis diodas“ schemoje gesinimo rezistoriaus varža ritės A grandinėje;
 % R_{BG} (Ω) ----- „šuntuojantis diodas“ schemoje gesinimo rezistoriaus varža ritės B grandinėje;
 % R_K (Ω) ----- įjungto rakto(-ų) varža;
 % U_{VD} (V) ----- įtampos kritimas ant atviro diodo(-ų);
 % R_{VD} (Ω) ----- atviro diodo V_{ACh} statumo koeficientas;
 % R_{A1} (Ω) ----- ritės A ominė varža, kai įvertinami magnetiniai nuostoliai;
 % R_{B1} (Ω) ----- ritės B ominė varža, kai įvertinami magnetiniai nuostoliai;
 % R_{A1_min} (Ω) - nuostolius ritėje A nusakančios varžos minimumas;
 % R_{A1_max} (Ω) - nuostolius ritėje A nusakančios varžos maksimumas;
 % R_{B1_min} (Ω) - nuostolius ritėje B nusakančios varžos minimumas;
 % R_{B1_max} (Ω) - nuostolius ritėje B nusakančios varžos maksimumas;
 % R_{A2_min} (Ω) - magnetinius nuostolius ritėje A nusakančios varžos minimumas;
 % R_{A2_max} (Ω) - magnetinius nuostolius ritėje A nusakančios varžos maksimumas;
 % R_{B2_min} (Ω) - magnetinius nuostolius ritėje B nusakančios varžos minimumas;
 % R_{B2_max} (Ω) - magnetinius nuostolius ritėje B nusakančios varžos maksimumas;
 % L_{A_min} (H) -- ritės A induktyvumo minimumas;
 % L_{A_max} (H) -- ritės A induktyvumo maksimumas;
 % L_{B_min} (H) -- ritės B induktyvumo minimumas;
 % L_{B_max} (H) -- ritės B induktyvumo maksimumas;

```

% Jei pavaros modelyje įvertinama maitinimo šaltinio vidaus varža, tai parametras „R_m“
turi tūrėti
% konkretią vertę. Antraip, „R_m“ turi būti „0“.
% Jei pavaros modelyje įvertinama įjungtų raktų (lauktranzijų) varžą, tai parametras „R_K“
turi tūrėti
% konkretią vertę. Antraip, „R_K“ turi būti „0“.
% Jei pavaros modelyje įvertinamas įtampos kritimas ant atviro diodo, tai parametras
„U_VD“ turi tūrėti
% konkretią vertę. Antraip, „U_VD“ turi būti „0“.
% Jei pavaros modelyje atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai, tai parametru „R_A2“ ir
„R_B2“ ribos turi tūrėti konkretią vertę.
% Antraip, „R_A2“ ir „R_B2“ ribos turi būti „Inf“;
% Jei pavaros modelyje atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai, tai parametras „R_A1“
ir „R_B1“ turi tūrėti konkretią vertę.
% Antraip, „R_A1“ ir „R_B1“ turi būti „Inf“;

```

```

butinu_parametru_kiekis = 38;

```

```

% Funkcija priima GALIMUS parametrus:
% pradzia --- pradinių sąlygų vektorius, kurio elementai:
% 1 – t (s) ---- laiko momentas, kuriame apskaičiuotos parametru (tolesni stulpeliai)
vertės;
% 2 – i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
% 3 – i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
% 4 – v (m/s) -- pavaros judžiosios dalies greitis;
% 5 – h (m) ---- pavaros judžiosios dalies koordinatė;

```

```

galimu_parametru_kiekis = 1;
parametro_pradzia_ilgis = 5;

```

```

% Funkcija kaip rezultata grąžina matricą, kurios stulpeliai:
% 1 – t (s) ---- laiko momentas, kuriame apskaičiuotos parametru (tolesni stulpeliai)
vertės;
% 2 – K_A ----- ritės A rakto(-u) būseną (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% 3 – K_B ----- ritės B rakto(-u) busena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% 4 – i_m (A) -- srovė maitinimo grandinėje;
% 5 – u_m (V) -- maitinimo šaltinio įtampa;
% 6 – i_A (A) -- grandinės su rite A srovė;
% 7 – i_B (A) -- grandinės su rite B srovė;
% 8 – i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
% 9 – i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
% 10 – i_A1 (A) - srovė ritės A rezistoriuje R_A1;
% 11 – i_B1 (A) - srovė ritės B rezistoriuje R_B1;
% 12 – i_A2 (A) - srovė ritės A magnetinių nuostolių rezistoriuje R_A2;
% 13 – i_B2 (A) - srovė ritės B magnetinių nuostolių rezistoriuje R_B2;
% 14 – v (m/s) -- pavaros judžiosios dalies greitis;
% 15 – h (m) ---- pavaros judžiosios dalies koordinatė;
% 16 – F_em (N) - pavaros judžiąją dalį veikianti elektromagnetinė jėga;

```

% 17 – F (N) ---- suminė pavaros judžiąją dalį veikianti jėga;

```
% nustatymai
progreso_tasku = 100; % skaičiavimų eigos progreso liniuotės ilgis
progreso_antraste = 'skaičiuojama'; % progreso liniuotėje užrašomas pavadinimas
progreso_antrastes_ilgis = 12; % pavdinimo ilgis, nes nežinia kuom sužinot simbolių
kiekį unikodiniame tekste

% žiūrīm ar išorė pateikė pakankamai parametru
pateikta_papildomu_parametru = nargin - butinu_parametru_kiekis;
if (nargin < butinu_parametru_kiekis)
    error('funkcijai „modeliuok_pavara“ perduoti tik %d parametrai iš %d būtinų.',
nargin, butinu_parametru_kiekis);
elseif (pateikta_papildomu_parametru > 0)
    % tikrinam papildomus parametrus
    if (pateikta_papildomu_parametru > galimu_parametru_kiekis)
        error('funkcijai „modeliuok_pavara“ perduotų papildomų parametru kiekis
(%d) viršija leistiną (%d).', pateikta_papildomu_parametru, galimu_parametru_kiekis);
    endif
    ilgis = length(pradzia);
    if (ilgis != parametro_pradzia_ilgis)
        error('funkcijai „modeliuok_pavara“ perduoto papildomo parametro
„pradzia“ elementu kiekis (%d) neatitinka reikiamo (%d).', ilgis, parametro_pradzia_ilgis);
    endif
endif

global M_P; % šios funkcijos priklausiniuose naudojami parametrai

% parametru indeksai skaitinio integravimo sprendinyje;
% eiliškumas ir kiekis turi būti kaip papildomo parametro „pradzia“ (atmetus pirmąjį
elementą „t“)
M_P.indeksai.i_AL = 1;
M_P.indeksai.i_BL = 2;
M_P.indeksai.v = 3;
M_P.indeksai.h = 4;

% įsimenam funkcijai pateiktus parametrus:
% nuo judžiosios dalies padėties priklausančių parametru charakteristikų vertės
M_P.parametrai.h_LA_min = h_LA_min;
M_P.parametrai.h_LA_max = h_LA_max;
M_P.parametrai.h_LB_min = h_LB_min;
M_P.parametrai.h_LB_max = h_LB_max;
M_P.parametrai.h_RA_min = h_RA_min;
```

```

M_P.parametrai.h_RA_max = h_RA_max;
M_P.parametrai.h_RB_min = h_RB_min;
M_P.parametrai.h_RB_max = h_RB_max;
% ričių induktyvumo charakteristikos
M_P.parametrai.L_A_min = L_A_min;
M_P.parametrai.L_A_max = L_A_max;
M_P.parametrai.L_B_min = L_B_min;
M_P.parametrai.L_B_max = L_B_max;
% raktų junginėjimo parametrai
M_P.parametrai.T = 1/f; % periodas (s)
M_P.parametrai.T_2 = M_P.parametrai.T/2; % pusperiodis (s)
M_P.parametrai.tau_A = M_P.parametrai.T * D_A; % rakto A įjungimo trukmė (s)
M_P.parametrai.tau_B = M_P.parametrai.T * D_B; % rakto B įjungimo trukmė (s)
% mechaninės dalies parametrai
M_P.parametrai.m = m;
M_P.parametrai.c = c;
M_P.parametrai.R_mch = R_mch;
% matinimo šaltinio parametrai
M_P.parametrai.E_m = E_m;
M_P.parametrai.R_m = R_m;
% srovės gesinimo rezistoriai
M_P.parametrai.R_AG = R_AG;
M_P.parametrai.R_BG = R_BG;
% raktų parametrai
M_P.parametrai.R_K = R_K;
% diodų parametrai
M_P.parametrai.U_VD = U_VD;
M_P.parametrai.R_VD = R_VD;
% ričių parametrai
M_P.parametrai.R_A1 = R_A1;
M_P.parametrai.R_B1 = R_B1;
M_P.parametrai.R_A1_min = R_A1_min;
M_P.parametrai.R_A1_max = R_A1_max;
M_P.parametrai.R_B1_min = R_B1_min;
M_P.parametrai.R_B1_max = R_B1_max;
M_P.parametrai.R_A2_min = R_A2_min;
M_P.parametrai.R_A2_max = R_A2_max;
M_P.parametrai.R_B2_min = R_B2_min;
M_P.parametrai.R_B2_max = R_B2_max;

% suformuojam pradines sąlygas
if (pateikta_papildomu_parametru >= 1)
    dydis = size(pradzia);
    if (dydis(1) < dydis(2))
        pradines_salygos = pradzia(2:end);
    else
        pradines_salygos = pradzia(2:end)';
    endif

```

```

else
    pradines_salygos = zeros(1, parametro_pradzia_ilgis - 1);
endif

% suformuojam laiko tinkleli
if (pateikta_papildomu_parametru >= 1)
    t_0 = pradzia(1);
else
    t_0 = 0;
endif
laiko_tinklelis = linspace(t_0, t_0+t_mod, N_mod);

% išvalom tarpinių kintamųjų vertes
clear di_L_dt_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius;
clear di_L_dt_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostolius;
clear di_L_dt_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius;
clear di_L_dt_suntuojantis_diodas_nepaisant_magnetiniu_nuostolius;
clear sroves_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius;
clear sroves_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostolius;
clear sroves_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius;
clear sroves_suntuojantis_diodas_nepaisant_magnetiniu_nuostolius;
clear apskaiciuok_L;

% parenkam lygtis sprendžiančias funkcijas
if (tipas == 0)
    % apvijojos maitinimo būdas „tiltelis“
    if (!isinf(R_A2_min) && !isinf(R_A2_max) && !isinf(R_B2_min) &&
!isinf(R_B2_max))
        M_P.di_L_dt_sprendikas =
@di_L_dt_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius;
        sroviu_sprendikas = @sroves_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius;
    else
        M_P.di_L_dt_sprendikas =
@di_L_dt_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostolius;
        sroviu_sprendikas = @sroves_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostolius;
    endif
else
    % apvijojos maitinimo būdas „šuntuojantis diodas“
    if (!isinf(R_A2_min) && !isinf(R_A2_max) && !isinf(R_B2_min) &&
!isinf(R_B2_max))
        M_P.di_L_dt_sprendikas =
@di_L_dt_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius;
        sroviu_sprendikas =
@sroves_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius;
    else
        M_P.di_L_dt_sprendikas =
@di_L_dt_suntuojantis_diodas_nepaisant_magnetiniu_nuostolius;
        sroviu_sprendikas =

```

```

@sroves__suntuojantis_diodas__nepaisant_magnetiniu_nuostoliu;
    endif
endif

    % brėžiam progresą liniuotę
    ilgis = progreso_antrastes_ilgis + 2; if (progreso_tasku < ilgis) progreso_tasku = ilgis;
endif
    poslinkis = (progreso_tasku - ilgis) / 2; if (poslinkis > 4) poslinkis = 4; endif
    tekstas = '|'; for (i=1:poslinkis-1) tekstas = [tekstas, '_']; endfor
    tekstas = [tekstas, '|', progreso_antraste, '|'];
    for (i=1:progreso_tasku-poslinkis-ilgis-1) tekstas = [tekstas, '_']; endfor; tekstas =
[tekstas, '|'];
    disp(tekstas);

    % paruošiam progresą kintamuosius
    M_P.progresas.taskai = linspace(t_0, t_0+t_mod, progreso_tasku - 1);
    M_P.progresas.tasku_kiekis = progreso_tasku - 1;
    M_P.progresas.taskas = 1;

    % integruojam
    lsode_options('maximum step size', (laiko_tinklelis(2) - laiko_tinklelis(1)) / 2);
    lsode_options('initial step size', 1e-6);
    lsode_options('absolute tolerance', 1e-8);
    lsode_options('relative tolerance', 1e-8);
    [y, busena, pranesimas]=lsode(@integravimas, pradines_salygos, laiko_tinklelis);
    if (busena != 2)
        error('*** Klaida: integravimas nutrūko, nes: %s', pranesimas);
    endif

    % apskaičiuojam reikiamus parametrus
    K_A = zeros(N_mod, 1); K_B = K_A;
    i_A1 = zeros(N_mod, 1); i_A2 = i_A1; i_B1 = i_A1; i_B2 = i_A1; i_A = i_A1; i_B =
i_A1;
    u_m = zeros(N_mod, 1);
    F_em = zeros(N_mod, 1);
    F = zeros(N_mod, 1);
    for (n=1:N_mod)
        % sužinom raktų būsenas
        [K_A(n), K_B(n)] = suzinok_raktu_busenas(laiko_tinklelis(n));
        % apskaičiuojam sroves
        [y(n, M_P.indeksai.i_AL), y(n, M_P.indeksai.i_BL), ...
        i_A1(n), i_B1(n), i_A2(n), i_B2(n), i_A(n), i_B(n)] = sroviu_sprendikas(K_A(n),
K_B(n),
M_P.indeksai.i_BL),
y(n, M_P.indeksai.i_AL), y(n,
y(n, M_P.indeksai.h));

```

```

    % apskaičiuojam maitinimo šaltinio įtampą
    u_m(n) = M_P.parametrai.E_m - (i_A(n) + i_B(n)) * M_P.parametrai.R_m;
    % apskaičiuojam pavaros judžiąją dalį veikiančią elektromagnetinę jėgą
    [dL_A_dh, dL_B_dh] = apskaiciuok_dL_dh(y(n, M_P.indeksai.h));
    F_em(n) = apskaiciok_elektromagnetine_jega(y(n, M_P.indeksai.i_AL), y(n,
M_P.indeksai.i_BL), dL_A_dh, dL_B_dh);
    % apskaičiuojam suminę pavaros judžiąją dalį veikiančią jėgą
    F(n) = F_em(n) - M_P.parametrai.R_mch * y(n, M_P.indeksai.v) -
M_P.parametrai.c * y(n, M_P.indeksai.h);
endfor

```

```

% baigiam rodyti progresą
fprintf('*\n');

