KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Evaldas Juodsnukis

BĖGIŲ LINIJOS PARAMETRŲ NORMALIAJAME IR ŠUNTO REŽIMUOSE TYRIMAS

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas
Doc. dr. Vytautas Gargasas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTRO IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

BĖGIŲ LINIJOS PARAMETRŲ NORMALIAJAME IR ŠUNTO REŽIMUOSE TYRIMAS

Baigiamasis bakalauro projektas
Automatika ir valdymas (kodas 612H66001)

Vadovas
Doc. dr. Vytautas Gargasas

Recenzentas
Doc. Romas Rutkauskas

Projektą atliko
Evaldas Juodsnukis

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos
(Fakultetas)

Evaldas Juodsnukis
(Studento vardas, pavardė)

Automatika ir valdymas, 612H66001
(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Bėgių linijos parametrų normaliajame ir šunto režimuose tyrimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. Gegužės 26 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Evaldo Juodsnukio** baigiamasis projektas tema „Bėgių linijos parametrų normaliajame ir šunto režimuose tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka) *(parašas)*

Juodsnukis, E. Bėgių linijos parametrų normaliajame ir šunto režimuose tyrimas. *Bakalauro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Vytautas Gargasas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Automatikos katedra.

Kaunas, 2015. 35 psl.

SANTRAUKA

Šiame darbe nagrinėti bėgių linijos parametrai, atliktas kintamos srovės traukos 25 Hz nešakotosios bėgių linijos parametrų tyrimas, normaliajame ir šunto režimuose. Išnagrinėta literatūra, aprašanti bėgių linijų parametrus ir jų priklausomybę nuo veikimo režimų.

Tyrimui pasirinkta reali nešakota bėgių linija, apskaičiuoti ir eksperimentiškai išmatuoti bėgių linijos elektriniai parametrai.

Reikšminiai žodžiai (iki 8 žodžių): bėgių linija, bėgių grandinė, normalusis režimas, šunto režimas.

Juodsnukis, Evaldas. Investigation of Track Circuit Line Parameters in Normal and Shunt Modes. Final project of *bachelor's* / supervisor doc. dr. Vytautas Gargasas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Automation.

Kaunas, 2015. 35 p.

SUMMARY

In this work the parameters of track line have been analysed, the research on the non-ramificated track circuits of the alternating current of 25 Hz, in normal and shunt modes has been done. The literature describing the track circuit parameters and their reliance in different work modes has been analysed.

A real non-ramificated track circuit has been chosen for the investigation, the track circuit electrical parameters have been found experimentally and analytically.

Keywords (up to 8 words): track line, track circuit, normal mode, shunt mode.

Turinys

SANTRAUKA 5
SUMMARY 6
Įvadas 8
1. Bėgių grandinės 9
1.1 Paskirtis ir veikimo principas 9
1.2 Elementai ir aparatūra 9
1.3 Bėgių linijos elektriniai parametrai 10
1.5 Darbo režimai ir jų kriterijai 16
1.6 Atstojamosios schemos 19
1.7 Bėgių keturpolio koeficientai normaliam ir šunto režimams 22
2. Bėgių linijos elektrinių parametrų tyrimas 26
2.1 Užduoties aprašas 26
2.2 Nešakotosios bėgių linijos eksperimentinis tyrimas 26
2.3 Analitinis tyrimas 29
Išvados 38
Literatūros sarašas 39

Įvadas

Saugiam traukinių eismui užtikrinti naudojami automatikos elementai. Vieni iš jų yra bėgių grandinės ir bėgių linijos.

Pagrindinė bėgių grandinių (BG) funkcija yra izoliuotojo geležinkelio ruožo užimtumo kontrolė užvažiavus traukiniui.

Projektuojant BG svarbus uždavinys yra tinkamai parinkti bėgių grandinės maitinamojo galo parametrus [1, 4]. Maitinimo srovė turi būti pakankamai didelė, kad esant laisvam kontroliuojamam ruožui (normalusis režimas), kelio relė būtų suveikusi, o ant bėgių linijos užvažiavus traukiniui (šunto režimas), srovė kelio relėje sumažėtų tiek, kad jos inkaras patikimai atkristų, tai yra fiksuotų užimtumą. Norint nustatyti optimalią maitinimo įtampos reikšmę, reikia išanalizuoti procesus vykstančius bėgių linijoje, priklausančius nuo bėgių linijos ilgio, bėgių varžos, balasto varžos ir kitų elektrinių bėgių linijos parametrų.

Bėgių linijos parametrai keičiasi bėgių grandinės eksploatacijos metu. Nuo šių parametrų priklauso schemos veikimas skirtingais darbo režimais. Bėgių linijos parametrų tyrimas yra svarbus, nes pagal jo rezultatus atliekami projektavimo darbai ir parenkama bėgių grandinių aparatūra.

Tyrimui buvo pasirinkta nešakotoji BG. Darbo metu buvo ištirta kaip kinta įtampa reliniame gale priklausomai nuo šuntavimo vietos, bei kaip kinta įtampa tarp bėgių priklausomai nuo atstumo iki linijos galo, esant laisvam ruožui.

1. Bėgių grandinės

1.1 Paskirtis ir veikimo principas

Bėgių grandinė (BG) vadinama bėgių linijos ir prie jos prijungtos aparatūros visuma. Ji yra pagrindinis geležinkelio automatikos ir telemechanikos (GAT) įrenginių elementas: autoblokuotėje, automatinėje lokomotyvo signalizacijoje, elektrinėje centralizacijoje (EC), dispečerinėje kontrolėje ir t.t. Bėgių grandinės schemos pagrindinė funkcija – geležinkelio ruožo užimtumo fiksavimas. Bėgių grandinę sudaro maitinimo galo aparatūra, relinio galo aparatūra ir bėgių linija. Bėgių linija ir jos elektriniai parametrai – pagrindinis šio darbo tyrimų objektas. Dėl meteorologinių sąlygų ir ruožo užimtumo/laisvumo keičiasi linijos elektriniai parametrai. Kadangi nuo šių parametrų priklauso BG schemos veikimas, aktualu ištirti bėgių linijoje vykstančius procesus ir patikrinti eksperimentiškai.

1.2 Elementai ir aparatūra

Bėgių linijos elementai: bėgiai, sandūros jungės, izoliuotoji sandūra, kabelio stovai ir droseliniai transformatoriai [7].

Sandūrų jungės stabilizuoja bėgių sandūrų varžas. Be jų sandūrų varža gali kisti nuo tūkstantųjų Ω dalių iki keletos Ω.

Jungės paprastai privirinamos prie bėgių. Esant elektriniai traukai, jungės – variniai trosai. Jei nuolatinės srovės trauka - skerspjūvis 70 mm^2, kai kintamos srovės trauka – 50 mm^2. Kai trauka neelektrinė - jungės plieninės.



1.1 pav. Privirinamoji bėgių jungė

Izoliuotosios sandūros skirtos gretimų BG izoliavimui. Suduriami bėgiai jungiami varžtais, kurie izoliacinėmis įvorėmis izoliuojami nuo bėgių , kaip ir metaliniai antdėklai, izoliaciniais tarpikliais.

Kabelio stovas naudojamas signaliniam kabeliui prijungti prie bėgio, kai trauka neelektrinė. Jis įrengiamas BG gale.

Rezistoriai – nuolatinės srovės ribotuvai naudojami nuolatinės ir kintamos srovės BG. Jie paprastai yra reguliuojami. Gali būti panaudojami ir nereguliuojami rezistoriai.

1.3 Bėgių linijos elektriniai parametrai

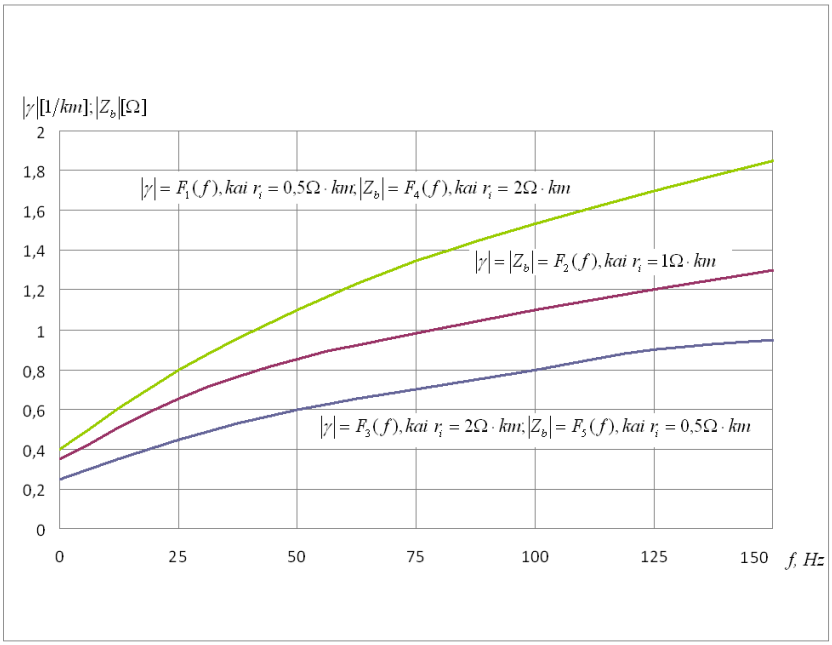
Bėgių linijos, kaip ir ryšio linijos, parametrai yra pirminiai ir antriniai.