```

```

% grąžinam modeliavimo rezultatus:
% laiko tinklelis
rezultatai = laiko_tinklelis;
% ritės A rakto(-u) būsenos
rezultatai(:, 2) = K_A;
% ritės B rakto(-u) būsenos
rezultatai(:, 3) = K_B;
% srovė maitinimo grandinėje
rezultatai(:, 4) = i_A + i_B;
% maitinimo šaltinio įtampa
rezultatai(:, 5) = u_m;
% ritės A gradinę maitinančioji srovė
rezultatai(:, 6) = i_A;
% ritės B gradinę maitinančioji srovė
rezultatai(:, 7) = i_B;
% srovė idealioje ritėje A
rezultatai(:, 8) = y(:, M_P.indeksai.i_AL);
% srovė idealioje ritėje B
rezultatai(:, 9) = y(:, M_P.indeksai.i_BL);
% srovė ritės A rezistoriuje R_A1
rezultatai(:, 10) = i_A1;
% srovė ritės B rezistoriuje R_B1
rezultatai(:, 11) = i_B1;
% srovė ritės A magnetinių nuostolių rezistoriuje R_A2
rezultatai(:, 12) = i_A2;
% srovė ritės B magnetinių nuostolių rezistoriuje R_B2
rezultatai(:, 13) = i_B2;
% pavaros judžiosios dalies greitis
rezultatai(:, 14) = y(:, M_P.indeksai.v);
% pavaros judžiosios dalies koordinatė
rezultatai(:, 15) = y(:, M_P.indeksai.h);
% pavaros judžiąją dalį veikianti elektromagnetinė jėga
rezultatai(:, 16) = F_em;
% suminė pavaros judžiąją dalį veikianti jėga

```



```
rezultatai(:, 17) = F;
```

```
endfunction
```

```
% pagal duotą laiko momentą apskaičiuojam rites komutuojančių raktų būsenas (0 - išjungtas, 1 - įjungtas)
```

```
function [K_A, K_B] = suzinok_raktu_busenai(t)
```

```
global M_P;
```

```
% apskaičiuojam nuo periodo pradžios praėjusį laiką (pradedant t=0, pirma įjungiamas K_A, O tik po to K_B)
```

```
t_s = rem(t, M_P.parametrai.T);
```

```
K_A = (t_s < M_P.parametrai.tau_A);
```

```
% apskaičiuojam nuo antro pusperiodžio praėjusį laiką
```

```
t_s = rem(t-M_P.parametrai.T_2, M_P.parametrai.T);
```

```
K_B = (t_s >= 0)&&(t_s < M_P.parametrai.tau_B);
```

```
endfunction
```

```
% apskaičiuojam pavaros judžiąją dalį veikiančią elektromagnetinę jėgą
```

```
function F_em = apskaiciok_elektromagnetine_jega(i_AL, i_BL, dL_A_dh, dL_B_dh)
```

```
F_em = (i_AL^2 * dL_A_dh) / 2 + (i_BL^2 * dL_B_dh) / 2;
```

```
endfunction
```

```
% skaitinio integravimo funkcija
```

```
function dx_dt = integravimas(x, t)
```

```
global M_P;
```

```
% sužinom raktų būsenas
```

```
[K_A, K_B] = suzinok_raktu_busenai(t);
```

```

% apskaičiuojam ričių induktivumo vertes
[L_A, L_B] = apskaiciuok_L(x(M_P.indeksai.h));

% apskaičiuojam ričių induktivumo išvestinės vertes
[dL_A_dh, dL_B_dh] = apskaiciuok_dL_dh(x(M_P.indeksai.h));

% apskaičiuojam sroves
[di_AL_dt, di_BL_dt] = M_P.di_L_dt_sprendikas(K_A, K_B, x(M_P.indeksai.i_AL),
x(M_P.indeksai.i_BL),
L_A, L_B, dL_A_dh, dL_B_dh, x(M_P.indeksai.h),
x(M_P.indeksai.v));

% apskaičiuojam pavaros judžiąją dalį veikiančią elektromagnetinę jėgą
F_em = apskaiciok_elektromagnetine_jega(x(M_P.indeksai.i_AL),
x(M_P.indeksai.i_BL), dL_A_dh, dL_B_dh);

% apskaičiuojam pavaros judžiosios dalies greičio išvestinę
dv_dt = (F_em - M_P.parametrai.R_mch * x(M_P.indeksai.v) - M_P.parametrai.c *
x(M_P.indeksai.h)) / M_P.parametrai.m;

% apskaičiuojam pavaros judžiosios dalies koordinatės išvestinę
dh_dt = x(M_P.indeksai.v);

% gražinam apskaičiuotas vertes
dx_dt(M_P.indeksai.i_AL) = di_AL_dt;
dx_dt(M_P.indeksai.i_BL) = di_BL_dt;
dx_dt(M_P.indeksai.v) = dv_dt;
dx_dt(M_P.indeksai.h) = dh_dt;

% rodom progresą
if ((M_P.progresas.taskas > 0)&&(t >= M_P.progresas.taskai(M_P.progresas.taskas)))
    fprintf('*');
    if (M_P.progresas.taskas < M_P.progresas.tasku_kiekis)
        M_P.progresas.taskas = M_P.progresas.taskas + 1;
    else
        M_P.progresas.taskas = 0;
    endif
endif
endfunction

```

```

function rezultatai = modeliuk_pavara(tipas, t_mod, N_mod,
    h_LA_min, h_LA_max, h_LB_min, h_LB_max,
    h_RA_min, h_RA_max, h_RB_min, h_RB_max,
    m, c, R_mch, E_m, R_m, f, D_A, D_B, R_AG,
R_BG, R_K, U_VD,
    R_VD, R_A1, R_B1,
    R_A1_min, R_A1_max, R_B1_min, R_B1_max,
    R_A2_min, R_A2_max, R_B2_min, R_B2_max,
    L_A_min, L_A_max, L_B_min, L_B_max,
    pradzia)
% Modeliuojam tiesiaeiği švytuojanti mechatronini įtaisa - pjūklo pavara;
% ritė A yra koordinacių ašies teigiamoje dalyje, ritė B - neigiamoje;
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-04-05

% Funkcija priima BŪTINUS parametrus:
% tipas ----- pavaros maitinimo būdas (0 - „tiltelis“, 1 - „šuntuojantis
diodas“);
% t_mod (s) ---- modeliavimo trukmė;
% N_mod ----- žingsnių kiekis modeliavimo laikotarpyje (neįskaitant
pradinio žingsnio);
% h_LA_min (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro L
charakteristikos argumento minimumas, ritei A;
% h_LA_max (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro L
charakteristikos argumento maksimumas, ritei A;
% h_LB_min (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro L
charakteristikos argumento minimumas, ritei B;
% h_LB_max (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro L
charakteristikos argumento maksimumas, ritei B;
% h_RA_min (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro R
charakteristikos argumento minimumas, ritei A;
% h_RA_max (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro R
charakteristikos argumento maksimumas, ritei A;
% h_RB_min (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro R
charakteristikos argumento minimumas, ritei B;
% h_RB_max (m) - nuo judžiosios dalies priklausančio parametro R
charakteristikos argumento maksimumas, ritei B;
% m (kg) ----- pavaros judžiosios dalies masė;
% c (N/m) ----- pavaros mechaninės dalies standumas;
% R_mch (Ns/m) - pavaros mechaninė varža;
% E_m (V) ----- neapkrauto nuolatinės įtampos maitinimo šaltinio įtampa;
% R_m (Ω) ----- nuolatinės įtampos šaltinio vidaus varža;
% f (Hz) ----- ritę komutuojančio rakto(-ų) junginėjimo dažnis;
% D_A ----- rakto A įjungimo santykinė trukmė (0 - raktas neįjungiamas
... 1 - raktas įjungtas per visą junginėjimo periodą);
% D_B ----- rakto B įjungimo santykinė trukmė (0 - raktas neįjungiamas
... 1 - raktas įjungtas per visą junginėjimo periodą);
% R_AG (Ω) ----- „šuntuojantis diodas“ schemeje gesinimo rezistoriaus varža
ritės A grandinėje;
% R_BG (Ω) ----- „šuntuojantis diodas“ schemeje gesinimo rezistoriaus varža
ritės B grandinėje;
% R_K (Ω) ----- įjungto rakto(-ų) varža;
% U_VD (V) ----- įtampos kritimas ant atviro diodo(-ų);
% R_VD (Ω) ----- atviro diodo VACH statumo koeficientas;
% R_A1 (Ω) ----- ritės A ominė varža, kai įvertinami magnetiniai
nuostoliai;
% R_B1 (Ω) ----- ritės B ominė varža, kai įvertinami magnetiniai
nuostoliai;
% R_A1_min (Ω) - nuostolius ritėje A nusakančios varžos minimumas;

```

```

% R_A1_max ( $\Omega$ ) - nuostolius ritėje A nusakančios varžos maksimumas;
% R_B1_min ( $\Omega$ ) - nuostolius ritėje B nusakančios varžos minimumas;
% R_B1_max ( $\Omega$ ) - nuostolius ritėje B nusakančios varžos maksimumas;
% R_A2_min ( $\Omega$ ) - magnetinius nuostolius ritėje A nusakančios varžos
minimumas;
% R_A2_max ( $\Omega$ ) - magnetinius nuostolius ritėje A nusakančios varžos
maksimumas;
% R_B2_min ( $\Omega$ ) - magnetinius nuostolius ritėje B nusakančios varžos
minimumas;
% R_B2_max ( $\Omega$ ) - magnetinius nuostolius ritėje B nusakančios varžos
maksimumas;
% L_A_min (H) -- ritės A induktyvumo minimumas;
% L_A_max (H) -- ritės A induktyvumo maksimumas;
% L_B_min (H) -- ritės B induktyvumo minimumas;
% L_B_max (H) -- ritės B induktyvumo maksimumas;

% Jei pavaros modelyje įvertinama maitinimo šaltinio vidaus varža, tai
parametras „R_m“ turi tūrėti
% konkrečią vertę. Antraip, „R_m“ turi būti „0“.
% Jei pavaros modelyje įvertinama įjungtų raktų (lauktranzijų) varžą, tai
parametras „R_K“ turi tūrėti
% konkrečią vertę. Antraip, „R_K“ turi būti „0“.
% Jei pavaros modelyje įvertinamas įtampos kritimas ant atviro diodo, tai
parametras „U_VD“ turi tūrėti
% konkrečią vertę. Antraip, „U_VD“ turi būti „0“.
% Jei pavaros modelyje atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai, tai
parametrų „R_A2“ ir „R_B2“ ribos turi tūrėti konkrečią vertę.
% Antraip, „R_A2“ ir „R_B2“ ribos turi būti „Inf“;
% Jei pavaros modelyje atskirai įvertinami magnetiniai nuostoliai, tai
parametras „R_A1“ ir „R_B1“ turi tūrėti konkrečią vertę.
% Antraip, „R_A1“ ir „R_B1“ turi būti „Inf“;

```

```

butinu_parametru_kiekis = 38;

```

```

% Funkcija priima GALIMUS parametrus:
% pradzia --- pradinių sąlygų vektorius, kurio elementai:
% 1 – t (s) ---- laiko momentas, kuriame apskaičiuotos parametrų
(tolesni stulpeliai) vertės;
% 2 – i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
% 3 – i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
% 4 – v (m/s) -- pavaros judžiosios dalies greitis;
% 5 – h (m) ---- pavaros judžiosios dalies koordinatė;

```

```

galimu_parametru_kiekis = 1;
parametro_pradzia_ilgis = 5;

```

```

% Funkcija kaip rezultata grąžina matricą, kurios stulpeliai:
% 1 – t (s) ---- laiko momentas, kuriame apskaičiuotos parametrų (tolesni
stulpeliai) vertės;
% 2 – K_A ----- ritės A rakto(-ų) būseną (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% 3 – K_B ----- ritės B rakto(-ų) busena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% 4 – i_m (A) -- srovė maitinimo grandinėje;
% 5 – u_m (V) -- maitinimo šaltinio įtampa;
% 6 – i_A (A) -- grandinės su rite A srovė;
% 7 – i_B (A) -- grandinės su rite B srovė;
% 8 – i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
% 9 – i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
% 10 – i_A1 (A) - srovė ritės A rezistoriuje R_A1;
% 11 – i_B1 (A) - srovė ritės B rezistoriuje R_B1;
% 12 – i_A2 (A) - srovė ritės A magnetinių nuostolių rezistoriuje R_A2;
% 13 – i_B2 (A) - srovė ritės B magnetinių nuostolių rezistoriuje R_B2;
% 14 – v (m/s) -- pavaros judžiosios dalies greitis;

```

```

% 15 – h (m) ---- pavaros judžiosios dalies koordinatė;
% 16 – F_em (N) - pavaros judžiąją dalį veikianti elektromagnetinė jėga;
% 17 – F (N) ---- suminė pavaros judžiąją dalį veikianti jėga;

% nustatymai
progreso_tasku = 100; % skaičiavimų eigos progreso liniuotės ilgis
progreso_antraste = 'skaičiuojama'; % progreso liniuotėje užrašomas
pavadinimas
progreso_antrastes_ilgis = 12; % pavadinimo ilgis, nes nežinia kuom
sužinot simbolių kiekį unikodiniame tekste

% žiūrime ar išorė pateikė pakankamai parametrų
pateikta_papildomu_parametru = nargin - butinu_parametru_kiekis;
if (nargin < butinu_parametru_kiekis)
    error('funkcijai „modeliuok_pavara“ perduoti tik %d parametrai
iš %d būtinų.', nargin, butinu_parametru_kiekis);
elseif (pateikta_papildomu_parametru > 0)
    % tikrinam papildomus parametrus
    if (pateikta_papildomu_parametru > galimu_parametru_kiekis)
        error('funkcijai „modeliuok_pavara“ perduotų papildomų
parametrų kiekis (%d) viršija leistiną (%d).', pateikta_papildomu_parametru,
galimu_parametru_kiekis);
    endif
    ilgis = length(pradzia);
    if (ilgis != parametro_pradzia_ilgis)
        error('funkcijai „modeliuok_pavara“ perduoto papildomo
parametro „pradzia“ elementų kiekis (%d) neatitinka reikiamo (%d).', ilgis,
parametro_pradzia_ilgis);
    endif
endif

global M_P; % šios funkcijos priklausiniuose naudojami parametrai

% parametrų indeksai skaitinio integravimo sprendinyje;
% eiliškumas ir kiekis turi būti kaip papildomo parametro „pradzia“
(atmetus pirmąjį elementą „t“)
M_P.indeksai.i_AL = 1;
M_P.indeksai.i_BL = 2;
M_P.indeksai.v = 3;
M_P.indeksai.h = 4;

% įsime nam funkcijai pateiktus parametrus:
% nuo judžiosios dalies padėties priklausančių parametrų
charakteristikų vertės
M_P.parametrai.h_LA_min = h_LA_min;
M_P.parametrai.h_LA_max = h_LA_max;
M_P.parametrai.h_LB_min = h_LB_min;
M_P.parametrai.h_LB_max = h_LB_max;
M_P.parametrai.h_RA_min = h_RA_min;
M_P.parametrai.h_RA_max = h_RA_max;
M_P.parametrai.h_RB_min = h_RB_min;
M_P.parametrai.h_RB_max = h_RB_max;
% ričių induktyvumo charakteristikos
M_P.parametrai.L_A_min = L_A_min;
M_P.parametrai.L_A_max = L_A_max;
M_P.parametrai.L_B_min = L_B_min;
M_P.parametrai.L_B_max = L_B_max;