Pirminiai bendru atveju : r, L,C arba lyginamoji bėgių varža z (vienam km) ir z_i Antriniai: banginė varža Zb, ir sklidimo koeficientas $\gamma=\beta+j\alpha$. Kai signalinės srovės dažnis f yra ribose nuo 0 iki 2000 Hz, izoliacijos varža $zi \approx ri$ .Kai signalinės srovės dažnis $f > 2000$ Hz , izoliacijos varžoje pasireiškia talpos dedamoji C_i [3].

Bėgių liniją sudaro atskiros bėgių grandinės, elektriškai tarpusavyje sujungtos. Bėgių ilgiai gamykliškai būna 12,5 m, 25 m, ilgabėliai suvirinami į 800 m ilgio grandinę, tarpstotyje – iki 12 km.

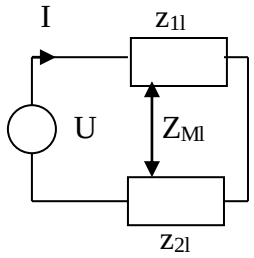
Sandūroje naudojami jungikliai. Lyginamoji (1 km) varža nuolatinei srovei priklauso nuo sandūrų būsenos :

- naudojant kištukinius sandūros įrenginius 0,3 – 0,6 Ω / km,
- naudojant plieninius, privirinamus įrenginius (1.1 pav) 0,1 – 0,2 Ω / km,
- kai naudojami 800 m bėgiai , varža sumažėja iki 0,05 Ω / km.

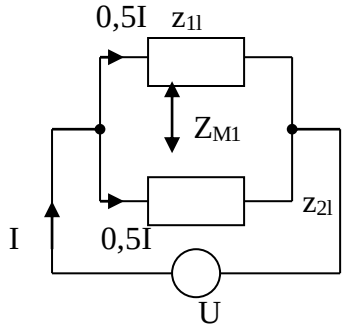


1.2 pav. Antrinių bėgių linijos parametrų priklausomybė nuo dažnio ir r_i

Tekant kintamai srovei, apie kiekvieną bėgį sukuriamas kintamas magnetinis laukas, kuris jame indukuoja autoindukcijos (saviindukcijos) evj, o antrajame bėgyje tarpusavio indukcijos evj.



1.3 pav. Nuosekliai sujungtų bėgių ekvivalentinė schema



1.4 pav. Lygiagrečiai sujungtų bėgių ekvivalentinė schema

Pilnoji kilometrinė varža z – kompleksinė. Ją sudaro aktyvinė ir induktyvinės varžos, kurios priklauso nuo dažnio, bėgių skerspjūvio formos, plieno laidumo bei magnetinės skvarbos l *km* ilgio bėgių (linijos kompleksinė varža):

$$zl = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = z_1 l + z_2 l - 2z_M l = (z_1 + z_2 - 2z_M)l \qquad (1.1)$$

čia : z_1 , z_2 – pirmo ir antro bėgių savitosios (1 *km*) varžos.

Simetrinei bėgių linijai $z_1 = z_2$:

$$zl = 2(z_1 - z_M)l\,; \qquad z = 2(z_1 - z_M)\,. \qquad (1.2)$$

Lyginamoji dviejų lygiagrečiai sujungtų vienodų bėgių varža:

$$z_e l = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{1}{2}(z_1 + z_M)l \quad ; \quad z_e = \frac{1}{2}(z_1 + z_M) = \frac{1}{4}zE^2\,. \qquad (1.3)$$

čia : $E = \sqrt{1 + \frac{4z_m}{z}}$ - koeficientas, įvertinantis bėgių tarpusavio indukciją.

1.1 lentelė. P 65 tipo bėgių varžos (pilnos) ir kiti parametrai [6]

Dažnis	Skaičiuojamoji varža		Normatyvi varža		Tarpusavio indukcija		E koeficientas	
	Modulis *Ω / km*	Argument laips.,*s*	Modulis *Ω / km*	Argument laips.,*s*	Modulis *mH / km*	Argument laips.,*s*	Modulis	Argument laips.,*s*
25	0,45	52	0,5	52	1,35	-6,40	1,61	9,54
50	0,68	60	0,8	65	1,28	-7	1,73	6,10

Bėgių linijos varžoje dominuoja sandūrų varžos.

Nuotėkio srovės iš bėgio į bėgį teka įvairaus tipo laidininkais. Bėgiams ir metalinėms detalėms būdingas elektroninis laidumas.

Bėgių linijos izoliacijos varža – pasiskirstęs parametras. Minimali normatyvinė izoliacijos lyginamosios varžos reikšmė 1 $\Omega \cdot km$. Mažiausia ji būna vasarą, esant aukštai temperatūrai ir drėgmei.

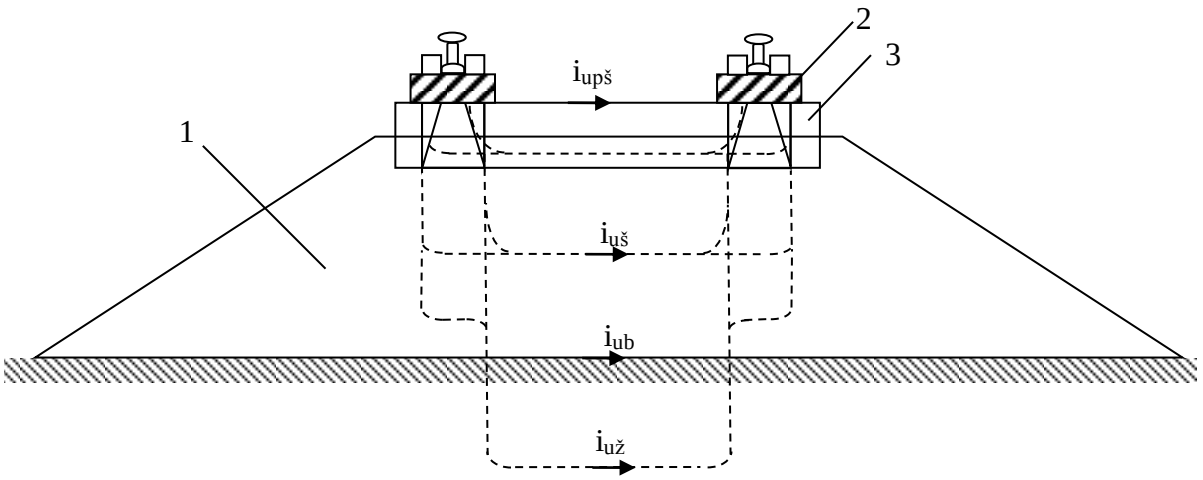
Žiemą, kai žemos temperatūros, izoliacijos varža gali pasiekti 50 – 100 $\Omega \cdot km$. Todėl, praktiškai skaičiuojant, galima laikyti ją esant lygią begalybei. Dalis nuotekio srovės tampa klaidžiojančia srove. Trūkus bėgiui, srovės grandinė nenutrūksta.

Bėgių linijos elektrinės savybės yra nustatomos izoliacijos santykiniu elektriniu laidumu γ_i *(S/km)* ir elektrinių bėgių varžą *z(*Ω*/km*), kurie priklauso nuo jų pirminių parametrų: *r (*Ω*/km), L (H/km),* g_i *(S/km), C (F/km)* [8].

Bėgių linijos izoliacijos laidumu yra vadinamas laidumas srovės nutekėjimo nuo vienos linijos iki kitos per bėgius (paviršiniai $i_{upš}$, viduje bėgiai $i_{uš}$), balastą i_{ub} ir žemės i_{uz}.

Izoliacijos laidumas nustatomas konstrukcijos ir kelio sankąsos būviu (1.5 pav), kadangi bėgiai sumontuoti ant pabėgių 3, tiesiogiai ant žemės ir turi su ja gerą elektrinį laidumą, per metalinių detalių sutvirtinimus (padėklės tvirtinimo elementai 2), o patys pabėgiai montuojami balastiniame sluoksnyje 1, supiltame ant žemės sluoksnio. Dėl tokios specifinės konstrukcijos, bėgių linija yra elektrocheminė sistema: su elektrinio ir joninio laidumo elementais ir sudėtingais metaliniais elektrodais.

Bėgiai pasižymi elektriniu laidumu visose padėklės tvirtinimo elementuose, o joniniu-balastas, pabėgiai, žemes plotas ir gruntas. Elektros srovės laidumas per sistemą su elektriniu ir joniniu laidumu, galimas tik vykstant elektroninėms reakcijoms viršutiniame sluoksnyje, tarp joninio ir elektroninio laidumo elementų. Šios reakcijos yra lydimos elektrodų poliarizacijos procesų. Dėl to atsiranda pereinamieji sluoksniai, potencialų skirtumas ekvivalentiškai įvestam į grandinę kondensatoriui, kurio talpa (sąlyginė talpa ar poliarizacijos talpa) priklauso nuo visų faktorių, darančių įtaką reakcijos eigai. Bendrai izoliacijos laidumus sudaro tiek laidumo dalis, srovei tekant pabėgiais, tiek kita laidumo dalis, apibrėžianti sroves, tekančiais balasto ir žemės sluoksniais.



1.5 pav. Bėgių linijos izoliacijos laidumo srovių trajektorijos

Apytikslėje pakeitimo schemoje, dėl begalinio ruožo izoliacijos elemento tarp bėgių P1 ir P2 (1.6 pav), išsiskiria trys varžos rušys: Z_{pc}-pereinamojo sluoksnio varža, $r_{uš}$- varža, charakterizuojanti nuotekį per bėgį (įskaitant jo paviršių), r_{ub}- srovės nutekėjimo varža balaste (taip pat ir žemėje).

Izoliacijos varža bendru atveju yra kompleksinis dydis.

$$z_i = r_u + 2Z_{ps} \qquad (1.4)$$

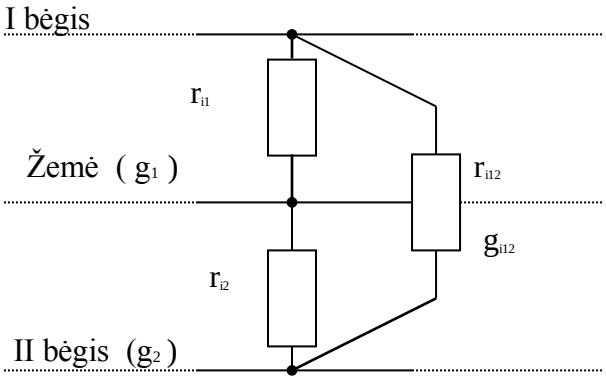
Varžos r_{ub} ir $r_{uš}$ priklausomos nuo elektrolitų varžu, kuriose yra pabėgiai, balastas ir gruntas. Varža r_u yra aktyvus ir nepriklauso nuo srovės dažnio, o Z_{pc}-kompleksinis.



1.6 pav. Bėgių linijos su mediniais pabėgiais izoliacijos ekvivalentinė schema

$$r_u = \frac{r_{uš} \cdot 2r_{ub}}{r_{uš} + 2r_{ub}} \qquad (1.5)$$

Jis susideda iš varžos dvigubo sluoksnio, susidarančio iš dviejų skirtingų laidumo charakteristikų susiliejančių sluoksnių (šiuo atveju bėgio metalas ir viršutinio tvirtinimų metalas, ir aplinkos) ir varžos, atsirandančio dėl energijos panaudojimo vykstant elektrocheminiai reakcijai pereinamajame sluoksnyje[1,8].



1.7 pav. Izoliacijos varžos ekvivalentinė schema

1.7 pav. vaizduojama izoliacijos varžos ekvivalentinė schema:

Čia: r_{i1}, r_{i2} – varžos tarp bėgio ir žemės,

r_{i12} – varža tarp bėgių ir viršutinio balasto sluoksnio bei pabėgių.

$$g = \frac{1}{r_i};$$

$$g_1 = \frac{1}{r_{i1}}; \qquad (1.6)$$

$$g_2 = \frac{1}{r_{i2}};$$

$$g_{12} = \frac{1}{r_{i12}}.$$

Jei prie bėgių nėra prijungtų pašalinių schemų (pvz., kontaktinio tinklo atramų) daugumoje atvejų:

$$g_1 = g_2, \qquad (1.7)$$

$$r_{i1} = r_{i2}.$$

t.y. bėgių linija – simetrinė.

Paviršinio laidumo koeficientas :

$$m = g_{12} / g_1 = r_{i1} / r_{i12} \qquad (1.8)$$

kiti dydžiai :

$$g = g_{12} + \frac{g_1}{2} \qquad r_i = \frac{2r_{i1} \cdot r_{i12}}{2r_{i1} + r_{i12}}$$

$$g_1 = g\frac{2}{1+2m} \qquad r_{i1} = r_i\frac{1+2m}{2} \qquad (1.9)$$

$$g_{12} = g\frac{2m}{1+2m} \qquad r_{i12} = r_i\frac{1+2m}{2m}$$

Kelio imtuvo įėjimo įtampa labai priklauso nuo BL pirminių parametrų. Kai BG yra laisva, ši įtampa turi būti pakankama normaliam imtuvo darbui. Būtina įsidėmėti , jog lkm ilgio BL izoliacijos varža [7]:

$$R_i = r_1 / l \tag{1.10}$$

Banginė varža: $$Z_b = \frac{U_t}{I_t} = \frac{U_a}{I_a} \tag{1.11}$$

U_t , I_t , U_a , I_a – tiesioginės ir atsispindėjusios elektromagnetinės bangos įtampos ir srovės.

Sklidimo koeficientas: $\gamma = \beta + j\alpha$

α – fazės koeficientas, β – slopinimo koeficientas.

Z_b ir γ išreiškiant per pirminius parametrus.

$$Z_b = \sqrt{\frac{R+jwL}{G+jwC}} = \sqrt{z \cdot r_i} = \left|\sqrt{z \cdot r_i}\right| e^{j\varphi/2}$$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega l)(G + j\omega C)} = \sqrt{z / r_i} = \left|\sqrt{z / r_i}\right| e^{j\varphi/2} \tag{1.12}$$

φ – bėgių varžos argumentas .

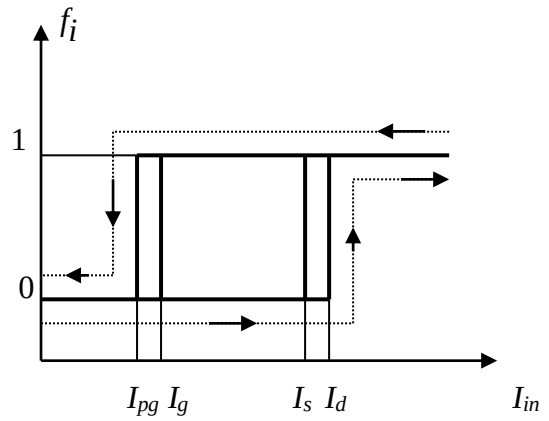
Esant nuolatinei srovei, $\gamma = \beta$, nes $\alpha = 0$:

$$\gamma = \sqrt{r / r_i} \tag{1.13}$$

1.5 Darbo režimai ir jų kriterijai

Normalusis režimas. Šis režimas atitinka laisvą BG būseną – kelio imtuvas siunčia diskretinę informaciją “laisva” , kuri koduojama 1 [8].

Tarkim imtuvo loginė funkcija f_i šios funkcijos reikšmė lygi 1, jei imtuvo įėjime signalo reikšmė didesnė už suveikimo slenkstį I_s ; $f_i = 0$, jei signalo vertė mažesnė už grįžimo slenkstį I_g.



1.8 pav. Kelio imtuvo loginės funkcijos grafikas

Jei kelio imtuvas – elektromagnetinė relė, tai I_s – inkaro pritraukimo (suveikimo) srovė, o I_g – inkaro atleidimo srovė. Imtuvo grįžimo koeficientas:

$$k_g = \frac{I_g}{I_s} \qquad (1.14)$$

Normaliam režime, kai sąlygos blogiausios, signalo srovės lygis turi būti ne mažesnis už darbinę srovę I_d. Atsargos koeficientas suveikimui:

$$k_{as} = \frac{I_d}{I_s} > 1 \qquad (1.15)$$

Jis parenkamas įvertinant darbo sąlygas. Pvz., impulsinėse BG reikalinga greitaveika ir suveikimo laiko stabilumas gaunamas, kai k_{as} = 1,2.

Blogiausiomis normalaus režimo sąlygomis yra tos, kurios sumažina signalo lygį imtuvo įėjime: minimali maitinimo šaltinio įtampa, maksimali BG varža; maksimali varža suderimo įtaisų elementų sujungtų nuosekliai su imtuvu; minimali suderinimo įtaisų varža elementų, sujungtų lygiagrečiai imtuvui; minimali izoliacijos varža. Visais šiais atvejais kelio imtuvas turi funkcionuoti normaliai.

Šunto režimas. Šis režimas atitinka užimtą BG – imtuvas siunčia diskretinę informaciją "užimta", tai yra f_i=0. BG tampa užimta, kai riedmenų šuntas yra bet kurioje BL vietoje, o šunto varžos dydis ne didesnis už normatyvinį (0,06 Ω).

Šuntavimo pasekoje imtuvo įėjimo signalas turi tiek sumažėti, kad pasiektų patikimo grįžimo lygį I_{pg}, kuriam esant f_i=0:

$$I_{pg} = k_{aa} \cdot I_g \ ,$$

$$k_{aa} = \frac{I_{pg}}{I_g} < 1 \ , \qquad (1.16)$$

$$k_{pg} = \frac{I_{pg}}{I_d} < 1 .$$

čia : k_{aa} < 1 - imtuvo atleidimo atsargos koeficientas.

k_{pg}<1 - imtuvo patikimo grįžimo koeficientas.

Kontroles režimas. Šis režimas dar kitaip vadinamas pažeisto bėgio, režimas atitinka pažeisto, trūkusio bėgio būseną, esant laisvai BG. Kelio imtuvas siunčia diskretinę informaciją, ekvivalentišką "užimta" f_i = 0.

Trūkus bėgiui, elektrinė grandinė tarp maitinimo šaltinio ir imtuvo išlieka. Srovės dydis šiuo atveju priklauso nuo bėgio trūkimo vietos ir BL izoliacijos varžos.

Kritiniais vadiname tą izoliacijos varžą r_{ikr} ir trūkimo vietą x_{kr}, kuriems esant imtuvo įėjimo srovė yra maksimali.

Kontrolės režime srovė imtuvo įėjime turi būti ne didesnė už I_{pg}.