```

```

% raktų junginėjimo parametrai
M_P.parametrai.T = 1/f; % periodas (s)
M_P.parametrai.T_2 = M_P.parametrai.T/2; % pusperiodis (s)
M_P.parametrai.tau_A = M_P.parametrai.T * D_A; % rakto A įjungimo
trukmė (s)
M_P.parametrai.tau_B = M_P.parametrai.T * D_B; % rakto B įjungimo
trukmė (s)
% mechaninės dalies parametrai
M_P.parametrai.m = m;
M_P.parametrai.c = c;
M_P.parametrai.R_mch = R_mch;
% matavimo šaltinio parametrai
M_P.parametrai.E_m = E_m;
M_P.parametrai.R_m = R_m;
% srovės gesinimo rezistoriai
M_P.parametrai.R_AG = R_AG;
M_P.parametrai.R_BG = R_BG;
% raktų parametrai
M_P.parametrai.R_K = R_K;
% diodų parametrai
M_P.parametrai.U_VD = U_VD;
M_P.parametrai.R_VD = R_VD;
% ričių parametrai
M_P.parametrai.R_A1 = R_A1;
M_P.parametrai.R_B1 = R_B1;
M_P.parametrai.R_A1_min = R_A1_min;
M_P.parametrai.R_A1_max = R_A1_max;
M_P.parametrai.R_B1_min = R_B1_min;
M_P.parametrai.R_B1_max = R_B1_max;
M_P.parametrai.R_A2_min = R_A2_min;
M_P.parametrai.R_A2_max = R_A2_max;
M_P.parametrai.R_B2_min = R_B2_min;
M_P.parametrai.R_B2_max = R_B2_max;

% suformuojam pradines sąlygas
if (pateikta_papildomu_parametru >= 1)
    dydis = size(pradzia);
    if (dydis(1) < dydis(2))
        pradines_salygos = pradzia(2:end);
    else
        pradines_salygos = pradzia(2:end)';
    endif
else
    pradines_salygos = zeros(1, parametro_pradzia_ilgis - 1);
endif

% suformuojam laiko tinklėlį
if (pateikta_papildomu_parametru >= 1)
    t_0 = pradzia(1);
else
    t_0 = 0;
endif
laiko_tinklelis = linspace(t_0, t_0+t_mod, N_mod);

% išvalom tarpinių kintamųjų vertes
clear di_L_dt_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius;
clear di_L_dt_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu;
clear di_L_dt_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius;
clear di_L_dt_suntuojantis_diodas_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu;
clear sroves_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius;
clear sroves_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu;
clear sroves_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius;

```

```

clear sroves__suntuojantis_diodas__nepaisant_magnetiniu_nuostoliu;
clear apskaiciuok_L;

% parenkam lygtis sprendžiančias funkcijas
if (tipas == 0)
    % apvijojos maitinimo būdas „tiltelis“
    if (!isinf(R_A2_min) && !isinf(R_A2_max) && !isinf(R_B2_min)
&& !isinf(R_B2_max))
        M_P.di_L_dt_sprendikas =
@di_L_dt__tiltelis__ivertinus_magnetinius_nuostolius;
        sroviu_sprendikas =
@sroves__tiltelis__ivertinus_magnetinius_nuostolius;
    else
        M_P.di_L_dt_sprendikas =
@di_L_dt__tiltelis__nepaisant_magnetiniu_nuostoliu;
        sroviu_sprendikas =
@sroves__tiltelis__nepaisant_magnetiniu_nuostoliu;
    endif
else
    % apvijojos maitinimo būdas „šuntuojantis diodas“
    if (!isinf(R_A2_min) && !isinf(R_A2_max) && !isinf(R_B2_min)
&& !isinf(R_B2_max))
        M_P.di_L_dt_sprendikas =
@di_L_dt__suntuojantis_diodas__ivertinus_magnetinius_nuostolius;
        sroviu_sprendikas =
@sroves__suntuojantis_diodas__ivertinus_magnetinius_nuostolius;
    else
        M_P.di_L_dt_sprendikas =
@di_L_dt__suntuojantis_diodas__nepaisant_magnetiniu_nuostoliu;
        sroviu_sprendikas =
@sroves__suntuojantis_diodas__nepaisant_magnetiniu_nuostoliu;
    endif
endif

% brėžiam progreso liniuotę
ilgis = progreso_antrastes_ilgis + 2; if (progreso_tasku < ilgis)
progreso_tasku = ilgis; endif
poslinkis = (progreso_tasku - ilgis) / 2; if (poslinkis > 4) poslinkis =
4; endif
tekstas = '|'; for (i=1:poslinkis-1) tekstas = [tekstas, '_']; endfor
tekstas = [tekstas, ' ', progreso_antraste, ' '];
for (i=1:progreso_tasku-poslinkis-ilgis-1) tekstas = [tekstas, '_'];
endfor; tekstas = [tekstas, '|'];
disp(tekstas);

% paruošiam progreso kintamuosius
M_P.progresas.taskai = linspace(t_0, t_0+t_mod, progreso_tasku - 1);
M_P.progresas.tasku_kiekis = progreso_tasku - 1;
M_P.progresas.taskas = 1;

% integruojam
lsode_options('maximum step size', (laiko_tinklelis(2) -
laiko_tinklelis(1)) / 2);
lsode_options('initial step size', 1e-6);
lsode_options('absolute tolerance', 1e-8);
lsode_options('relative tolerance', 1e-8);
[y, busena, pranesimas]=lsode(@integravimas, pradines_salygos,
laiko_tinklelis);
if (busena != 2)
    error(' *** Klaida: integravimas nutrūko, nes: %s', pranesimas);
end

```

```

endif

% apskaičiuojam reikiamus parametrus
K_A = zeros(N_mod, 1); K_B = K_A;
i_A1 = zeros(N_mod, 1); i_A2 = i_A1; i_B1 = i_A1; i_B2 = i_A1; i_A =
i_A1; i_B = i_A1;
u_m = zeros(N_mod, 1);
F_em = zeros(N_mod, 1);
F = zeros(N_mod, 1);
for (n=1:N_mod)
    % sužinom raktų būsenas
    [K_A(n), K_B(n)] = suzinok_raktu_busenais(laiko_tinklelis(n));
    % apskaičiuojam sroves
    [y(n, M_P.indeksai.i_AL), y(n, M_P.indeksai.i_BL), ...
    i_A1(n), i_B1(n), i_A2(n), i_B2(n), i_A(n), i_B(n)] =
sroviu_sprendikas(K_A(n), K_B(n),
y(n, M_P.indeksai.i_AL), y(n, M_P.indeksai.i_BL),
y(n, M_P.indeksai.h));
    % apskaičiuojam maitinimo šaltinio įtampą
    u_m(n) = M_P.parametrai.E_m - (i_A(n) + i_B(n)) *
M_P.parametrai.R_m;
    % apskaičiuojam pavaros judžiąją dalį veikiančią
elektromagnetinę jėgą
    [dL_A_dh, dL_B_dh] = apskaiciuok_dL_dh(y(n, M_P.indeksai.h));
    F_em(n) = apskaiciok_elektromagnetine_jega(y(n,
M_P.indeksai.i_AL), y(n, M_P.indeksai.i_BL), dL_A_dh, dL_B_dh);
    % apskaičiuojam suminę pavaros judžiąją dalį veikiančią jėgą
    F(n) = F_em(n) - M_P.parametrai.R_mch * y(n, M_P.indeksai.v) -
M_P.parametrai.c * y(n, M_P.indeksai.h);
endfor

% baigiam rodyti progresą
fprintf('*\n');

% gražinam modeliavimo rezultatus:
% laiko tinklelis
rezultatai = laiko_tinklelis';
% ritės A rakto(-ų) būsenos
rezultatai(:, 2) = K_A;
% ritės B rakto(-ų) būsenos
rezultatai(:, 3) = K_B;
% srovė maitinimo grandinėje
rezultatai(:, 4) = i_A + i_B;
% maitinimo šaltinio įtampa
rezultatai(:, 5) = u_m;
% ritės A grandinę maitinančioji srovė
rezultatai(:, 6) = i_A;
% ritės B grandinę maitinančioji srovė
rezultatai(:, 7) = i_B;
% srovė idealioje ritėje A
rezultatai(:, 8) = y(:, M_P.indeksai.i_AL);
% srovė idealioje ritėje B
rezultatai(:, 9) = y(:, M_P.indeksai.i_BL);
% srovė ritės A rezistoriuje R_A1
rezultatai(:, 10) = i_A1;
% srovė ritės B rezistoriuje R_B1
rezultatai(:, 11) = i_B1;
% srovė ritės A magnetinių nuostolių rezistoriuje R_A2
rezultatai(:, 12) = i_A2;
% srovė ritės B magnetinių nuostolių rezistoriuje R_B2

```



```

rezultatai(:, 13) = i_B2;
% pavaros judžiosios dalies greitis
rezultatai(:, 14) = y(:, M_P.indeksai.v);
% pavaros judžiosios dalies koordinatė
rezultatai(:, 15) = y(:, M_P.indeksai.h);
% pavaros judžiąją dalį veikianti elektromagnetinė jėga
rezultatai(:, 16) = F_em;
% suminė pavaros judžiąją dalį veikianti jėga
rezultatai(:, 17) = F;

```

endfunction

```

% pagal duotą laiko momentą apskaičiuojam rites komutuojančių raktų būsenas (0
- išjungtas, 1 - įjungtas)

```

```
function [K_A, K_B] = suzinok_raktu_busenai(t)
```

```
global M_P;
```

```

% apskaičiuojam nuo periodo pradžios praėjusį laiką (pradedant t=0,
pirma įjungiamas K_A, 0 tik po to K_B)

```

```
t_s = rem(t, M_P.parametrai.T);
```

```
K_A = (t_s < M_P.parametrai.tau_A);
```

```

% apskaičiuojam nuo antro pusperiodžio praėjusį laiką

```

```
t_s = rem(t-M_P.parametrai.T_2, M_P.parametrai.T);
```

```
K_B = (t_s >= 0)&&(t_s < M_P.parametrai.tau_B);
```

endfunction

```

% apskaičiuojam pavaros judžiąją dalį veikiančią elektromagnetinę jėgą

```

```
function F_em = apskaiciok_elektromagnetine_jega(i_AL, i_BL, dL_A_dh, dL_B_dh)
```

```
F_em = (i_AL^2 * dL_A_dh) / 2 + (i_BL^2 * dL_B_dh) / 2;
```

endfunction

```

% skaitinio integravimo funkcija

```

```
function dx_dt = integravimas(x, t)
```

```
global M_P;
```

```

% sužinom raktų būsenas

```

```
[K_A, K_B] = suzinok_raktu_busenai(t);
```

```

% apskaičiuojam ričių induktivumo vertes

```

```
[L_A, L_B] = apskaiciuok_L(x(M_P.indeksai.h));
```

```

% apskaičiuojam ričių induktivumo išvestinės vertes

```

```
[dL_A_dh, dL_B_dh] = apskaiciuok_dL_dh(x(M_P.indeksai.h));
```

```

    % apskaičiuojam sroves
    [di_AL_dt, di_BL_dt] = M_P.di_L_dt_sprendikas(K_A, K_B,
x(M_P.indeksai.i_AL), x(M_P.indeksai.i_BL),
    L_A, L_B, dL_A_dh, dL_B_dh,
x(M_P.indeksai.h), x(M_P.indeksai.v));

    % apskaičiuojam pavaros judžiąją dalį veikiančią elektromagnetinę jėgą
    F_em = apskaiciok_elektromagnetine_jega(x(M_P.indeksai.i_AL),
x(M_P.indeksai.i_BL), dL_A_dh, dL_B_dh);

    % apskaičiuojam pavaros judžiosios dalies greičio išvestinę
    dv_dt = (F_em - M_P.parametrai.R_mch * x(M_P.indeksai.v) -
M_P.parametrai.c * x(M_P.indeksai.h)) / M_P.parametrai.m;

    % apskaičiuojam pavaros judžiosios dalies koordinatės išvestinę
    dh_dt = x(M_P.indeksai.v);

    % gražinam apskaičiuotas vertes
    dx_dt(M_P.indeksai.i_AL) = di_AL_dt;
    dx_dt(M_P.indeksai.i_BL) = di_BL_dt;
    dx_dt(M_P.indeksai.v) = dv_dt;
    dx_dt(M_P.indeksai.h) = dh_dt;

    % rodom progresą
    if ((M_P.progresas.taskas > 0)&&(t >=
M_P.progresas.taskai(M_P.progresas.taskas)))
        fprintf('*');
        if (M_P.progresas.taskas < M_P.progresas.tasku_kiekis)
            M_P.progresas.taskas = M_P.progresas.taskas + 1;
        else
            M_P.progresas.taskas = 0;
        endif
    endif

endfunction

```

```

function [dL_A_dh, dL_B_dh] = apskaičiuok_dL_dh(h)

% Apskaičiuojam abiejų mechatroninio įtaiso apvijų induktyvumą išvestines pagal
% koordinatę,
% kurie priklauso nuo judžiosios dalies padėties
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-04-05

% Funkcijai perduodami prametrai:
%   h (m) - judžiosios dalies koordinatė

% Funkcija grąžina parametrus:
%   dL_A_dh (H) - ritės A induktyvumo išvestinė;
%   dL_B_dh (H) - ritės B induktyvumo išvestinė;

    global M_P;

    persistent A = (M_P.parametrai.L_A_max - M_P.parametrai.L_A_min) / 2;
    persistent k_A = pi / (M_P.parametrai.h_LA_max -
M_P.parametrai.h_LA_min);
    persistent fi_A = k_A * (M_P.parametrai.h_LA_max +
M_P.parametrai.h_LA_min) / 2;

    % ritės A induktyvumo išvestinė
    h_s = h;
    if (h_s >= M_P.parametrai.h_LA_max)
        h_s = M_P.parametrai.h_LA_max;
    elseif (h_s <= M_P.parametrai.h_LA_min)
        h_s = M_P.parametrai.h_LA_min;
    endif
    dL_A_dh = A * cos(k_A * h_s - fi_A) * k_A;

    persistent B = (M_P.parametrai.L_B_max - M_P.parametrai.L_B_min) / 2;
    persistent k_B = pi / (M_P.parametrai.h_LB_min -
M_P.parametrai.h_LB_max);
    persistent fi_B = k_B * (M_P.parametrai.h_LB_min +
M_P.parametrai.h_LB_max) / 2;

    % ritės B induktyvumo išvestinė;
    % ritės B atžvilgiu judžiosios dalies koordinatė h yra priešingo ženklo
    h_s = h;
    if (h_s <= M_P.parametrai.h_LB_max)
        h_s = M_P.parametrai.h_LB_max;
    elseif (h_s >= M_P.parametrai.h_LB_min)
        h_s = M_P.parametrai.h_LB_min;
    endif
    dL_B_dh = -B * cos(k_B * h_s - fi_B) * k_B;

endfunction

```

```

function [L_A, L_B] = apskaičiuok_L(h)

% Apskaičiuojam abiejų mechatroninio įtaiso apvijų induktyvumus,
% kurie priklauso nuo judžiosios dalies padėties
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-04-05

% Funkcijai perduodami parametrai:
%   h (m) - judžiosios dalies koordinatė

% Funkcija grąžina parametrus:
%   L_A (H) - ritės A induktyvumas;
%   L_B (H) - ritės B induktyvumas;

    global M_P;

    persistent A = (M_P.parametrai.L_A_max - M_P.parametrai.L_A_min) / 2;
    persistent k_A = pi / (M_P.parametrai.h_LA_max -
M_P.parametrai.h_LA_min);
    persistent fi_A = k_A * (M_P.parametrai.h_LA_max +
M_P.parametrai.h_LA_min) / 2;

    % ritės A induktyvumas
    h_s = h;
    if (h_s >= M_P.parametrai.h_LA_max)
        h_s = M_P.parametrai.h_LA_max;
    elseif (h_s <= M_P.parametrai.h_LA_min)
        h_s = M_P.parametrai.h_LA_min;
    endif
    L_A = M_P.parametrai.L_A_min + (sin(k_A * h_s - fi_A) + 1) * A;

    persistent B = (M_P.parametrai.L_B_max - M_P.parametrai.L_B_min) / 2;
    persistent k_B = pi / (M_P.parametrai.h_LB_min -
M_P.parametrai.h_LB_max);
    persistent fi_B = k_B * (M_P.parametrai.h_LB_min +
M_P.parametrai.h_LB_max) / 2;

    % ritės B induktyvumas;
    % ritės B atžvilgiu judžiosios dalies koordinatė h yra priešingo ženklo
    h_s = h;
    if (h_s <= M_P.parametrai.h_LB_max)
        h_s = M_P.parametrai.h_LB_max;
    elseif (h_s >= M_P.parametrai.h_LB_min)
        h_s = M_P.parametrai.h_LB_min;
    endif
    L_B = M_P.parametrai.L_B_max - (sin(k_B * h_s - fi_B) + 1) * B;

endfunction

```

```

function [R_A1, R_B1] = apskaičiuok_R_1(h)

% Apskaičiuojam abiejose pavaros apvijose
% nuostolių rezistorių varžas, kurios priklauso nuo judžiosios dalies padėties
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-04-05

% Funkcijai perduodami parametrai:
% h (m) - judžiosios dalies koordinatė

% Funkcija grąžina parametrus:
% R_A1 (Ω) - ritės A nuostolių varža;
% R_B1 (Ω) - ritės B nuostolių varža;

    global M_P;

    persistent A = (M_P.parametrai.R_A1_max - M_P.parametrai.R_A1_min) / 2;
    persistent k_A = pi / (M_P.parametrai.h_RA_max -
M_P.parametrai.h_RA_min);
    persistent fi_A = k_A * (M_P.parametrai.h_RA_max +
M_P.parametrai.h_RA_min) / 2;

    % ritės A nuostolių varža
    h_s = h;
    if (h_s >= M_P.parametrai.h_RA_max)
        h_s = M_P.parametrai.h_RA_max;
    elseif (h_s <= M_P.parametrai.h_RA_min)
        h_s = M_P.parametrai.h_RA_min;
    endif
    R_A1 = M_P.parametrai.R_A1_min + (sin(k_A * h_s - fi_A) + 1) * A;

    persistent B = (M_P.parametrai.R_B1_max - M_P.parametrai.R_B1_min) / 2;
    persistent k_B = pi / (M_P.parametrai.h_RB_min -
M_P.parametrai.h_RB_max);
    persistent fi_B = k_B * (M_P.parametrai.h_RB_min +
M_P.parametrai.h_RB_max) / 2;

    % ritės B magnetinės grandinės nuostolių varža;
    % ritės B atžvilgiu judžiosios dalies koordinatė h yra priešingo ženklo
    h_s = h;
    if (h_s <= M_P.parametrai.h_RB_max)
        h_s = M_P.parametrai.h_RB_max;
    elseif (h_s >= M_P.parametrai.h_RB_min)
        h_s = M_P.parametrai.h_RB_min;
    endif
    R_B1 = M_P.parametrai.R_B1_max - (sin(k_B * h_s - fi_B) + 1) * B;

endfunction

```

```

function [R_A2, R_B2] = apskaičiuok_R_2(h)

% Apskaičiuojam abiejose mechatroninio įtaiso apvijų magnetinėse grandinėse
% magnetinius
% nuostolius įvertinančių rezistorių varžas, kurios priklauso nuo judžiosios
% dalies padėties
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-04-05

% Funkcijai perduodami parametrai:
%   h (m) - judžiosios dalies koordinatė

% Funkcija grąžina parametrus:
%   R_A2 (Ω) - ritės A magnetinės grandinės nuostolių varža;
%   R_B2 (Ω) - ritės B magnetinės grandinės nuostolių varža;

    global M_P;

    persistent A = (M_P.parametrai.R_A2_max - M_P.parametrai.R_A2_min) / 2;
    persistent k_A = pi / (M_P.parametrai.h_RA_max -
M_P.parametrai.h_RA_min);
    persistent fi_A = k_A * (M_P.parametrai.h_RA_max +
M_P.parametrai.h_RA_min) / 2;

    % ritės A magnetinės grandinės nuostolių varža
    h_s = h;
    if (h_s >= M_P.parametrai.h_RA_max)
        h_s = M_P.parametrai.h_RA_max;
    elseif (h_s <= M_P.parametrai.h_RA_min)
        h_s = M_P.parametrai.h_RA_min;
    endif
    R_A2 = M_P.parametrai.R_A2_min + (sin(k_A * h_s - fi_A) + 1) * A;

    persistent B = (M_P.parametrai.R_B2_max - M_P.parametrai.R_B2_min) / 2;
    persistent k_B = pi / (M_P.parametrai.h_RB_min -
M_P.parametrai.h_RB_max);
    persistent fi_B = k_B * (M_P.parametrai.h_RB_min +
M_P.parametrai.h_RB_max) / 2;

    % ritės B magnetinės grandinės nuostolių varža;
    % ritės B atžvilgiu judžiosios dalies koordinatė h yra priešingo ženklo
    h_s = h;
    if (h_s <= M_P.parametrai.h_RB_max)
        h_s = M_P.parametrai.h_RB_max;
    elseif (h_s >= M_P.parametrai.h_RB_min)
        h_s = M_P.parametrai.h_RB_min;
    endif
    R_B2 = M_P.parametrai.R_B2_max - (sin(k_B * h_s - fi_B) + 1) * B;

endfunction

```

```

function [di_AL_dt, di_BL_dt] =
di_L_dt_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius(K_A, K_B, i_AL,
i_BL, L_A, L_B, dL_A_dh, dL_B_dh, h, v)

% „šuntuojantis diodas“ maitinimo būdui skaičiuojama srovės idealioje ritėje
išvestinė, įvertinus magnetinius nuostolius,
% įjungto rakto varžą ir įtampos kritimą atviram diode;
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-03-27

% Funkcijai perduodami parametrai:
% K_A ----- rakto A būseną (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% K_B ----- rakto B būseną (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% i_AL (A) ----- srovė idealioje ritėje A;
% i_BL (A) ----- srovė idealioje ritėje B;
% L_A (H) ----- ritės A induktyvumas;
% L_B (H) ----- ritės B induktyvumas;
% dL_A_dh (H/m) - ritės A induktyvumo išvestinė pagal pavaros judžiosios
dalies padėtį;
% dL_B_dh (H/m) - ritės B induktyvumo išvestinė pagal pavaros judžiosios
dalies padėtį;
% h (m) ----- pavaros judžiosios dalies padėtis;
% v (m/s) ----- pavaros judžiosios dalies greitis;

% Funkcija grąžina parametrus:
% di_AL_dt (A/s) - srovės idealioje ritėje A išvestinė pagal laiką;
% di_BL_dt (A/s) - srovės idealioje ritėje B išvestinė pagal laiką;

global M_P;

% apskaičiuojam magnetinės grandinės nuostolių varžas
[R_A2, R_B2] = apskaiciuok_R_2(h);

if ((K_A > 0)&&(K_B > 0))
    % lygtys, kai įjungti K_A ir K_B raktai

    % apskaičiuojam srovę maitinimo šaltinio šakoje
    i_m = funkcija_DV1(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
    % apskaičiuojam srovių idealiose ritėse išvestines
    di_AL_dt = funkcija_DV2A(i_m, i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2);
    di_BL_dt = funkcija_DV2B(i_m, i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2);
else
    % lygtys, kai raktai išjungti ar įjungtas bent vienas raktas

    % grandinė su rite A
    if (K_A > 0)
        % lygtys, kai raktas K_A įjungtas

        % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę
        di_AL_dt = funkcija_DV5A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2);
    else
        % lygtys, kai raktas K_A išjungtas

        % norint sužinoti diodo VD_A būseną, reikia
        apskaičiuoti srovę ritės A ominiame rezistoriuje R_A1
        i_A1 = funkcija_DV7A(i_AL, R_A2);

        if (i_A1 > 0)
            % lygtys, kai diodas VD_A atviras

```

```

                                % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A
išvestinę                                di_AL_dt = funkcija_DV8A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v,
R_A2);
                                else
                                % lygtys, kai diodas VD_A uždaras

                                % srovės idealioje ritėje A išvestinė priklauso
nuo to ar dar yra sukauptos energijos
                                if (i_AL > 0)
                                    % energijos magnetiniame lauke dar yra
dL_A_dh, v, R_A2);                                di_AL_dt = funkcija_DV9A(i_AL, L_A,
                                else
                                    % energija išseko
                                    di_AL_dt = 0;
                                endif
                                endif
                                endif

                                % grandinė su rite B
                                if (K_B > 0)
                                    % lygtys, kai raktas K_B įjungtas

                                    % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę
di_BL_dt = funkcija_DV5B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2);
                                else
                                    % lygtys, kai raktas K_B išjungtas

                                    % norint sužinoti diodo VD_B būseną, reikia
apskaičiuoti srovę ritės B ominiame rezistoriuje R_B1
                                i_B1 = funkcija_DV7B(i_BL, R_B2);

                                if (i_B1 > 0)
                                    % lygtys, kai diodas VD_B atviras

                                    % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B
išvestinę                                di_BL_dt = funkcija_DV8B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v,
R_B2);
                                else
                                    % lygtys, kai diodas VD_B uždaras

                                    % srovės idealioje ritėje B išvestinė priklauso
nuo to ar dar yra sukauptos energijos
                                if (i_BL > 0)
                                    % energijos magnetiniame lauke dar yra
dL_B_dh, v, R_B2);                                di_BL_dt = funkcija_DV9B(i_BL, L_B,
                                else
                                    % energija išseko
                                    di_BL_dt = 0;
                                endif
                                endif
                                endif
                                endif
                                endif
endfunction

```


% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktai K_A ir K_B įjungti

```
function i_m = funkcija_DV1(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
```

```
global M_P;
```

```
persistent A1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
```

```
persistent A2 = M_P.parametrai.E_m / A1;
```

```
persistent A3 = R_A2 / A1;
```

```
persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;
```

```
persistent B1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
```

```
persistent B2 = M_P.parametrai.E_m / B1;
```

```
persistent B3 = R_B2 / B1;
```

```
persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;
```

```
persistent C1 = 1 + A4 + B4;
```

```
i_m = (A2 + i_AL * A3 + B2 + i_BL * B3) / C1;
```

```
endfunction
```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktai K_A ir K_B įjungti

```
function di_AL_dt = funkcija_DV2A(i_m, i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent A1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
```

```
persistent A2 = M_P.parametrai.E_m * R_A2 / A1;
```

```
persistent A3 = M_P.parametrai.R_m * R_A2 / A1;
```

```
persistent A4 = R_A2 * (M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1) / A1;
```

```
di_AL_dt = (A2 - i_m * A3 - i_AL * (A4 + v * dL_A_dh)) / L_A;
```

```
endfunction
```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktai K_A ir K_B įjungti

```
function di_BL_dt = funkcija_DV2B(i_m, i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent B1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
```

```
persistent B2 = M_P.parametrai.E_m * R_B2 / B1;
```

```
persistent B3 = M_P.parametrai.R_m * R_B2 / B1;
```

```
persistent B4 = R_B2 * (M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1) / B1;
```

```
di_BL_dt = (B2 - i_m * B3 - i_BL * (B4 + v * dL_B_dh)) / L_B;
```

```
endfunction
```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A įjungtas, o raktas K_B išjungtas

```

function di_AL_dt = funkcija_DV5A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2)

    global M_P;

    persistent A1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2 +
M_P.parametrai.R_m;
    persistent A2 = M_P.parametrai.E_m * R_A2 / A1;
    persistent A3 = R_A2 * (M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 +
M_P.parametrai.R_m) / A1;

    di_AL_dt = (A2 - i_AL *(A3 + v * dL_A_dh)) / L_A;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinė, kai raktas K_A išjungtas, o raktas K_B įjungtas

```

function di_BL_dt = funkcija_DV5B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2)

    global M_P;

    persistent B1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2 +
M_P.parametrai.R_m;
    persistent B2 = M_P.parametrai.E_m * R_B2 / B1;
    persistent B3 = R_B2 * (M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 +
M_P.parametrai.R_m) / B1;

    di_BL_dt = (B2 - i_BL *(B3 + v * dL_B_dh)) / L_B;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovę ritės A ominiėje varžoje, kai raktas K_A išjungtas (VD_A atviras)

```

function i_A1 = funkcija_DV7A(i_AL, R_A2)

    global M_P;

    persistent A1 = M_P.parametrai.R_AG + M_P.parametrai.R_VD +
M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
    persistent A2 = -M_P.parametrai.U_VD / A1;
    persistent A3 = R_A2 / A1;

    i_A1 = A2 + i_AL * A3;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovę ritės B ominiėje varžoje, kai raktas K_B išjungtas (VD_A atviras)

```

function i_B1 = funkcija_DV7B(i_BL, R_B2)

    global M_P;

    persistent B1 = M_P.parametrai.R_BG + M_P.parametrai.R_VD +
M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;

```

```
persistent B2 = -M_P.parametrai.U_VD / B1;
persistent B3 = R_B2 / B1;
```

```
i_B1 = B2 + i_BL * B3;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A atviras)
```

```
function di_AL_dt = funkcija_DV8A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent A1 = M_P.parametrai.R_AG + M_P.parametrai.R_VD +
M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
persistent A2 = M_P.parametrai.U_VD * R_A2 / A1;
persistent A3 = R_A2 * (M_P.parametrai.R_AG + M_P.parametrai.R_VD +
M_P.parametrai.R_A1) / A1;
```

```
di_AL_dt = (-A2 - i_AL *(A3 + v * dL_A_dh)) / L_A;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktas K_B išjungtas (VD_B atviras)
```

```
function di_BL_dt = funkcija_DV8B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent B1 = M_P.parametrai.R_BG + M_P.parametrai.R_VD +
M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
persistent B2 = M_P.parametrai.U_VD * R_B2 / B1;
persistent B3 = R_B2 * (M_P.parametrai.R_BG + M_P.parametrai.R_VD +
M_P.parametrai.R_B1) / B1;
```

```
di_BL_dt = (-B2 - i_BL *(B3 + v * dL_B_dh)) / L_B;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A uždaras)
```

```
function di_AL_dt = funkcija_DV9A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2)
```

```
global M_P;
```

```
di_AL_dt = (-i_AL *(R_A2 + v * dL_A_dh)) / L_A;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktas K_B išjungtas
```

(VD_B uždaras)

```
function di_BL_dt = funkcija_DV9B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2)
```

```
    global M_P;
```

```
    di_BL_dt = (-i_BL *(R_B2 + v * dL_B_dh)) / L_B;
```

```
endfunction
```

```

function [di_AL_dt, di_BL_dt] =
di_L_dt_suntuojantis_diодas_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu(K_A, K_B, i_AL,
i_BL, L_A, L_B, dL_A_dh, dL_B_dh, h, v)