Kontrolės režimo blogiausiomis sąlygomis yra tos, kurios didina imtuvo įėjimo srovę, maksimali maitinimo įtampa, BL izoliacijos varža yra kritinė, trūkimas (bėgio) yra kritinėje vietoje, minimali bėgių varža; minimali suderinimo įtaisų elementų varža, sujungtų nuosekliai su imtuvu; maksimali varža suderinimo įtaisų elementų, sujungtų lygiagrečiai imtuvui.

Kad kontrolės režimas funkcionuotų normaliai, BL galų varža turi būti galimai mažesnė [7, 2, 4]. Teoriniais ir eksperimentiniais tyrimais įrodyta, jog naudojamame dažnių diapazone optimalios galų varžos reikšmės yra 0,2 – 0,4 Ω. Šiuo atveju užtikrinamas BG darbas visuose režimuose.

Visų režimų pagrindinės blogiausios sąlygos :

1.2 lentelė. Visų režimų pagrindinės blogiausios sąlygos

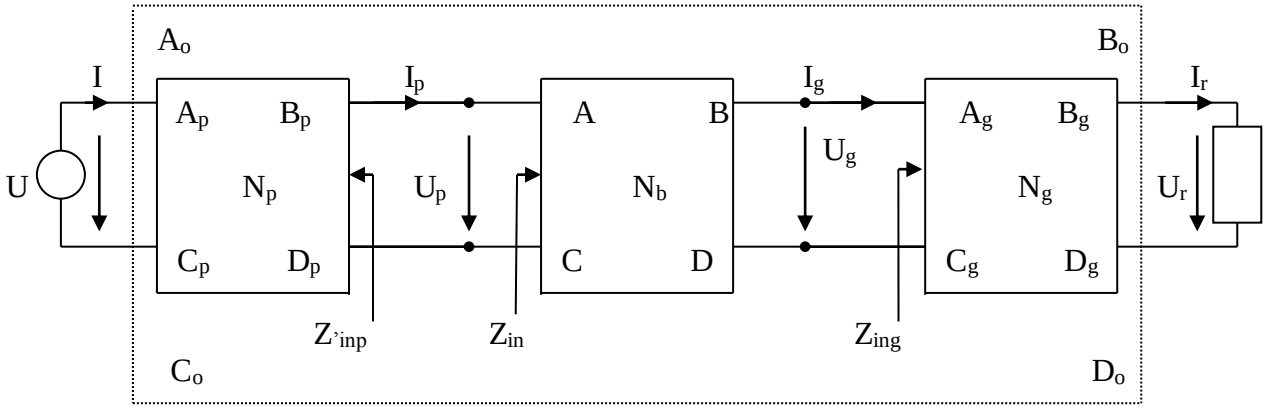
Eil. Nr.	BG režimas	Maitinimo įtampa	Varža		Suderinimo įtaisų elementų varža		Bėgio trūkimo vieta
			Bėgių	Izoliacijos	Nuosekliai imtuvui	Lygiagrečiai imtuvui	
1.	Normalus	min	max	min	max	min	
2.	Šunto	max	min	max	min	Max	
3.	Kontrolės	max	min	kritinė	min	max	Kritinė

BG ilgis sąlygoja jos darbą. Ribinis ilgis dažniausiai nustatomas pagal kontrolės režimo sąlygas. Ilgio parinkimo kriterijumi dažnai parenkamas $\gamma \cdot l$. t.y. BL slopinimas, kadangi didėjant signalinės srovės dažniui, γ didėja, tai ribinis ilgis mažėja.

1.6 Atstojamosios schemos

Naudojama bendroji ir pagrindinė atstojamosios schemos.

Bendrąją atstojamąją schemą sudaro 3 keturpoliai, sujungti nuosekliai: N_p, N_b ir N_g, kurie atitinka suderinimo įtaisų BL pradžioje, BL ir suderinimo įtaisų BL pabaigoje [1, 2, 6].



1.9 pav. Bendroji bėgių grandinės atstojamoji schema

Schemos pažymėjimai atitinka normalų BG režimą. Šunto ir kontrolės režimų atveju atstojamoji schema bus tokia pat, tik keturpolio N_b koeficientų reikšmės bus kitos.

Keturpolių įtampa ir srovė įėjime išreiškiamos per išėjimo įtampą ir srovę pvz., N_b:

$$\dot{U}_p = A\dot{U}_g + B\dot{I}_g, \qquad (1.17)$$

$\dot{I}_p = C\dot{U}_g + D\dot{I}_g$.

N_p ir N_g koeficientai surandami teorinės elektrotechnikos metodais. N_b – naudojant BG teoriją (turi savo specifiką). N_p ir N_g koeficientai yra pastovūs ir nepriklauso nuo BG darbo režimo.

N_b koeficientai – kintami. Jie priklauso nuo darbo režimo. Jie kinta nuolat veikiant klimatinėms sąlygoms į kelio būseną, arba kinta diskretiškai, esant šuntui arba nutrūkus bėgiui.

Visa BG schema gali būti pakeista bendru keturpoliu su koeficientais A_o B_o C_o D_o, kurie gaunami dauginant keturpolių N_p, N_b ir N_g koeficientų matricas:

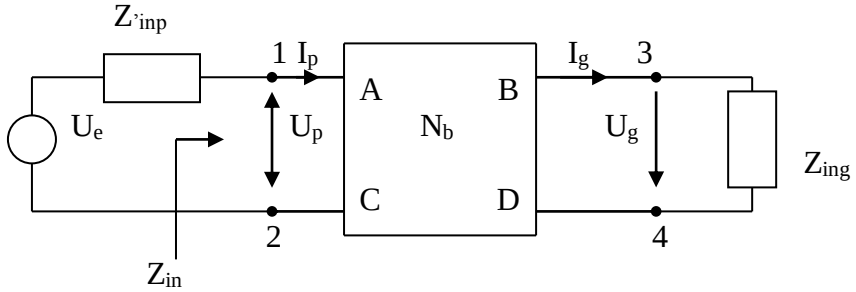
$$\begin{bmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & D_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_p & B_p \\ C_p & D_p \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} A_b & B_b \\ C_b & D_b \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} A_g & B_g \\ C_g & D_g \end{bmatrix} \qquad (1.18)$$

Įtampa ir srovė :

$$\dot{U} = A_o\dot{U}_r + B_o\dot{I}_r$$
$$\dot{I} = C_o\dot{U}_r + D_o\dot{I}_r \qquad (1.19)$$

Laikoma, jog keturpoliai yra tiesiniai, t.y. jų parametrai nepriklauso nuo srovės dydžio reiškia įtampa ir srovė BG imtuvo įėjime (esant normaliam, šunto ir kontrolės režimui) kinta taip pat, kaip ir įtampa ir srovė BL pabaigoje.

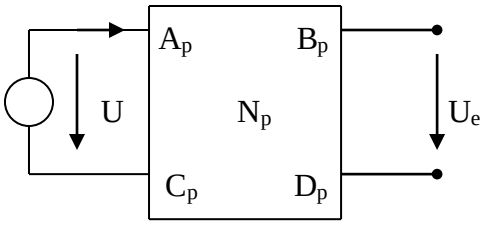
Tai įvertinant galima sudaryti paprastesnę, pagrindinę atstojamąją schemą.



1.10 pav. Pagrindinė bėgių grandinės atstojamoji schema

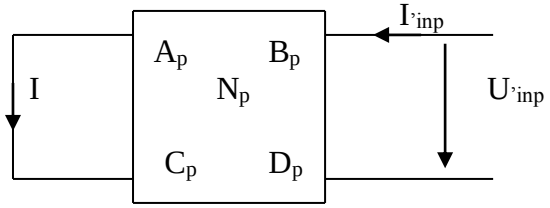
Ji gaunama, pakeičiant BL pradžioje esantį suderinimo įtaisą PSĮ ekvivalentinio generatoriaus metodu ir BL pabaigoje esantį suderinimo įtaisą GSĮ ekvivalentinės apkrovos metodu.

Tokiu būdu, ekvivalentinio generatoriaus įtampa U_e lygi keturpolio N_p išėjimo tuščios eigos įtampai.



1.11 pav. Ekvivalentinio generatoriaus schema

Ekvivalentinio generatoriaus vidaus varža $Z_{'inp}$ – tai keturpolio N_p atbulinė įėjimo varža, kai maitinimo šaltinio gnybtai sujungti trumpai.



1.12 pav. Maitinimo galo varžos schema

Varža Z_{ing} – tai keturpolio N_p įėjimo varža, kai N_g išėjime prijungtas BG imtuvas su įėjimo varža Z_i.

Iš N_g keturpolio lygčių gauname:

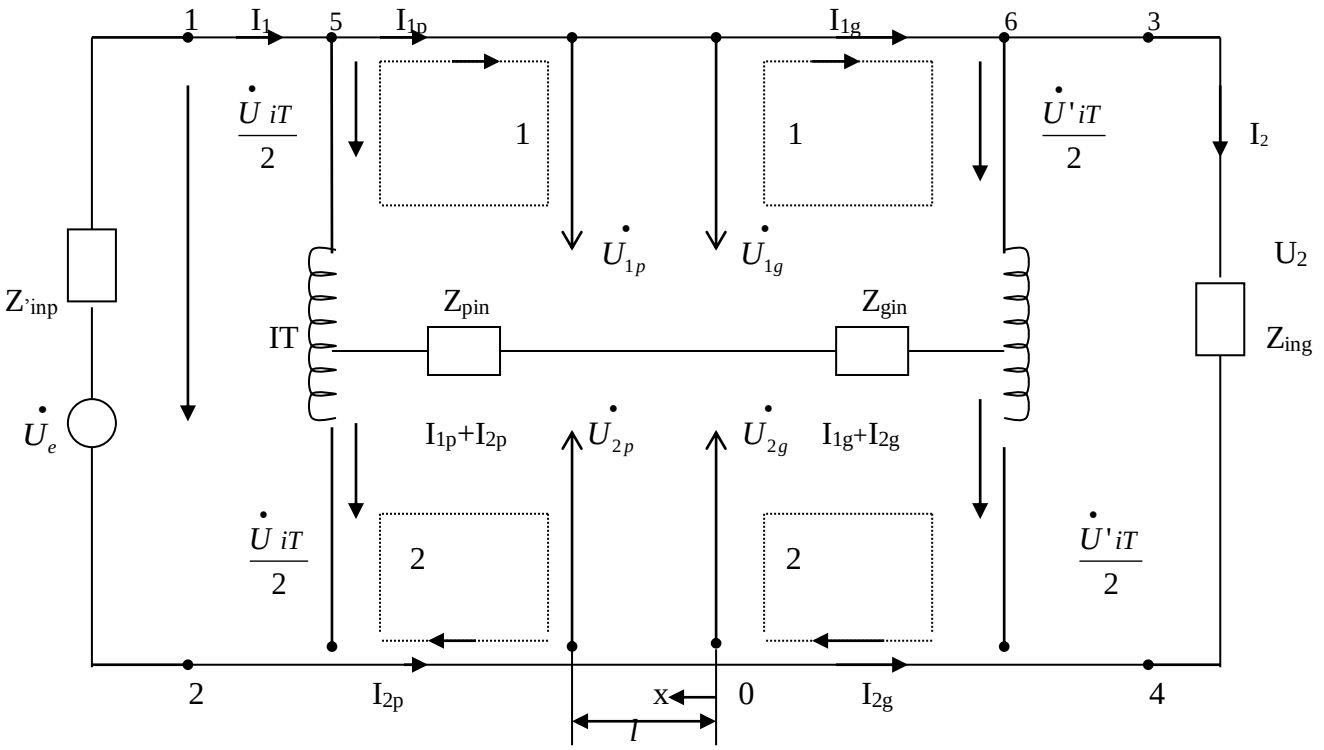
$$\dot{U}_g = A_g \dot{U}_r + B_g \dot{I}_r = \left(A_g + \frac{B_g}{Z_r} \right) \dot{U}_r = k_{ig} * \dot{U}_r ,$$

$$\dot{I}_g = C_g \dot{U}_r + D_g \dot{I}_r = \left(C_g Z_r + D_g \right) \dot{I}_r = k_{sg} * \dot{I}_r \ . \qquad (1.20)$$

BG perdavimo varža kinta priklausomai nuo N_b keturpolio koeficientų reikšmių. Normaliam režime tai *A, B, C, D*. Iš (1.20) randama pagrindinės atstojamosios schemos perdavimo varža, esant normaliajam BG darbo režimui.

1.7 Bėgių keturpolio koeficientai normaliam ir šunto režimams

Bėgių keturpolio viena bendriausių atstojamųjų schemų, kuri atitinka BG su kelio droseliniu transformatoriumi [3, 7].



1.13 pav. Bėgių grandinės atstojamoji schema normaliajame režime

Maitinimo ir relinės pusių aparatūra, prijungta prie įėjimo (1,2) ir keturpolio išėjimo (3,4) gnybtų, transformuojama (pakeičiama) ekvivalentinio generatoriaus ir ekvivalentinės apkrovos metodu. Droselinis transformatorius vaizduojamas kaip idealus auto transformatoriaus (IT) su viduriniu tašku prie kurio prijungtas realus transformatorius su nuostoliais.

Idealus transformatorius įjungtas į bėgių keturpolio atstojamąją schemą, o realaus transformatoriaus su nuostoliais, parametrai įvertinami nustatant reikšmes U_e ir Z'_{inp} - imtuvo relinėje pusėje (reliniame gale).

Varža Z_{pin} įvertina tai, jog nagrinėjamos n – sios BG droselinio transformatoriaus vidurinis taškas per gretimą n-1 – ją BG sujungtas su žeme. Analogiškai varža Z_{gin} - tai įėjimo varža tarp gretimo BG droselinio transformatoriaus vidurinio taško ir žemės n – sios BG pabaigoje.

Simetrinėms BL Z_{pin} ir Z_{gin} reikšmės lygios grandinės banginiai varžai, grandinės, kurios vienu laidu yra žemė, o kitu - du bėgiai, sujungti lygiagrečiai:

$$Z_{pin} = Z_{gin} = \frac{Z_{b1}}{2} = \frac{1}{4} E Z_b \sqrt{1+2m} \qquad (1.21)$$

Teigiamos įtampų ir srovių kryptys parodytos (1.13 pav.). Koordinačių pradžia – BL pabaigoje. Šiai atstojamajai schemai galioja tokios relinės sąlygos: kai $x = 0$

$$\dot{U}_{1g} - \dot{U}_{2g} = \dot{U}_2 \qquad (1.22)$$

Kadangi idealaus transformatoriaus abiejose apvijose srovės lygios , taškui 6 :

$$\dot{I}_{1g} - \frac{\dot{I}_{1g} + \dot{I}_{2g}}{2} - \dot{I}_2 = 0,$$
$$\dot{I}_{1g} - \dot{I}_{2g} = 2\dot{I}_2. \qquad (1.23)$$

Gale linijos dviems kontūrams :

$$\frac{\dot{U}_{IT}}{2} - \dot{U}_{1g} + Z_{gin}(\dot{I}_{1g} + \dot{I}_{2g}) = 0,$$
$$\frac{\dot{U}_{IT}}{2} + \dot{U}_{2g} - Z_{gin}(\dot{I}_{1g} + \dot{I}_{2g}) = 0. \qquad (1.24)$$

Iš čia :

$$\dot{U}_{1g} + \dot{U}_{2g} - 2Z_{gin}(\dot{I}_{1g} + \dot{I}_{2g}) = 0 \qquad (1.25)$$

Kai $x = l$ $$\dot{U}_{1g} + \dot{U}_{2g} + 2Z_{gin}(\dot{I}_{1g} + \dot{I}_{2g}) = 0$$

Į ribines sąlygas įstatę įtampas ir sroves, gausime lygčių sistemą, kurioje žinomi yra U_2 ir I_2, o nežinomi integravimo pastoviosios.

$$2A_3 = \dot{U}_2,$$
$$2y_b A_4 = \dot{I}_2, \qquad (1.26)$$
$$2A_1 - 4Z_{gin} y_{b1} A_2 = 0,$$
$$A_1(ch\gamma_1 l + Z_{gin} y_{b1} sh\gamma_1 l) + A_2(sh\gamma_1 l + Z_{gin} y_{b1} ch\gamma_1 l) = 0.$$

Kadangi :

$$Z_{pin} = Z_{gin} = 0{,}5Z_{b1} \quad ,$$
$$Z_{pin}y_{b1} = Z_{gin}y_{b1} = 0{,}5 \quad . \tag{1.27}$$

Išsprendus lygčių sistemą:

$$A_1 = 0,\ A_2 = 0\,,$$
$$A_3 = 0{,}5\dot{U}_2\,, \tag{1.28}$$
$$A_4 = 0{,}5\dot{I}_2 Z_b\,.$$

Pagal Kirkofo dėsnį įtampa ir srovė bėgių keturpolio pradžioje. $x = l$

$$\dot{U}_1 + \dot{U}_{2p} - \dot{U}_{1p} = 0\,,$$

$$\dot{I}_1 + \frac{\dot{I}_{1p} + \dot{I}_{2p}}{2} - \dot{I}_{1p} = 0 \ , \quad \text{(taškas 5)} \tag{1.29}$$
$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{1p} - \dot{U}_{2p}\,,$$
$$\dot{I}_1 = 0.5(\dot{I}_{1p} - \dot{I}_{2p})\,.$$

U_{1p}, U_{2p}, I_{1p} ir I_{2p} reikšmes, kai $x = l$, gauname:

$$\dot{U}_1 = 2(A_3 ch\gamma l + A_4 sh\gamma l), \tag{1.30}$$
$$I_1 = 2y_{b1}(A_3 ch\gamma l + A_4 sh\gamma l)\,.$$

Vietoj A_3 ir A_4 įstatę reikšmes, gautas išsprendę sistemą, gauname:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 ch\gamma l + \dot{I}_2 Z_b sh\gamma l\,,$$
$$\dot{I}_1 = \dot{U}_2 \frac{sh\gamma l}{Z_b} + \dot{I}_2 ch\gamma l\,. \tag{1.31}$$

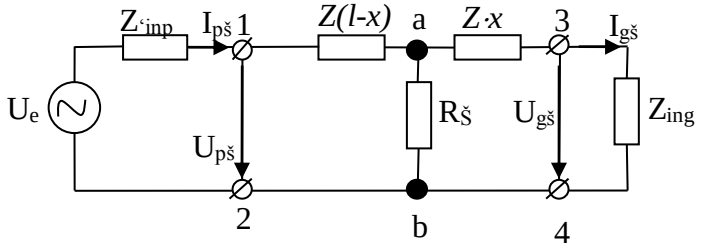
Iš čia :

$$A = ch\gamma l,$$
$$B = Z_b sh\gamma l,$$
$$C = \frac{1}{Z_b} sh\gamma l, \qquad (1.32)$$
$$D = ch\gamma l.$$