% „šuntuojantis diодas“ maitinimo būdui skaičiuojama srovės idealioje ritėje
išvestinė, neįvertinus magnetinių nuostolių,
% maitinimo šaltinio vidinę varžą, įjungto rakto varžą ir įtampos kritimą
atviram diode;
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-03-27

% Funkcijai perduodami parametrai:
% K_A ----- rakto A būseną (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% K_B ----- rakto B būseną (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% i_AL (A) ----- srovė idealioje ritėje A;
% i_BL (A) ----- srovė idealioje ritėje B;
% L_A (H) ----- ritės A induktyvumas;
% L_B (H) ----- ritės B induktyvumas;
% dL_A_dh (H/m) - ritės A induktyvumo išvestinė pagal pavaros judžiosios
dalies padėtį;
% dL_B_dh (H/m) - ritės B induktyvumo išvestinė pagal pavaros judžiosios
dalies padėtį;
% h (m) ----- pavaros judžiosios dalies padėtis;
% v (m/s) ----- pavaros judžiosios dalies greitis;

% Funkcija grąžina parametrus:
% di_AL_dt (A/s) - srovės idealioje ritėje A išvestinė pagal laiką;
% di_BL_dt (A/s) - srovės idealioje ritėje B išvestinė pagal laiką;

global M_P;

% apskaičiuojam ričių nuostolių varžas
[R_A1, R_B1] = apskaiciuok_R_1(h);

if ((K_A > 0)&&(K_B > 0))
    % lygtys, kai įjungti K_A ir K_B raktai

    % apskaičiuojam srovę maitinimo šaltinio šakoje
    i_m = funkcija_DP1(i_AL, i_BL);
    % apskaičiuojam srovių idealiose ritėse išvestines
    di_AL_dt = funkcija_DP2A(i_m, i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A1);
    di_BL_dt = funkcija_DP2B(i_m, i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B1);
else
    % lygtys, kai raktai išjungti ar įjungtas bent vienas raktas

    % grandinė su rite A
    if (K_A > 0)
        % lygtys, kai raktas K_A įjungtas

        % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę
        di_AL_dt = funkcija_DP3A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A1);
    else
        % lygtys, kai raktas K_A išjungtas

        % srovės idealioje ritėje A išvestinė priklauso nuo to
        ar dar yra sukauptos energijos
        if (i_AL > 0)
            % energijos magnetiniame lauke dar yra
            di_AL_dt = funkcija_DP4A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v,
R_A1);

```

```

else
    % energija išseko
    di_AL_dt = 0;
endif
endif

% grandinė su rite B
if (K_B > 0)
    % lygtys, kai raktas K_B įjungtas

    % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę
    di_BL_dt = funkcija_DP3B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B1);
else
    % lygtys, kai raktas K_B išjungtas

    % srovės idealioje ritėje B išvestinė priklauso nuo to
    ar dar yra sukauptos energijos
    if (i_BL > 0)
        % energijos magnetiniame lauke dar yra
        di_BL_dt = funkcija_DP4B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v,
R_B1);
    else
        % energija išseko
        di_BL_dt = 0;
    endif
endif
endif

endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktai K_A ir K_B įjungti
function i_m = funkcija_DP1(i_AL, i_BL);

    global M_P;

    i_m = i_AL + i_BL;

endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktai K_A ir K_B
įjungti
function di_AL_dt = funkcija_DP2A(i_m, i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A1)

    global M_P;

    persistent A1 = M_P.parametrai.R_K + R_A1;

    di_AL_dt = (M_P.parametrai.E_m - i_m * M_P.parametrai.R_m - i_AL *(A1 +
v * dL_A_dh)) / L_A;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktai K_A ir K_B įjungti

```
function di_BL_dt = funkcija_DP2B(i_m, i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B1)
```

```
    global M_P;
```

```
    persistent B1 = M_P.parametrai.R_K + R_B1;
```

```
    di_BL_dt = (M_P.parametrai.E_m - i_m * M_P.parametrai.R_m - i_BL * (B1 + v * dL_B_dh)) / L_B;
```

```
endfunction
```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A įjungtas, o raktas K_B išjungtas

```
function di_AL_dt = funkcija_DP3A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A1)
```

```
    global M_P;
```

```
    persistent A1 = M_P.parametrai.R_K + R_A1 + M_P.parametrai.R_m;
```

```
    di_AL_dt = (M_P.parametrai.E_m - i_AL * (A1 + v * dL_A_dh)) / L_A;
```

```
endfunction
```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktas K_A išjungtas, o raktas K_B įjungtas

```
function di_BL_dt = funkcija_DP3B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B1)
```

```
    global M_P;
```

```
    persistent B1 = M_P.parametrai.R_K + R_B1 + M_P.parametrai.R_m;
```

```
    di_BL_dt = (M_P.parametrai.E_m - i_BL * (B1 + v * dL_B_dh)) / L_B;
```

```
endfunction
```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A atviras)

```
function di_AL_dt = funkcija_DP4A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A1)
```

```
    global M_P;
```

```
    persistent A1 = M_P.parametrai.R_AG + M_P.parametrai.R_VD + R_A1;
```

```
    di_AL_dt = (-M_P.parametrai.U_VD - i_AL * (A1 + v * dL_A_dh)) / L_A;
```

```
endfunction
```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktas K_B išjungtas

(VD_B atviras)

```
function di_BL_dt = funkcija_DP4B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B1)
```

```
    global M_P;
```

```
    persistent B1 = M_P.parametrai.R_BG + M_P.parametrai.R_VD + R_B1;
```

```
    di_BL_dt = (-M_P.parametrai.U_VD - i_BL *(B1 + v * dL_B_dh)) / L_B;
```

```
endfunction
```



```

function [di_AL_dt, di_BL_dt] =
di_L_dt_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius(K_A, K_B, i_AL, i_BL, L_A,
L_B, dL_A_dh, dL_B_dh, h, v)

% „tiltelis“ maitinimo būdai skaičiuojama srovės ritėje išvestinė, įvertinus
magnetinius nuostolius,
% maitinimo šaltinio vidinę varžą, įjungto rakto varžą ir įtampos kritimą
atviram diode;
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-03-27

% Funkcijai perduodami parametrai:
% K_A ----- rakto A būsena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% K_B ----- rakto B būsena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% i_AL (A) ----- srovė idealioje ritėje A;
% i_BL (A) ----- srovė idealioje ritėje B;
% L_A (H) ----- ritės A induktyvumas;
% L_B (H) ----- ritės B induktyvumas;
% dL_A_dh (H/m) - ritės A induktyvumo išvestinė pagal pavaros judžiosios
dalis padėtį;
% dL_B_dh (H/m) - ritės B induktyvumo išvestinė pagal pavaros judžiosios
dalis padėtį;
% h (m) ----- pavaros judžiosios dalies padėtis;
% v (m/s) ----- pavaros judžiosios dalies greitis;

% Funkcija grąžina parametrus:
% di_AL_dt (A/s) - srovės idealioje ritėje A išvestinė pagal laiką;
% di_BL_dt (A/s) - srovės idealioje ritėje B išvestinė pagal laiką;

global M_P;

% apskaičiuojam magnetinės grandinės nuostolių varžas
[R_A2, R_B2] = apskaiciuok_R_2(h);

if (K_A > 0)
% lygtys, kai raktas K_A įjungtas

    if (K_B > 0)
% lygtys, kai raktas K_B įjungtas

        % apskaičiuojam srovę maitinimo šaltinio šakoje
        i_m = funkcija_TV1(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
        % apskaičiuojam srovių idealiose ritėse išvestines
        di_AL_dt = funkcija_TV2A(i_m, i_AL, L_A, dL_A_dh, v,
R_A2);
        di_BL_dt = funkcija_TV2B(i_m, i_BL, L_B, dL_B_dh, v,
R_B2);
    else
% lygtys, kai raktas K_B išjungtas

        % norint patikrinti diodų VD_B būseną, reikia:
        % srovės maitinimo šaltinio grandinėje
        i_m = funkcija_TV5A(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
        % ir srovės ritės B ominiame rezistoriuje R_B1
        i_B1 = funkcija_TV6B(i_m, i_BL, R_B2);

        if (i_B1 > 0)
% lygtys, kai diodai VD_B atviri

            % apskaičiuojam srovių idealiose ritėse

```

```

išvestines
dL_A_dh, v, R_A2);
dL_B_dh, v, R_B2);
else
    % lygtys, kai diodai VD_B uždari
    % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A
išvestinę
di_AL_dt = funkcija_TV8A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v,
R_A2);
    % srovės idealioje ritėje B išvestinė priklauso
    nuo to ar dar yra sukauptos energijos
    di_BL_dt =
sroves_isvestine_vienisame_konture_L_B_R_B2(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2);
endif
endif
else
    % lygtys, kai raktas K_A išjungtas
    if (K_B > 0)
        % lygtys, kai raktas K_B įjungtas
        % norint patikrinti diodų VD_A būseną, reikia:
        % srovės maitinimo šaltinio grandinėje
        i_m = funkcija_TV5B(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
        % ir srovės ritės A ominiame rezistoriuje R_A1
        i_A1 = funkcija_TV6A(i_m, i_AL, R_A2);
        if (i_A1 > 0)
            % lygtys, kai diodai VD_A atviri
            % apskaičiuojam srovių idealiose ritėse
išvestines
di_AL_dt = funkcija_TV7A(i_m, i_AL, L_A,
dL_A_dh, v, R_A2);
di_BL_dt = funkcija_TV2B(i_m, i_BL, L_B,
dL_B_dh, v, R_B2);
else
    % lygtys, kai diodai VD_A uždari
    % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B
išvestinę
di_BL_dt = funkcija_TV8B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v,
R_B2);
    % srovės idealioje ritėje A išvestinė priklauso
    nuo to ar dar yra sukauptos energijos
    di_AL_dt =
sroves_isvestine_vienisame_konture_L_A_R_A2(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2);
endif
else
    % lygtys, kai raktas K_B išjungtas
    % norint patikrinti diodų VD_A ir VD_B būsenas, reikia:
    % srovės maitinimo šaltinio grandinėje
    i_m = funkcija_TV11(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
    % ir srovės ričių A ir B ominiuse rezistoriuose R_A1 ir
R_B1
    i_A1 = funkcija_TV6A(i_m, i_AL, R_A2);
    i_B1 = funkcija_TV6B(i_m, i_BL, R_B2);

```

```

    if (i_AL > 0)
        % lygtys, kai diodai VD_A atviri

        if (i_B1 > 0)
            % lygtys, kai diodai VD_B atviri

            % apskaičiuojam srovių idealiose ritėse
            išvestines
            di_AL_dt = funkcija_TV7A(i_m, i_AL, L_A,
            dL_A_dh, v, R_A2);
            di_BL_dt = funkcija_TV7B(i_m, i_BL, L_B,
            dL_B_dh, v, R_B2);

        else
            % lygtys, kai diodai VD_B uždari

            % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje
            A išvestinę
            di_AL_dt = funkcija_TV12A(i_AL, L_A,
            dL_A_dh, v, R_A2);
            % srovės idealioje ritėje B išvestinė
            priklausu nuo to ar dar yra sukauptos energijos
            di_BL_dt =
            sroves_isvestine_vienisame_konture_L_B_R_B2(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2);
        endif
    else
        % lygtys, kai diodai VD_A uždari

        if (i_B1 > 0)
            % lygtys, kai diodai VD_B atviri

            % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje
            B išvestinę
            di_BL_dt = funkcija_TV12B(i_BL, L_B,
            dL_B_dh, v, R_B2);
            % srovės idealioje ritėje A išvestinė
            priklausu nuo to ar dar yra sukauptos energijos
            di_AL_dt =
            sroves_isvestine_vienisame_konture_L_A_R_A2(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2);
        else
            % lygtys, kai diodai VD_B uždari

            % srovės idealioje ritėje A išvestinė
            priklausu nuo to ar dar yra sukauptos energijos
            di_AL_dt =
            sroves_isvestine_vienisame_konture_L_A_R_A2(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2);
            % srovės idealioje ritėje B išvestinė
            priklausu nuo to ar dar yra sukauptos energijos
            di_BL_dt =
            sroves_isvestine_vienisame_konture_L_B_R_B2(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2);
        endif
    endif
endif
endif
endfunction

% Apskaičiuojam srovės išvestinę vienišoje grandinėje L_A - R_A2
function di_AL_dt = sroves_isvestine_vienisame_konture_L_A_R_A2(i_AL, L_A,
dL_A_dh, v, R_A2)

```

```

if (i_AL > 0)
    % energijos magnetiniame lauke dar yra
    di_AL_dt = funkcija_TV10A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2);
else
    % energija išseko
    di_AL_dt = 0;
endif

```

```
endfunction
```

```

% Apskaičiuojam srovės išvestinę vienišoje grandinėje L_B - R_B2
function di_BL_dt = sroves_isvestine_vienisame_konture_L_B_R_B2(i_BL, L_B,
dL_B_dh, v, R_B2)

```

```

if (i_BL > 0)
    % energijos magnetiniame lauke dar yra
    di_BL_dt = funkcija_TV10B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2);
else
    % energija išseko
    di_BL_dt = 0;
endif

```

```
endfunction
```

```

% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktai K_A ir K_B įjungti
function i_m = funkcija_TV1(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);

```

```

global M_P;

persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
persistent A2 = M_P.parametrai.E_m / A1;
persistent A3 = R_A2 / A1;
persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;

persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
persistent B2 = M_P.parametrai.E_m / B1;
persistent B3 = R_B2 / B1;
persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;

persistent C1 = 1 + A4 + B4;

i_m = (A2 + i_AL * A3 + B2 + i_BL * B3) / C1;

```

```
endfunction
```

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktai K_A ir K_B
įjungti

```

```
function di_AL_dt = funkcija_TV2A(i_m, i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
```

```

persistent A2 = M_P.parametrai.E_m * R_A2 / A1;
persistent A3 = M_P.parametrai.R_m * R_A2 / A1;
persistent A4 = R_A2 * (2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1) /
A1;

```

```

di_AL_dt = (A2 - i_m * A3 - i_AL *(A4 + v * dL_A_dh)) / L_A;

```

```

endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktai K_A ir K_B
įjungti

```

```

function di_BL_dt = funkcija_TV2B(i_m, i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2)

```

```

global M_P;

```

```

persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;

```

```

persistent B2 = M_P.parametrai.E_m * R_B2 / B1;

```

```

persistent B3 = M_P.parametrai.R_m * R_B2 / B1;

```

```

persistent B4 = R_B2 * (2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1) /

```

```

B1;

```

```

di_BL_dt = (B2 - i_m * B3 - i_BL *(B4 + v *dL_B_dh)) / L_B;

```

```

endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktas K_A įjungtas, o raktas
K_B išjungtas (VD_B atviri)

```

```

function i_m = funkcija_TV5A(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);

```

```

global M_P;

```

```

persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;

```

```

persistent A2 = M_P.parametrai.E_m / A1;

```

```

persistent A3 = R_A2 / A1;

```

```

persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;

```

```

persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;

```

```

persistent B2 = (M_P.parametrai.E_m - 2 * M_P.parametrai.U_VD) / B1;

```

```

persistent B3 = R_B2 / B1;

```

```

persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;

```

```

persistent C1 = 1 + A4 + B4;

```

```

i_m = (A2 + i_AL * A3 + B2 - i_BL * B3) / C1;

```

```

endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktas K_A išjungtas (VD_A
atviri), o raktas K_B įjungtas

```