Šunto režimo koeficientai:

$$A_S = 1 + \frac{Z_{bl}(l_n - x)}{R_S},$$
$$B_S = \frac{Z_{bl}^2 (l_n - x)x}{R_S} + Z_{bl} l_n, \qquad (1.33)$$

$$C_S = \frac{1}{R_S},$$
$$D_S = 1 + \frac{Z_{bl} x}{R_S}.$$



1.14 pav. Bėgių grandinės atstojamoji schema šunto režime

2. Bėgių linijos elektrinių parametrų tyrimas

2.1 Užduoties aprašas

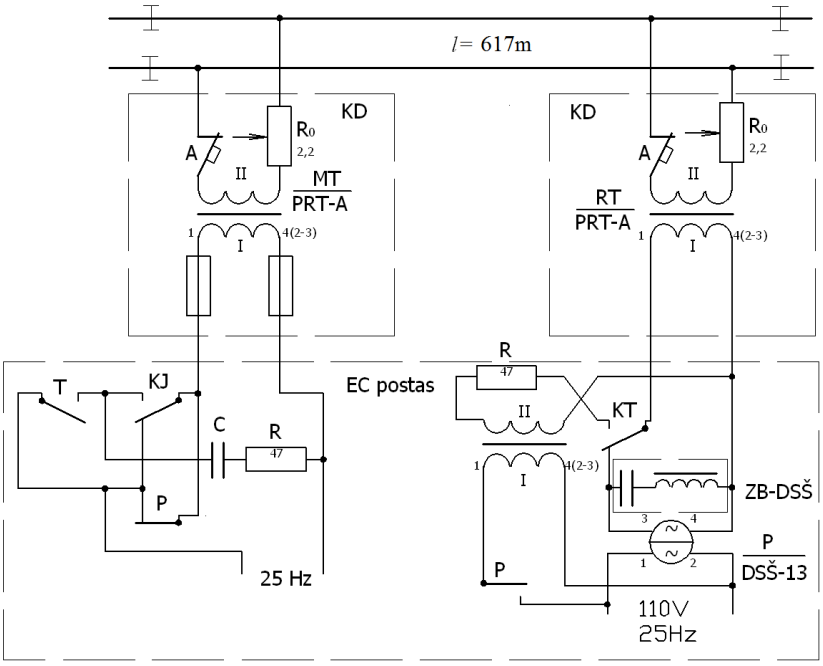
Tiek mokymui skirtoje medžiagoje, tiek techninėje literatūroje, galima rasti keletą bėgių linijos parametrų analitinio įvertinimo būdų. Tačiau reikia paminėti, kad kiekvienas būdas yra pristatomas kaip apytikslis variantas. Inžineriniuose skaičiavimuose svarbu žinoti šių apytikslių skaičiavimų tikslumą, ir kokių rezultatų galime tikėtis.

Eksperimentinis bėgių linijos tyrimas yra komplikuotas uždavinys, nes neįmanoma visiškai tiksliai, be menkiausios paklaidos, išmatuoti bėgių linijos relinio galo ir maitinimo galo srovių. Kadangi srovės matavimo metu sutrikdomas BG funkcionavimas, todėl eksperimentą reikia derinti su stoties budėtoju. Tirti galima tik tą BG, kurioje tuo metu nevykdomas eismas, o po eksperimento privaloma atstatyti bėgių linijos struktūrą į tokią būseną, kad ji atitiktų normalias eksploatavimo sąlygas. Sąlygos, reikalingos eksperimentui atlikti buvo suteiktos AB „Lietuvos geležinkeliai“, profesinės praktikos metu.

Planuojama eksperimento eiga: tyrimo metu išmatuojami bėgių grandinės ir linijos elektriniai parametrai lauko įrangoje, bei relinėje patalpoje, analitiniais metodais apskaičiuojami tokio paties ilgio, bei dažnio bėgių linijos parametrai.

2.2 Nešakotosios bėgių linijos eksperimentinis tyrimas

Šiam bandymui atlikti buvo pasirinkta 25 *Hz* stoties bėgių grandinė. Eksperimentiniam tyrimo rezultatų patikrinimui panaudota bėgių grandinė 23TP yra Palemono geležinkelio stotyje, ir priklauso skirstomojo kalnelio iešmynui. Dėl savo buvimo vietos ji yra patogi, nes nebuvo trukdoma keleivinių ir krovininių traukinių eismui ir buvo lengviau organizuoti matavimo darbus.



2.1 pav. 25 Hz stoties nešakotoji bėgių grandinė-23TP

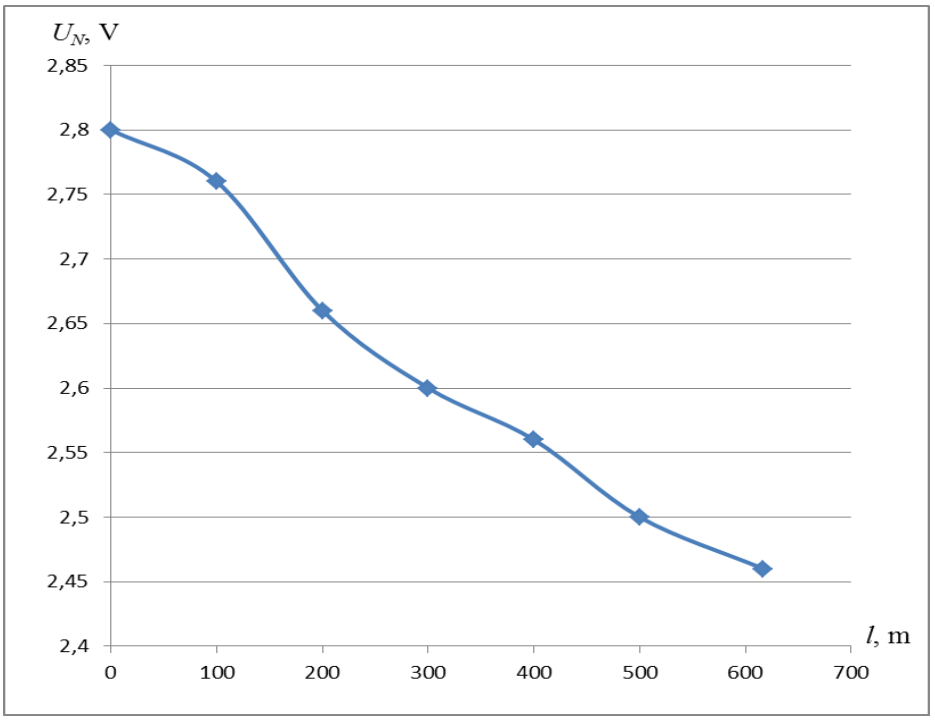
Pasirinktoji grandinė (23TP) yra 617 *m* ilgio. Matavimų dieną balastas buvo sausas, dieną buvo šilta. Buvo išmatuoti elektriniai bėgių linijos parametrai: maitinimo bėgių linijos galo įtampa ir srovė, ir relinio bėgių linijos galo įtampa ir srovė, bei rezistorių varžos abejuose galuose. Nuo šių parametrų priklauso bėgių grandinės funkcionavimas darbo režimuose- normaliajame, kontrolės bei šunto.

Normaliojo režimo bėgių linijos elektrinių parametrų tyrimo metu bėgių linija buvo suskirstyta į dalis po apytiksliai 100 *m*. Taškuose kas šimtą metrų buvo išmatuota įtampa. (2.1 lentelė)

2.1 lentelė. Normaliojo režimo elektrinių parametrų tyrimo rezultatai

	Maitinimo gale (0m)	100m	200m	300m	400m	500m	Reliniame gale (617m)
Bėgių grandinės įtampa normaliajame režime	2,8V	2,76V	2,66V	2,6V	2,56V	2,5V	2,46V

2.2 paveiksle pateikiamas įtampos pokyčio normaliajame režime grafikas. U_N - bėgių grandinės įtampa normaliajame režime.