```

function i_m = funkcija_TV5B(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);

```

```

global M_P;

```

```

persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
persistent A2 = (M_P.parametrai.E_m - 2 * M_P.parametrai.U_VD) / A1;
persistent A3 = R_A2 / A1;
persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;

persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
persistent B2 = M_P.parametrai.E_m / B1;
persistent B3 = R_B2 / B1;
persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;

persistent C1 = 1 + B4 + A4;

i_m = (B2 + i_BL * B3 + A2 - i_AL * A3) / C1;

```

endfunction

% Apskaičiuojam srovę ritės A ominiėje varžoje, kai raktas K_A išjungtas (VD_A atviri)

```
function i_A1 = funkcija_TV6A(i_m, i_AL, R_A2)
```

```
global M_P;
```

```

persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
persistent A2 = (-M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD) / A1;
persistent A3 = R_A2 / A1;
persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;

```

```
i_A1 = A2 + i_m * A4 + i_AL * A3;
```

endfunction

% Apskaičiuojam srovę ritės B ominiėje varžoje, kai raktas K_B išjungtas (VD_B atviri)

```
function i_B1 = funkcija_TV6B(i_m, i_BL, R_B2)
```

```
global M_P;
```

```

persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
persistent B2 = (-M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD) / B1;
persistent B3 = R_B2 / B1;
persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;

```

```
i_B1 = B2 + i_m * B4 + i_BL * B3;
```

endfunction

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A atviri), o raktas K_B įjungtas

```
function di_AL_dt = funkcija_TV7A(i_m, i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
```

```

persistent A2 = (-M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD) * R_A2 /
A1;
persistent A3 = M_P.parametrai.R_m * R_A2 / A1;
persistent A4 = R_A2 * (2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_A1) /
A1;

di_AL_dt = (A2 + i_m * A3 - i_AL *(A4 + v * dL_A_dh)) / L_A;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktas K_A įjungtas, o raktas K_B išjungtas (VD_B atviri)

```

function di_BL_dt = funkcija_TV7B(i_m, i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2)

global M_P;

persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
persistent B2 = (-M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD) * R_B2 /
B1;
persistent B3 = M_P.parametrai.R_m * R_B2 / B1;
persistent B4 = R_B2 * (2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_B1) /
B1;

di_BL_dt = (B2 + i_m * B3 - i_BL *(B4 + v * dL_B_dh)) / L_B;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A įjungtas, o raktas K_B išjungtas (VD_B uždaras)

```

function di_AL_dt = funkcija_TV8A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2)

global M_P;

persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2 +
M_P.parametrai.R_m;
persistent A2 = M_P.parametrai.E_m * R_A2 / A1;
persistent A3 = R_A2 * (2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 +
M_P.parametrai.R_m) / A1;

di_AL_dt = (A2 - i_AL *(A3 + v * dL_A_dh)) / L_A;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A uždaras), o raktas K_B įjungtas

```

function di_BL_dt = funkcija_TV8B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2)

global M_P;

persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2 +
M_P.parametrai.R_m;
persistent B2 = M_P.parametrai.E_m * R_B2 / B1;
persistent B3 = R_B2 * (2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 +

```

```
M_P.parametrai.R_m) / B1;
```

```
di_BL_dt = (B2 - i_BL *(B3 + v * dL_B_dh)) / L_B;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A uždaras)
```

```
function di_AL_dt = funkcija_TV10A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2)
```

```
global M_P;
```

```
di_AL_dt = (-i_AL *(R_A2 + v * dL_A_dh)) / L_A;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktas K_B išjungtas (VD_B uždaras)
```

```
function di_BL_dt = funkcija_TV10B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2)
```

```
global M_P;
```

```
di_BL_dt = (-i_BL *(R_B2 + v * dL_B_dh)) / L_B;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktai K_A ir K_B išjungti (VD_A ir VD_B atviri)
```

```
function i_m = funkcija_TV11(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
```

```
persistent A2 = (M_P.parametrai.E_m - 2 * M_P.parametrai.U_VD) / A1;
```

```
persistent A3 = R_A2 / A1;
```

```
persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;
```

```
persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
```

```
persistent B2 = (M_P.parametrai.E_m - 2 * M_P.parametrai.U_VD) / B1;
```

```
persistent B3 = R_B2 / B1;
```

```
persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;
```

```
persistent C1 = 1 + A4 + B4;
```

```
i_m = (A2 - i_AL * A3 + B2 - i_BL * B3) / C1;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A atviri), ir raktas K_B išjungtas (VD_B uždari)
```



```

function di_AL_dt = funkcija_TV12A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A2)

    global M_P;

    persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2 +
M_P.parametrai.R_m;
    persistent A2 = (-M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD) * R_A2 /
A1;
    persistent A3 = (2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_A1 +
M_P.parametrai.R_m) * R_A2 / A1;

    di_AL_dt = (A2 - i_AL *(A3 + v * dL_A_dh)) / L_A;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A uždari), ir raktas K_B išjungtas (VD_B atviri)

```

function di_BL_dt = funkcija_TV12B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B2)

    global M_P;

    persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2 +
M_P.parametrai.R_m;
    persistent B2 = (-M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD) * R_B2 /
B1;
    persistent B3 = (2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_B1 +
M_P.parametrai.R_m) * R_B2 / B1;

    di_BL_dt = (B2 - i_BL *(B3 + v * dL_B_dh)) / L_B;

endfunction

```

```

function [di_AL_dt, di_BL_dt] =
di_L_dt_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu(K_A, K_B, i_AL, i_BL, L_A,
L_B, dL_A_dh, dL_B_dh, h, v)

% „tiltelis“ maitinimo būdai skaičiuojama srovės ritėje išvestinė, neįvertinus
magnetinių nuostolių,
% maitinimo šaltinio vidinę varžą, įjungto rakto varžą ir įtampos kritimą
atviram diode;
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-03-27

% Funkcijai perduodami parametrai:
% K_A ----- rakto A būsena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% K_B ----- rakto B būsena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% i_AL (A) ----- srovė idealioje ritėje A;
% i_BL (A) ----- srovė idealioje ritėje B;
% L_A (H) ----- ritės A induktyvumas;
% L_B (H) ----- ritės B induktyvumas;
% dL_A_dh (H/m) - ritės A induktyvumo išvestinė pagal pavaros judžiosios
dalis padėtį;
% dL_B_dh (H/m) - ritės B induktyvumo išvestinė pagal pavaros judžiosios
dalis padėtį;
% h (m) ----- pavaros judžiosios dalies padėtis;
% v (m/s) ----- pavaros judžiosios dalies greitis;

% Funkcija grąžina parametrus:
% di_AL_dt (A/s) - srovės idealioje ritėje A išvestinė pagal laiką;
% di_BL_dt (A/s) - srovės idealioje ritėje B išvestinė pagal laiką;

global M_P;

% apskaičiuojam ritės nuostolių varžas
[R_A1, R_B1] = apskaiciuok_R_1(h);

if (K_A > 0)
    % lygtys, kai raktas K_A įjungtas

    if (K_B > 0)
        % lygtys, kai raktas K_B įjungtas

        % apskaičiuojam srovę maitinimo šaltinio šakoje
        i_m = funkcija_TP1(i_AL, i_BL);
        % apskaičiuojam srovių idealiose ritėse išvestines
        di_AL_dt = funkcija_TP2A(i_m, i_AL, L_A, dL_A_dh, v,
R_A1);
        di_BL_dt = funkcija_TP2B(i_m, i_BL, L_B, dL_B_dh, v,
R_B1);
    else
        % lygtys, kai raktas K_B išjungtas

        if (i_BL > 0)
            % lygtys, kai diodai VD_B atviri

            % apskaičiuojam srovę maitinimo šaltinio šakoje
            i_m = funkcija_TP3A(i_AL, i_BL);
            % apskaičiuojam srovių idealiose ritėse
išvestines
            di_AL_dt = funkcija_TP2A(i_m, i_AL, L_A,
dL_A_dh, v, R_A1);
            di_BL_dt = funkcija_TP4B(i_m, i_BL, L_B,

```

```

dL_B_dh, v, R_B1);
    else
        % lygtys, kai diodai VD_B uždari
        % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A
išvestinę
        di_AL_dt = funkcija_TP5A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v,
R_A1);
        % ritės B magnetinio lauko energija išseko
        di_BL_dt = 0;
    endif
else
    % lygtys, kai raktas K_A išjungtas
    if (K_B > 0)
        % lygtys, kai raktas K_A įjungtas
        if (i_AL > 0)
            % lygtys, kai diodai VD_A atviri
            % apskaičiuojam srovę maitinimo šaltinio šakoje
            i_m = funkcija_TP3B(i_AL, i_BL);
            % apskaičiuojam srovių idealiose ritėse
išvestines
            di_AL_dt = funkcija_TP4A(i_m, i_AL, L_A,
dL_A_dh, v, R_A1);
            di_BL_dt = funkcija_TP2B(i_m, i_BL, L_B,
dL_B_dh, v, R_B1);
        else
            % lygtys, kai diodai VD_A uždari
            % ritės A magnetinio lauko energija išseko
            di_AL_dt = 0;
            % apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B
išvestinę
            di_BL_dt = funkcija_TP5B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v,
R_B1);
        endif
    else
        % lygtys, kai raktas K_B išjungtas
        if ((i_AL > 0)&&(i_BL > 0))
            % lygtys, kai diodai VD_A ir VD_B atviri
            % apskaičiuojam srovę maitinimo šaltinio šakoje
            i_m = funkcija_TP6(i_AL, i_BL);
            % apskaičiuojam srovių idealiose ritėse
išvestines
            di_AL_dt = funkcija_TP4A(i_m, i_AL, L_A,
dL_A_dh, v, R_A1);
            di_BL_dt = funkcija_TP4B(i_m, i_BL, L_B,
dL_B_dh, v, R_B1);
        else
            % lygtys, kai diodai VD_A ir VD_B uždari
            if (i_AL > 0)
                % energijos ritės A magnetiniame lauke
                dar yra
                di_AL_dt = funkcija_TP7A(i_AL, L_A,
dL_A_dh, v, R_A1);
            else

```

```

                                % energija išseko
                                di_AL_dt = 0;
                                endif
                                if (i_BL > 0)
                                % energijos ritės B magnetiniame lauke
                                di_BL_dt = funkcija_TP7B(i_BL, L_B,
                                dar yra
                                dL_B_dh, v, R_B1);
                                else
                                % energija išseko
                                di_BL_dt = 0;
                                endif
                                endif
                                endif
                                endif
                                endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktai K_A ir K_B įjungti
function i_m = funkcija_TP1(i_AL, i_BL);

    i_m = i_AL + i_BL;

endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktai K_A ir K_B
įjungti
function di_AL_dt = funkcija_TP2A(i_m, i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A1)

    global M_P;

    persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + R_A1;

    di_AL_dt = (M_P.parametrai.E_m - i_m * M_P.parametrai.R_m - i_AL * (A1 +
v * dL_A_dh)) / L_A;

endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktai K_A ir K_B
įjungti
function di_BL_dt = funkcija_TP2B(i_m, i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B1)

    global M_P;

    persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + R_B1;

    di_BL_dt = (M_P.parametrai.E_m - i_m * M_P.parametrai.R_m - i_BL * (B1 +
v * dL_B_dh)) / L_B;

endfunction

```

```
% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktas K_A įjungtas, o raktas K_B išjungtas (diodai VD_B atviri)  
function i_m = funkcija_TP3A(i_AL, i_BL);
```

```
    i_m = i_AL - i_BL;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktas K_A išjungtas (diodai VD_A atviri), o raktas K_B įjungtas  
function i_m = funkcija_TP3B(i_AL, i_BL);
```

```
    i_m = -i_AL + i_BL;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A atviri), o raktas K_B įjungtas  
function di_AL_dt = funkcija_TP4A(i_m, i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A1)
```

```
    global M_P;
```

```
    persistent A1 = -M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD;
```

```
    persistent A2 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + R_A1;
```

```
    di_AL_dt = (A1 + i_m * M_P.parametrai.R_m - i_AL * (A2 + v * dL_A_dh)) /  
L_A;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktas K_A įjungtas, o raktas K_B išjungtas (VD_B atviri)  
function di_BL_dt = funkcija_TP4B(i_m, i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B1)
```

```
    global M_P;
```

```
    persistent B1 = -M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD;
```

```
    persistent B2 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + R_B1;
```

```
    di_BL_dt = (B1 + i_m * M_P.parametrai.R_m - i_BL * (B2 + v * dL_B_dh)) /  
L_B;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A įjungtas, o raktas K_B išjungtas (VD_B uždari)  
function di_AL_dt = funkcija_TP5A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A1)
```

```

global M_P;

persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + R_A1 + M_P.parametrai.R_m;

di_AL_dt = (M_P.parametrai.E_m - i_AL *(A1 + v * dL_A_dh)) / L_A;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A uždari), o raktas K_B įjungtas

```

function di_BL_dt = funkcija_TP5B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B1)

global M_P;

persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + R_B1 + M_P.parametrai.R_m;

di_BL_dt = (M_P.parametrai.E_m - i_BL *(B1 + v * dL_B_dh)) / L_B;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktai K_A ir K_B išjungti (VD_A ir VD_b atviri)

```

function i_m = funkcija_TP6(i_AL, i_BL);

i_m = -i_AL - i_BL;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje A išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A atviri), ir raktas K_B išjungtas (VD_B uždari)

```

function di_AL_dt = funkcija_TP7A(i_AL, L_A, dL_A_dh, v, R_A1)

global M_P;

persistent A1 = -M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD;
persistent A2 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + R_A1 + M_P.parametrai.R_m;

di_AL_dt = (A1 - i_AL *(A2 + v * dL_A_dh)) / L_A;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovės idealioje ritėje B išvestinę, kai raktas K_A išjungtas (VD_A uždari), ir raktas K_B išjungtas (VD_B atviri)

```

function di_BL_dt = funkcija_TP7B(i_BL, L_B, dL_B_dh, v, R_B1)

global M_P;

persistent B1 = -M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD;
persistent B2 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + R_B1 + M_P.parametrai.R_m;

```

```
di_BL_dt = (B1 - i_BL *(B2 + v * dL_B_dh)) / L_B;
```

```
endfunction
```

```
function [i_AL, i_BL, i_A1, i_B1, i_A2, i_B2, i_A, i_B] =  
sroves_suntuojantis_diodas_ivertinus_magnetinius_nuostolius(K_A, K_B, i_AL,  
i_BL, h)
```

```
% „šuntuojantis diodas“ maitinimo būdui skaičiuojamos srovės, įvertinus  
magnetinius nuostolius,
```

```
% įjungto rakto varžą ir įtampos kritimą atviram diode;
```

```
%
```

```
% Autorius: Valdas Jankūnas
```

```
%
```

```
% Keista 2011-03-27
```

```
% Funkcijai perduodami parametrai:
```

```
% K_A ----- rakto A būsena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
```

```
% K_B ----- rakto B būsena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
```

```
% i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
```

```
% i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
```

```
% h (m) ---- pavaros judžiosios dalies padėtis;
```

```
% Funkcija gražina parametrus:
```

```
% i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
```

```
% i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
```

```
% i_A1 (A) - srovė ritės ominiame rezistoriuje R_A1;
```

```
% i_B1 (A) - srovė ritės ominiame rezistoriuje R_B1;
```

```
% i_A2 (A) - srovė ritės magnetinių nuostolių rezistoriuje R_A2;
```

```
% i_B2 (A) - srovė ritės magnetinių nuostolių rezistoriuje R_B2;
```

```
% i_A (A) -- srovė grandinę su rite A maitinančioje šakoje
```

```
% i_B (A) -- srovė grandinę su rite B maitinančioje šakoje
```

```
global M_P;
```

```
% apskaičiuojam magnetinės grandinės nuostolių varžas
```

```
[R_A2, R_B2] = apskaiciuok_R_2(h);
```

```
if ((K_A > 0)&&(K_B > 0))
```

```
    % lygtys, kai įjungti K_A ir K_B raktai
```

```
    % apskaičiuojam srovę maitinimo šaltinio šakoje
```

```
    i_m = funkcija_DV1(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
```

```
    % apskaičiuojam sroves ričių ominiėse varžose
```

```
    i_A1 = funkcija_DV3A(i_m, i_AL, R_A2);
```

```
    i_B1 = funkcija_DV3B(i_m, i_BL, R_B2);
```

```
    % apskaičiuojam sroves ričių magnetinius nuostolius  
    įvertinančiuose rezistoriuose
```

```
    i_A2 = funkcija_DV4(i_A1, i_AL);
```

```
    i_B2 = funkcija_DV4(i_B1, i_BL);
```

```
    % apskaičiuojam ričių grandinės maitinančias sroves
```

```
    i_A = i_A1;
```

```
    i_B = i_B1;
```

```
else
```

```
    % lygtys, kai raktai išjungti ar įjungtas bent vienas raktas
```

```
    % grandinė su rite A
```

```
    if (K_A > 0)
```

```
        % lygtys, kai raktas K_A įjungtas
```

```
        % apskaičiuojam ritės A grandinės sroves
```

```
        i_A1 = funkcija_DV6A(i_AL, R_A2);
```

```
        i_A2 = funkcija_DV4(i_A1, i_AL);
```

```
        i_A = i_A1;
```

```
    else
```

```
        % lygtys, kai raktas K_A išjungtas
```



```

% ritė A atjungta nuo maitinimo šaltinio
i_A = 0;
% norint sužinoti diodo VD_A būseną, reikia
apskaičiuoti srovę ritės A ominiame rezistoriuje R_A1
i_A1 = funkcija_DV7A(i_AL, R_A2);

if (i_A1 > 0)
    % lygtys, kai diodas VD_A atviras

    % apskaičiuojam srovę ritės A magnetinius
    nuostolius įvertinančiuose rezistoriuose
    i_A2 = funkcija_DV4(i_A1, i_AL);
else
    % lygtys, kai diodas VD_A uždaras

    % srovė ritės A ominių rezistorium nebeteka
    i_A1 = 0;
    % srovė idealioje ritėje A priklauso nuo to ar
    dar yra sukauptos energijos
    if (i_AL > 0)
        % energijos magnetiniame lauke dar yra
        i_A2 = -i_AL;
    else
        % energija išseko
        i_AL = 0;
        i_A2 = 0;
    endif
endif
endif

% grandinė su rite B
if (K_B > 0)
    % lygtys, kai raktas K_B įjungtas

    % apskaičiuojam ritės B grandinės sroves
    i_B1 = funkcija_DV6B(i_BL, R_B2);
    i_B2 = funkcija_DV4(i_B1, i_BL);
    i_B = i_B1;
else
    % lygtys, kai raktas K_B išjungtas

    % ritė B atjungta nuo maitinimo šaltinio
    i_B = 0;
    % norint sužinoti diodo VD_B būseną, reikia
    apskaičiuoti srovę ritės B ominiame rezistoriuje R_B1
    i_B1 = funkcija_DV7B(i_BL, R_B2);

    if (i_B1 > 0)
        % lygtys, kai diodas VD_B atviras

        % apskaičiuojam srovę ritės B magnetinius
        nuostolius įvertinančiuose rezistoriuose
        i_B2 = funkcija_DV4(i_B1, i_BL);
    else
        % lygtys, kai diodas VD_B uždaras

        % srovė ritės B ominių rezistorium nebeteka
        i_B1 = 0;
        % srovė idealioje ritėje B priklauso nuo to ar
        dar yra sukauptos energijos
        if (i_BL > 0)

```

```

                                % energijos magnetiniame lauke dar yra
                                i_B2 = -i_BL;
                                else
                                % energija išseko
                                i_BL = 0;
                                i_B2 = 0;
                                endif
                                endif
                                endif
                                endif
                                % apskaičiuojam srovę maitinimo šaltinio šakoje
                                i_m = i_A + i_B;
endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktai K_A ir K_B įjungti
function i_m = funkcija_DV1(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);

```

```

    global M_P;

    persistent A1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
    persistent A2 = M_P.parametrai.E_m / A1;
    persistent A3 = R_A2 / A1;
    persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;

    persistent B1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
    persistent B2 = M_P.parametrai.E_m / B1;
    persistent B3 = R_B2 / B1;
    persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;

    persistent C1 = 1 + A4 + B4;

    i_m = (A2 + i_AL * A3 + B2 + i_BL * B3) / C1;
endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovę ritės A olinėje varžoje, kai raktai K_A ir K_B įjungti
function i_A1 = funkcija_DV3A(i_m, i_AL, R_A2)

```

```

    global M_P;

    persistent A1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
    persistent A2 = M_P.parametrai.E_m / A1;
    persistent A3 = R_A2 / A1;
    persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;

    i_A1 = A2 - i_m * A4 + i_AL * A3;
endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovę ritės B olinėje varžoje, kai raktai K_A ir K_B įjungti
function i_B1 = funkcija_DV3B(i_m, i_BL, R_B2)

```

```

global M_P;

persistent B1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
persistent B2 = M_P.parametrai.E_m / B1;
persistent B3 = R_B2 / B1;
persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;

i_B1 = B2 - i_m * B4 + i_BL * B3;

```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovę magnetinius nuostolius įvertinančioje ritėje
```

```
function i_2 = funkcija_DV4(i_1, i_L)
```

```
i_2 = i_1 - i_L;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovę ritės A olinėje varžoje, kai raktas K_A įjungtas, o raktas K_B išjungtas
```

```
function i_A1 = funkcija_DV6A(i_AL, R_A2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent A1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2 + M_P.parametrai.R_m;
```

```
persistent A2 = M_P.parametrai.E_m / A1;
```

```
persistent A3 = R_A2 / A1;
```

```
i_A1 = A2 + i_AL * A3;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovę ritės B olinėje varžoje, kai raktas K_A išjungtas, o raktas K_B įjungtas
```

```
function i_B1 = funkcija_DV6B(i_BL, R_B2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent B1 = M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2 + M_P.parametrai.R_m;
```

```
persistent B2 = M_P.parametrai.E_m / B1;
```

```
persistent B3 = R_B2 / B1;
```

```
i_B1 = B2 + i_BL * B3;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovę ritės A olinėje varžoje, kai raktas K_A išjungtas (VD_A
```

atviras)

```
function i_A1 = funkcija_DV7A(i_AL, R_A2)
```

```
    global M_P;
```

```
    persistent A1 = M_P.parametrai.R_AG + M_P.parametrai.R_VD +  
M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
```

```
    persistent A2 = -M_P.parametrai.U_VD / A1;
```

```
    persistent A3 = R_A2 / A1;
```

```
    i_A1 = A2 + i_AL * A3;
```

```
endfunction
```

% Apskaičiuojam srovę ritės B ominiėje varžoje, kai raktas K_B išjungtas (VD_A atviras)

```
function i_B1 = funkcija_DV7B(i_BL, R_B2)
```

```
    global M_P;
```

```
    persistent B1 = M_P.parametrai.R_BG + M_P.parametrai.R_VD +  
M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
```

```
    persistent B2 = -M_P.parametrai.U_VD / B1;
```

```
    persistent B3 = R_B2 / B1;
```

```
    i_B1 = B2 + i_BL * B3;
```

```
endfunction
```

```
function [i_AL, i_BL, i_A1, i_B1, i_A2, i_B2, i_A, i_B] =
sroves_suntuojantis_diodas_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu(K_A, K_B, i_AL,
i_BL, h)
```

```
% „šuntuojantis diodas“ maitinimo būdui skaičiuojamos srovės, neįvertinus
magnetinių nuostolių,
% maitinimo šaltinio vidinę varžą, įjungto rakto varžą ir įtampos kritimą
atviram diode;
```

```
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-03-27
```

```
% Funkcijai perduodami parametrai:
% K_A ----- rakto A būsena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% K_B ----- rakto B būsena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
% i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
% h (m) ---- pavaros judžiosios dalies padėtis;
```

```
% Funkcija grąžina parametrus:
% i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
% i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
% i_A1 (A) - srovė ritės rezistoriuje R_A1;
% i_B1 (A) - srovė ritės rezistoriuje R_B1;
% i_A2 (A) - srovė ritės magnetinių nuostolių rezistoriuje R_A2 (visada bus
0);
% i_B2 (A) - srovė ritės magnetinių nuostolių rezistoriuje R_B2 (visada bus
0);
% i_A (A) -- srovė ritės A grandinę maitinančioje šakoje
% i_B (A) -- srovė ritės B grandinę maitinančioje šakoje
```

```
global M_P;
```

```
% magnetinių nuostolių neįvertinam
```

```
i_A2 = 0;
i_B2 = 0;
```

```
if ((K_A > 0)&&(K_B > 0))
% lygtys, kai įjungti K_A ir K_B raktai
```

```
% apskaičiuojam sroves ričių varžose
i_A1 = i_AL;
i_B1 = i_BL;
% apskaičiuojam ričių grandines maitinančias sroves
i_A = i_A1;
i_B = i_B1;
```

```
else
% lygtys, kai raktai išjungti ar įjungtas bent vienas raktas
```

```
% grandinė su rite A
if (K_A > 0)
% lygtys, kai raktas K_A įjungtas
```

```
% apskaičiuojam ritės A grandinės sroves
i_A1 = i_AL;
i_A = i_A1;
```

```
else
% lygtys, kai raktas K_A išjungtas
```

```
% ritė A nebeprijungta prie maitinimo šaltinio
i_A = 0;
```



```

function [i_AL, i_BL, i_A1, i_B1, i_A2, i_B2, i_A, i_B] =
sroves_tiltelis_ivertinus_magnetinius_nuostolius(K_A, K_B, i_AL, i_BL, h)

% „tiltelis“ maitinimo būdai skaičiuojamos srovės, įvertinus magnetinius
% nuostolius,
% maitinimo šaltinio vidinę varžą, įjungto rakto varžą ir įtampos kritimą
% atviram diode;
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-03-27

% Funkcijai perduodami parametrai:
%   K_A ----- rakto A būsena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
%   K_B ----- rakto B būsena (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
%   i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
%   i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
%   h (m) ---- pavaros judžiosios dalies padėtis;

% Funkcija grąžina parametrus:
%   i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
%   i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
%   i_A1 (A) - srovė ritės ominiame rezistoriuje R_A1;
%   i_B1 (A) - srovė ritės ominiame rezistoriuje R_B1;
%   i_A2 (A) - srovė ritės magnetinių nuostolių rezistoriuje R_A2;
%   i_B2 (A) - srovė ritės magnetinių nuostolių rezistoriuje R_B2;
%   i_A (A) -- srovė ritės A grandinę maitinančioje šakoje
%   i_B (A) -- srovė ritės B grandinę maitinančioje šakoje

global M_P;

% apskaičiuojam magnetinės grandinės nuostolių varžas
[R_A2, R_B2] = apskaiciuok_R_2(h);

if (K_A > 0)
    % lygtys, kai raktas K_A įjungtas

    if (K_B > 0)
        % lygtys, kai raktas K_B įjungtas

        % apskaičiuojam srovę maitinimo šaltinio šakoje
        i_m = funkcija_TV1(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
        % apskaičiuojam srovės ričių ominiėse varžose
        i_A1 = funkcija_TV3A(i_m, i_AL, R_A2);
        i_B1 = funkcija_TV3B(i_m, i_BL, R_B2);
        % apskaičiuojam srovės ričių magnetinius nuostolius
        % įvertinančiuose rezistoriuose
        i_A2 = funkcija_TV4(i_A1, i_AL);
        i_B2 = funkcija_TV4(i_B1, i_BL);
        % apskaičiuojam ričių grandinės maitinančias sroves
        i_A = i_A1;
        i_B = i_B1;
    else
        % lygtys, kai raktas K_B išjungtas

        % norint patikrinti diodų VD_B būseną, reikia:
        % srovės maitinimo šaltinio grandinėje
        i_m = funkcija_TV5A(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
        % ir srovės ritės B ominiame rezistoriuje R_B1
        i_B1 = funkcija_TV6B(i_m, i_BL, R_B2);

        if (i_B1 > 0)

```

```

% lygtys, kai diodai VD_B atviri
% apskaičiuojam srovę ritės A ominiėje varžoje
(i_B1 jau apskaičiuota)
i_A1 = funkcija_TV3A(i_m, i_AL, R_A2);
% apskaičiuojam srovės ričių magnetinius
nuostolius įvertinančiuose rezistoriuose
i_A2 = funkcija_TV4(i_A1, i_AL);
i_B2 = funkcija_TV4(i_B1, i_BL);
% apskaičiuojam ričių grandinės maitinančias
sroves
i_A = i_A1;
i_B = -i_B1;
else
% lygtys, kai diodai VD_B uždari
% ritė B nebeprijungta prie maitinimo šaltinio
i_B1 = 0;
i_B = 0;
% apskaičiuojam ritės A grandinės sroves
i_A1 = funkcija_TV9A(i_AL, R_A2);
i_A2 = funkcija_TV4(i_A1, i_AL);
i_A = i_A1;
% srovė ritės B magnetinių nuostolių varžoje
priklauso nuo to ar dar yra sukauptos energijos
i_B2 = srove_vienisame_konture_L_B_R_B2(i_BL);
% apskaičiuojam maitinimo šaltinio srovę
i_m = i_A + i_B;
endif
endif
else
% lygtys, kai raktas K_A išjungtas
if (K_B > 0)
% lygtys, kai raktas K_B įjungtas
% norint patikrinti diodų VD_A būseną, reikia:
% srovės maitinimo šaltinio grandinėje
i_m = funkcija_TV5B(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
% ir srovės ritės A ominiame rezistoriuje R_A1
i_A1 = funkcija_TV6A(i_m, i_AL, R_A2);
if (i_A1 > 0)
% lygtys, kai diodai VD_A atviri
% srovė ritės B ominiame rezistoriuje
i_B1 = funkcija_TV3B(i_m, i_BL, R_B2);
% srovės ričių magnetinių nuostolių
rezistoriuose
i_A2 = funkcija_TV4(i_A1, i_AL);
i_B2 = funkcija_TV4(i_B1, i_BL);
% apskaičiuojam ričių grandinės maitinančias
sroves
i_A = -i_A1;
i_B = i_B1;
else
% lygtys, kai diodai VD_A uždari
% ritė A nebeprijungta prie maitinimo šaltinio
i_A1 = 0;
i_A = 0;
% apskaičiuojam ritės B grandinės sroves