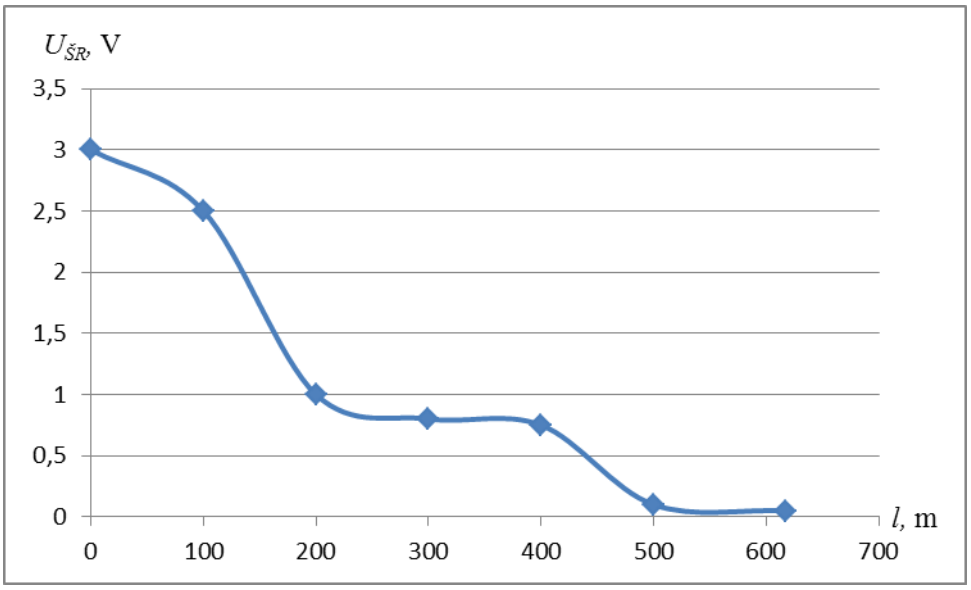
2.2 pav. Įtampos normaliuju režimu grafikas

Šunto režimo bėgių linijos elektrinių parametrų tyrimo metu bėgių linija buvo suskirstyta į dalis po apytiksliai 100 *m*. Taškuose kas šimtą metrų uždėjus norminę (0,06Ω) šunto gretšakę buvo matuojama kelio relės įtampa. Gauti duomenys pateikti 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė Kelio relės įtampos vertės šunto režimo metu

	Maitinimo gale (0m)	100m	200m	300m	400m	500m	Reliniame gale (617m)
Kelio relės įtampa šunto režime	3V	2,5V	1V	0,8V	0,75V	0,1V	0,05V

2.3 paveiksle pateikiamas kelio relės įtampos šunto režime grafikas. $U_{ŠR}$ – kelio relės apvijų įtampa šunto režime.



2.3 pav . Įtampos šunto režimu grafikas

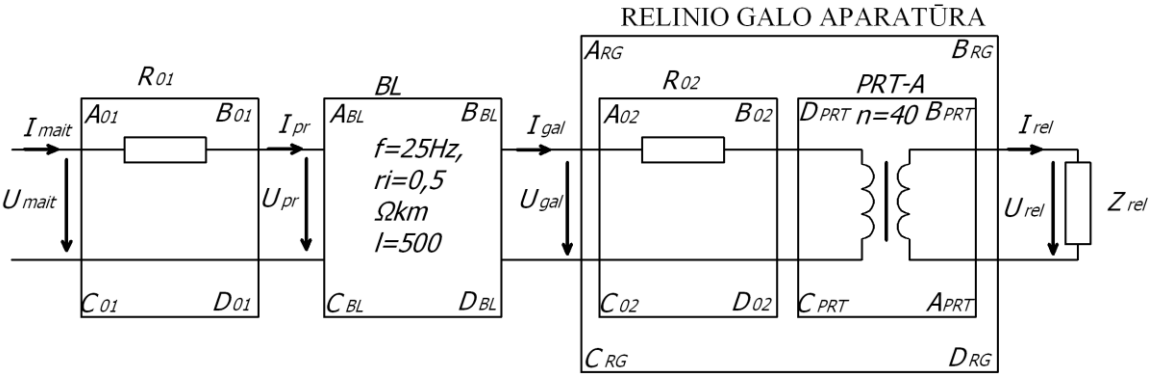
2.3 lentelėje pateikiami išmatuoti parametrai kurių pagalba apskaičiuojami keturpoliai, bei naudojantis ankščiau pateikaits duomenimis apskaičiuotas relės ir bėgių linijos relinio galo įtampų santykio koeficientas.

2.3 lentelė Elektriniai parametrai išmatuoti bėgių linijos aparatūroje.

Kelio relės įtampa normaliajame režime	15V
Srovė matinimo gale	0,75A
Srovė reliniame gale	0,7A
Rezistoriaus varža maitinimo gale	2,1Ω
Rezistoriaus varža reliniame gale	2Ω
Relės ir bėgių linijos relinio galo įtampų santykio koeficientas.	6,0976

2.3 Analitinis tyrimas

Šiame darbe tiriami nešakotosios 25 *Hz* bėgių linijos parametrai, siekiant išsiaiškinti, kaip inžineriniuose skaičiavimuose gauti rezultatai atitinka, realius išmatuotus bėgių linijos elektrinių parametrų duomenis.



2.4 pav. 25 *Hz* nešakotosios stoties bėgių grandinės normaliojo režimo tyrimo atstojamoji schema

Remiantis bėgių grandinių projektavimo žinynais [1], tokio tipo bėgių normaliojo režimo tyrimas atliekamas taip: įtampa maitinimo galo kelio transformatoriaus antriėje apvijoje randama naudojantis 2.4 pav. pateikta atstojamaja schema. Čia kiekvienas bėgių grandinės schemą sudarančios aparatūros elementas aprašomas keturpoliu. Nuosekliai prijungto rezistoriaus keturpolio koeficientai gaunami tokiu būdu:

$A_{01}=1,\ B_{01}=R_{01};\ C_{01}=0,\ D_{01}=1;$

$A_{02}=1,\ B_{02}=R_{02};\ C_{02}=0,\ D_{02}=1;$

Bėgių linijos BL keturpolio koeficientus žinynas nurodo imti iš pateiktos lentelės duomenų. Parenkant bėgių linijos keturpolių parametrus, žinyne suteikiama galimybė rinktis vieną iš izoliacijos varžos reikšmių ($0{,}5\Omega{\cdot}km$, $1\Omega{\cdot}km$ ir $50\Omega{\cdot}km$) ir vieną iš bėgių linijos ilgio reikšmių. Kadangi lentelėje nėra 617 *m* ilgio reikšmės, parenkama mažesnė reikšmė, klaidingo laisvumo pavojaus mažinimo principu. 500 metrų ilgio 25 *Hz* dažnio, $0{,}5\Omega{\cdot}km$ izoliacijos varžos bėgių linijos keturpolio parametrai yra šie:

$A_{BL}=D_{BL}=1{,}09e^{j\cdot5^\circ41'};\ B_{BL}=0{,}257e^{j\cdot54^\circ03'};\ C_{BL}=1{,}11e^{j\cdot1^\circ58'}.$

Kelio transformatoriaus reliniame gale PRT-A koeficientai irgi pateikiami žinyno lentelėje. Pagal transformatoriaus jungimo schemą ir žinyno duomenis nustatytas transformacijos koeficientas n=40,0. Tačiau šis transformatorius įtampą ne mažina, o didina, todėl, vadovaujantis žinyno nurodymais, atstojamojoje schemoje vietomis sukeičiami keturpolio koeficientai *A* ir *D*. Iš lentelės PRT-A koeficientai imami šie:

$A_{PRT}=0{,}026e^{j\cdot0^\circ};\ B_{PRT}=4{,}4e^{j\cdot26^\circ};\ C_{PRT}=0{,}0084e^{-j\cdot75^\circ};\ D_{PRT}=40e^{j\cdot0^\circ}.$

Kelio relės DSŠ-13, esant prijungtai 25 *Hz* dažnio kintamai srovei, suveikimo įtampa žinyne pateikiama tokia: $U_{SUV} = 15e^{j\cdot 72^\circ}\ V$, o apvija tekanti suveikimo srovė $I_{SUV} = 0{,}037\,A$.

$$\begin{bmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & D_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{01} & B_{01} \\ C_{01} & D_{01} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} A_{BL} & B_{BL} \\ C_{BL} & D_{BL} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} A_{02} & B_{02} \\ C_{02} & D_{02} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} D_{PRT} & B_{PRT} \\ C_{PRT} & A_{PRT} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & R_{01} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} 1{,}09e^{j\cdot 5^\circ 41'} & 0{,}257e^{j\cdot 54^\circ 03'} \\ 1{,}11e^{j\cdot 1^\circ 58'} & 1{,}09e^{j\cdot 5^\circ 41'} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} 1 & R_{02} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} 40e^{j\cdot 0^\circ} & 4{,}4e^{j\cdot 26^\circ} \\ 0{,}0084e^{-j\cdot 75^\circ} & 0{,}026e^{j\cdot 0^\circ} \end{bmatrix};$$

Tada maitinimo įtampai apskaičiuoti, gautus koeficientus reikia įstatyti į keturpolių lygtį:

$U_m = 15e^{j\cdot 72^\circ} \cdot A_0 + 0{,}037 \cdot B_0$ [V].

Projektavimo žinynuose pateikti elektrinių parametrų skaičiavimo būdai, yra skirti bėgių grandinių projektavimui, tačiau nėra tinkami pasirinktos bėgių grandinių elektrinių parametrų tarpusavio priklausomybės detaliam tyrimui. Nors žinynuose pateikiami duomenys yra tikslūs, tačiau jie pritaikyti labai konkretaus ilgio bėgių grandinėms ir įvertina tik labai ribotą kiekį izoliacijos varžos reikšmių. Todėl, norint atsižvelgt į visų galimų pokyčių įtaką bėgių linijos elektriniams parametrams, pasirenkamas kasikinis bėgių grandinių tyrimo metodas, leidžiantis daug tiksliau aprašyti bėgių linijos savybes ir parametrų kitimo ribas.

Analitiniams skaičiavimams atlikti buvo naudojamas programinis paketas Matlab.

Nešakotosios bėgių linijos tyrimui parinkta 617*m* ilgio bėgių linija. Linijos izoliacinė ekvivalentinė varža r_i=0,5 Ω·*km*, bėgio varža priklauso nuo dažnio, ji yra imama iš 1.1 lentelės

```
zblm=0.45; zbla=52;%omu/km begiu linijos varzos modulis ir argumentas
l= 0.617; %begiu linijos ilgis, km
ri=0.5; %omu*km BL izoliacijos vaza
```

Naudojantis Matlab paketu, aprašome keturpolio skaičiavimą. Skaičiavimams naudojamas 1.9 pav. pavaizduota atstojamoji schema.