```



```

        i_B1 = funkcija_TV9B(i_BL, R_B2);
        i_B2 = funkcija_TV4(i_B1, i_BL);
        i_B = i_B1;
        % srovė ritės A magnetinių nuostolių varžoje
        priklausu nuo to ar dar yra sukauptos energijos
        i_A2 = srove_vienisame_konture_L_A_R_A2(i_AL);
        % apskaičiuojam maitinimo šaltinio srovę
        i_m = i_A + i_B;
    endif
else
    % lygtys, kai raktas K_B išjungtas

    % norint patikrinti diodų VD_A ir VD_B būsenas, reikia:
    % srovės maitinimo šaltinio grandinėje
    i_m = funkcija_TV11(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
    % ir srovės ričių A ir B ominiuse rezistoriuose R_A1 ir
R_B1
    i_A1 = funkcija_TV6A(i_m, i_AL, R_A2);
    i_B1 = funkcija_TV6B(i_m, i_BL, R_B2);

    if (i_A1 > 0)
        % lygtys, kai diodai VD_A atviri

        if (i_B1 > 0)
            % lygtys, kai diodai VD_B atviri

            % srovės ričių magnetinių nuostolių
rezistoriuose
            i_A2 = funkcija_TV4(i_A1, i_AL);
            i_B2 = funkcija_TV4(i_B1, i_BL);
            % apskaičiuojam ričių grandines
maitinančias sroves
            i_A = -i_A1;
            i_B = -i_B1;
        else
            % lygtys, kai diodai VD_B uždari

            % ritė B nebeprijungta prie maitinimo
šaltinio
            i_B1 = 0;
            i_B = 0;
            % apskaičiuojam ritės A grandinės
sroves
            i_A1 = funkcija_TV13A(i_AL, R_A2);
            i_A2 = funkcija_TV4(i_A1, i_AL);
            i_A = -i_A1;
            % srovė ritės B magnetinių nuostolių
varžoje priklausu nuo to ar dar yra sukauptos energijos
            i_B2 =
srove_vienisame_konture_L_B_R_B2(i_BL);
            % apskaičiuojam maitinimo šaltinio
srovę
            i_m = i_A + i_B;
        endif
    else
        % lygtys, kai diodai VD_A uždari

        if (i_B1 > 0)
            % lygtys, kai diodai VD_B atviri

            % apskaičiuojam ritės B grandinės
sroves

```

```

        i_B1 = funkcija_TV13B(i_BL, R_B2);
        i_B2 = funkcija_TV4(i_B1, i_BL);
        i_B = -i_B1;
    else
        % lygtys, kai diodai VD_B uždari
        % ritė B nebeprisijungta prie maitinimo
        šaltinio
        i_B1 = 0;
        i_B = 0;
        % srovė ritės B magnetinių nuostolių
        varžoje priklauso nuo to ar dar yra sukauptos energijos
        i_B2 =
        srove_vienisame_konture_L_B_R_B2(i_BL);
    endif
    % ritė A nebeprisijungta prie maitinimo šaltinio
    i_A1 = 0;
    i_A = 0;
    % srovė ritės A magnetinių nuostolių varžoje
    priklauso nuo to ar dar yra sukauptos energijos
    i_A2 = srove_vienisame_konture_L_A_R_A2(i_AL);
    % apskaičiuojam maitinimo šaltinio srovę
    i_m = i_A + i_B;
endif
endif
endif
endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovę magnerinus nuosrolius įvertinančiame rezistoriuje R_A2
(vieništoje grandinėje L_A - R_A2)
function i_A2 = srove_vienisame_konture_L_A_R_A2(i_AL)

```

```

    if (i_AL > 0)
        % energijos magnetiniame lauke dar yra
        i_A2 = -i_AL;
    else
        % energija išseko
        i_A2 = 0;
    endif
endfunction

```

```

% Apskaičiuojam srovę magnerinus nuosrolius įvertinančiame rezistoriuje R_B2
(vieništoje grandinėje L_B - R_B2)
function i_B2 = srove_vienisame_konture_L_B_R_B2(i_BL)

```

```

    if (i_BL > 0)
        % energijos magnetiniame lauke dar yra
        i_B2 = -i_BL;
    else
        % energija išseko
        i_B2 = 0;
    endif
endfunction

```

```

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktai K_A ir K_B įjungti

```
function i_m = funkcija_TV1(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);

    global M_P;

    persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
    persistent A2 = M_P.parametrai.E_m / A1;
    persistent A3 = R_A2 / A1;
    persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;

    persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
    persistent B2 = M_P.parametrai.E_m / B1;
    persistent B3 = R_B2 / B1;
    persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;

    persistent C1 = 1 + A4 + B4;

    i_m = (A2 + i_AL * A3 + B2 + i_BL * B3) / C1;

endfunction
```

% Apskaičiuojam srovę ritės A olinėje varžoje, kai raktas K_A įjungtas

```
function i_A1 = funkcija_TV3A(i_m, i_AL, R_A2)

    global M_P;

    persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
    persistent A2 = M_P.parametrai.E_m / A1;
    persistent A3 = R_A2 / A1;
    persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;

    i_A1 = A2 - i_m * A4 + i_AL * A3;

endfunction
```

% Apskaičiuojam srovę ritės B olinėje varžoje, kai raktas K_B įjungtas

```
function i_B1 = funkcija_TV3B(i_m, i_BL, R_B2)

    global M_P;

    persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
    persistent B2 = M_P.parametrai.E_m / B1;
    persistent B3 = R_B2 / B1;
    persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;

    i_B1 = B2 - i_m * B4 + i_BL * B3;

endfunction
```

% Apskaičiuojam srovę magnetinius nuostolius įvertinančioje ritėje

```
function i_2 = funkcija_TV4(i_1, i_L)
```

```
    i_2 = i_1 - i_L;
```

```
endfunction
```

% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktas K_A įjungtas, o raktas K_B išjungtas (VD_B atviri)

```
function i_m = funkcija_TV5A(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
```

```
    global M_P;
```

```
    persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
```

```
    persistent A2 = M_P.parametrai.E_m / A1;
```

```
    persistent A3 = R_A2 / A1;
```

```
    persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;
```

```
    persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
```

```
    persistent B2 = (M_P.parametrai.E_m - 2 * M_P.parametrai.U_VD) / B1;
```

```
    persistent B3 = R_B2 / B1;
```

```
    persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;
```

```
    persistent C1 = 1 + A4 + B4;
```

```
    i_m = (A2 + i_AL * A3 + B2 - i_BL * B3) / C1;
```

```
endfunction
```

% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktas K_A išjungtas (VD_A atviri), o raktas K_B įjungtas

```
function i_m = funkcija_TV5B(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2);
```

```
    global M_P;
```

```
    persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
```

```
    persistent A2 = (M_P.parametrai.E_m - 2 * M_P.parametrai.U_VD) / A1;
```

```
    persistent A3 = R_A2 / A1;
```

```
    persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;
```

```
    persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
```

```
    persistent B2 = M_P.parametrai.E_m / B1;
```

```
    persistent B3 = R_B2 / B1;
```

```
    persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;
```

```
    persistent C1 = 1 + B4 + A4;
```

```
    i_m = (B2 + i_BL * B3 + A2 - i_AL * A3) / C1;
```

```
endfunction
```

% Apskaičiuojam srovę ritės A olinėje varžoje, kai raktas K_A išjungtas (VD_A atviri)

```

function i_A1 = funkcija_TV6A(i_m, i_AL, R_A2)

    global M_P;

    persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
    persistent A2 = (-M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD) / A1;
    persistent A3 = R_A2 / A1;
    persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;

    i_A1 = A2 + i_m * A4 + i_AL * A3;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovę ritės B ominiėje varžoje, kai raktas K_B išjungtas (VD_B atviri)

```

function i_B1 = funkcija_TV6B(i_m, i_BL, R_B2)

    global M_P;

    persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
    persistent B2 = (-M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD) / B1;
    persistent B3 = R_B2 / B1;
    persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;

    i_B1 = B2 + i_m * B4 + i_BL * B3;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovę ritės A ominiėje varžoje, kai raktas K_A įjungtas, o raktas K_B išjungtas (VD_B uždari)

```

function i_A1 = funkcija_TV9A(i_AL, R_A2)

    global M_P;

    persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2 +
M_P.parametrai.R_m;
    persistent A2 = M_P.parametrai.E_m / A1;
    persistent A3 = R_A2 / A1;

    i_A1 = A2 + i_AL * A3;

endfunction

```

% Apskaičiuojam srovę ritės A ominiėje varžoje, kai raktas K_A išjungtas (VD_A uždari), o raktas K_B įjungtas

```

function i_B1 = funkcija_TV9B(i_BL, R_B2)

    global M_P;

    persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_K + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2 +
M_P.parametrai.R_m;
    persistent B2 = M_P.parametrai.E_m / B1;
    persistent B3 = R_B2 / B1;

```

```
i_B1 = B2 + i_BL * B3;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovę maitinimo grandinėje, kai raktai K_A ir K_B išjungti (VD_A ir VD_B atviri)
```

```
function i_m = funkcija_TV11(i_AL, i_BL, R_A2, R_B2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2;
```

```
persistent A2 = (M_P.parametrai.E_m - 2 * M_P.parametrai.U_VD) / A1;
```

```
persistent A3 = R_A2 / A1;
```

```
persistent A4 = M_P.parametrai.R_m / A1;
```

```
persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2;
```

```
persistent B2 = (M_P.parametrai.E_m - 2 * M_P.parametrai.U_VD) / B1;
```

```
persistent B3 = R_B2 / B1;
```

```
persistent B4 = M_P.parametrai.R_m / B1;
```

```
persistent C1 = 1 + A4 + B4;
```

```
i_m = (A2 - i_AL * A3 + B2 - i_BL * B3) / C1;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovę ritės A olinėje varžoje, kai raktas K_A išjungtas (VD_A atviri), ir raktas K_B išjungtas (VD_B uždari)
```

```
function i_A1 = funkcija_TV13A(i_AL, R_A2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent A1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_A1 + R_A2 +  
M_P.parametrai.R_m;
```

```
persistent A2 = (-M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD) / A1;
```

```
persistent A3 = R_A2 / A1;
```

```
i_A1 = A2 + i_AL * A3;
```

```
endfunction
```

```
% Apskaičiuojam srovę ritės B olinėje varžoje, kai raktas K_A išjungtas (VD_A uždari), ir raktas K_B išjungtas (VD_B atviri)
```

```
function i_B1 = funkcija_TV13B(i_BL, R_B2)
```

```
global M_P;
```

```
persistent B1 = 2 * M_P.parametrai.R_VD + M_P.parametrai.R_B1 + R_B2 +  
M_P.parametrai.R_m;
```

```
persistent B2 = (-M_P.parametrai.E_m + 2 * M_P.parametrai.U_VD) / B1;
```

```
persistent B3 = R_B2 / B1;
```

```
i_B1 = B2 + i_BL * B3;
```

```
endfunction
```

```

function [i_AL, i_BL, i_A1, i_B1, i_A2, i_B2, i_A, i_B] =
sroves_tiltelis_nepaisant_magnetiniu_nuostoliu(K_A, K_B, i_AL, i_BL, h)

% „tiltelis“ maitinimo būdai skaičiuojamos srovės, neįvertinus magnetinių
% nuostolių,
% maitinimo šaltinio vidinę varžą, įjungto rakto varžą ir įtampos kritimą
% atviram diode;
%
% Autorius: Valdas Jankūnas
%
% Keista 2011-03-27

% Funkcijai perduodami parametrai:
% K_A ----- rakto A būseną (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% K_B ----- rakto B būseną (0 - išjungtas, 1 - įjungtas);
% i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
% i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
% h (m) ---- pavaros judžiosios dalies padėtis;

% Funkcija gražina parametrus:
% i_AL (A) - srovė idealioje ritėje A;
% i_BL (A) - srovė idealioje ritėje B;
% i_A1 (A) - srovė ritės rezistoriuje R_A1;
% i_B1 (A) - srovė ritės rezistoriuje R_B1;
% i_A2 (A) - srovė ritės magnetinių nuostolių rezistoriuje R_A2 (visada bus
0);
% i_B2 (A) - srovė ritės magnetinių nuostolių rezistoriuje R_B2 (visada bus
0);
% i_A (A) -- srovė ritės A grandinę maitinančioje šakoje
% i_B (A) -- srovė ritės B grandinę maitinančioje šakoje

global M_P;

% magnetinių nuostolių neįvertinam
i_A2 = 0;
i_B2 = 0;

if (K_A > 0)
% lygtys, kai raktas K_A įjungtas

if (K_B > 0)
% lygtys, kai raktas K_B įjungtas

% apskaičiuojam srovės ričių varžose
i_A1 = i_AL;
i_B1 = i_BL;
% apskaičiuojam ričių grandines maitinančias sroves
i_A = i_A1;
i_B = i_B1;
else
% lygtys, kai raktas K_B išjungtas

if (i_BL > 0)
% lygtys, kai diodai VD_B atviri

% apskaičiuojam srovės ričių varžose
i_A1 = i_AL;
i_B1 = i_BL;
% apskaičiuojam ričių grandines maitinančias
sroves

i_A = i_A1;
i_B = -i_B1;

```



```

else
    % lygtys, kai diodai VD_B uždari

    % apskaičiuojam ritės A grandinės sroves
    i_A1 = i_AL;
    i_A = i_A1;
    % ritės B magnetinio lauko energija išseko
    i_BL = 0;
    i_B1 = 0;
    i_B = 0;
endif
endif
else
    % lygtys, kai raktas K_A išjungtas
    if (K_B > 0)
        % lygtys, kai raktas K_A įjungtas
        if (i_AL > 0)
            % lygtys, kai diodai VD_A atviri

            % apskaičiuojam sroves ričių varžose
            i_A1 = i_AL;
            i_B1 = i_BL;
            % apskaičiuojam ričių grandines maitinančias
            sroves

            i_A = -i_A1;
            i_B = i_B1;
        else
            % lygtys, kai diodai VD_A uždari

            % ritės A magnetinio lauko energija išseko
            i_AL = 0;
            i_A1 = 0;
            i_A = 0;
            % apskaičiuojam ritės B grandinės sroves
            i_B1 = i_BL;
            i_B = i_B1;
        endif
    else
        % lygtys, kai raktas K_B išjungtas
        if ((i_AL > 0)&&(i_BL > 0))
            % lygtys, kai diodai VD_A ir VD_B atviri

            % apskaičiuojam sroves ričių varžose
            i_A1 = i_AL;
            i_B1 = i_BL;
            % apskaičiuojam ričių grandines maitinančias
            sroves

            i_A = -i_A1;
            i_B = -i_B1;
        else
            % lygtys, kai diodai VD_A ir VD_B uždari

            if (i_AL > 0)
                % energijos ritės A magnetiniame lauke
                dar yra

                i_A1 = i_AL;
                i_A = -i_AL;
            else

```

```
        % energija išseko
        i_AL = 0;
        i_A1 = 0;
        i_A = 0;
    endif

    if (i_BL > 0)
        % energijos ritės B magnetiniame lauke

        i_B1 = i_BL;
        i_B = -i_BL;
    else
        % energija išseko
        i_BL = 0;
        i_B1 = 0;
        i_B = 0;
    endif
endif
endif
endif

% apskaičiuojam maitinimo šaltinio srovę
i_m = i_A + i_B;

endfunction
```