Gauta bėgių linijos maitinimo varžos reikšmė neatitinka išmatuotųjų parametrų (vietoj išmatuotos bėgių linijos maitinimo galo įtampos U_p reikšmės 2,8*V* gauta reikšmė 2,88*V*). Taip yra dėl to, kad naudojama projektinė balasto varžos reikšmė r_i=0,5 Ω·*km* neatitinka realios bėgių linijos izoliacijos varžos matavimų metu.

```
us=2.46;  %BL relinio galo suveikimo itampa
Za=3.514; %BG relinio galo aparatūros varza
is=us/Za; %begiu linijos keturpolio isejimo srove

An=cosh(l*sk);
```

```
Dn=An;
Bn=zb*sinh(l*sk);
Cn=(sinh(l*sk))/zb;

Um=(An*us+Bn*is);%begiu linijos maitinimo itampa
Im=(Cn*us+Dn*is);%BL maitinimo srove
Umn(i)=abs(Um);
```

Siekiant ištirti tikslią bėgių linijos izoliacijos varžos reikšmę ir sudaryti tikslų bėgių linijos matematinį modelį, sudaroma maitinimo įtampos priklausomybė nuo balasto izoliacijos varžos.

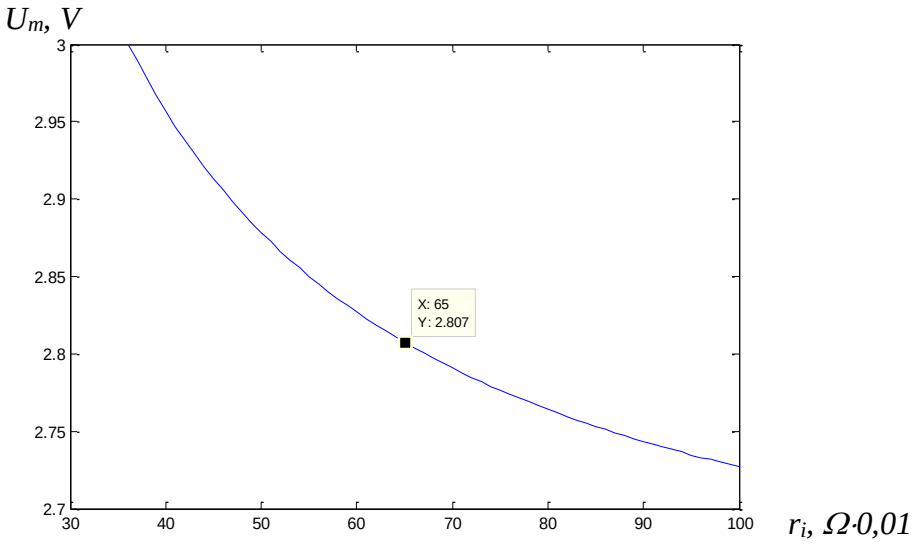
```
for i=(1:100)
    ri=0.01*i;

zb=sqrt(Zbl*ri);%bangine varza
sk=sqrt(Zbl/ri);%sklidimo koeficientas

An=cosh(l*sk);
Dn=An;
Bn=zb*sinh(l*sk);
Cn=(sinh(l*sk))/zb;

Um=(An*us+Bn*is);%begiu linijos pradzios itampa
Im=(Cn*us+Dn*is);%BL pradzios srove
Umn(i)=abs(Um);
end
plot(Umn);
```

Iš jos nustatyta, kad matematiškai aprašyta bėgių linijos parametrų formulė atitinka tiriamą bėgių liniją esant r_i=0,65 $\Omega \cdot km$ izoliacijos varžai. Vėliau ši reikšmė ir bus laikoma tiriamosios bėgių linijos izoliacijos varža.

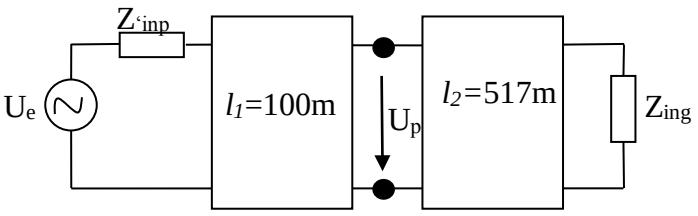


2.5 pav. Maitinimo įtampos priklausomybė nuo balasto izoliacijos varžos.

Atlikus analitinius skaičiavimus, bėgių grandinės maitinimo galo reikšmė 2,8V gaunama laikant r_i=0,65 Ω·*km*.

Sudarius bėgių linijos matematinį modelį normaliajame režime, pirmuoju bandymu buvo tirta, kaip priklauso įtampa nuo matavimo vietos (matuojant kas 100 metrų, tolstant nuo linijos galo).

Grafike lyginama nešakotosios bėgių linijos įtampos kritimai matuojant eksperimentiškai, bei analitiniais metodais matlab aplinkoje. Matuojant eksperimentiškai buvo imami taškai: maitinimo gale (0*m*), 100 *m*, 200 *m*, 300 *m*, 400 *m*, 500 *m*, reliniame gale (617 *m*). Matlab aplinkoje keičiant linijos ilgį pateiktą pradiniuose duomenyse, buvo apskaičiuotos įtampos tuose pačiuose taškuose.



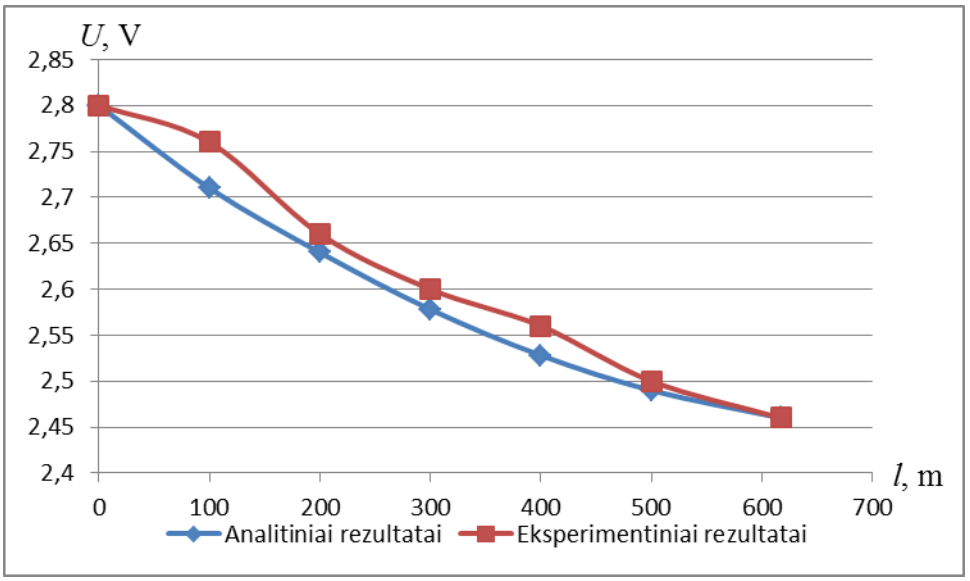
2.6 pav. Bėgių linijos skaidymas dalimis, naudojant analitinį skaičiavimą.

Kitos įtampų vertės buvo apskaičiuojamos keičiant l_1 ir l_2 ilgius. 2.4 lentelėje pateikiama eksperimentiškai bei analitiškai rastų normaliojo režimo įtampų verčių lentelė.

2.4 lentelė. Eksperimentiškai bei analitiškai rastos normaliojo režimo įtampų vertės

Atstumas nuo maitinimo galo, m	Eksperimentiniai rezultatai, V	Analitiniai rezultatai, V	Skirtumas,V	Skirtumas %
0	2,8	2,8	0	0
100	2,76	2,71	0,05	1,812
200	2,66	2,64	0,02	0,752
300	2,6	2,578	0,022	0,846
400	2,56	2,528	0,032	1,250
500	2,5	2,49	0,01	0,400
617	2,46	2,46	0	0,000
			Vidurkis:	0,723%

2.7 paveiksle pateikiamas analitinių ir eksperimentinių rezultatų normaliajame režime grafinis palyginimas.



2.7 pav. Analitinių ir ekperimentiniu rezultatų normaliajame režime grafikai

$$\delta = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{x-A}{x}\cdot 100\% = \frac{1}{7}\left(\frac{2,8-2,8}{2,8}+\frac{2,76-2,71}{2,76}+\frac{2,66-2,64}{2,66}+\frac{2,6-2,578}{2,6}+\frac{2,56-2,528}{2,56}+\frac{2,5-2,49}{2,5}+\right.$$
$$\left.+\frac{2,46-2,46}{2,46}\right)\cdot 100\% = 0,723\%$$

Sudarius bėgių linijos matematinį modelį šunto režime, antruoju bandymu buvo tirta, kaip kinta įtampa priklausomai nuo vietos vietos, kurioje yra naudojama šunto gretšakė (šuntuojant kas 100 metrų, tolstant nuo linijos galo).

Grafike lyginama nešakotosios bėgių linijos įtampos kritimai matuojant eksperimentiškai, bei analitiniais metodais matlab aplinkoje. Matuojant eksperimentiškai buvo imami taškai: maitinimo gale (0*m*), 100 *m*, 200 *m*, 300 *m*, 400 *m*, 500 *m*, reliniame gale (617 *m*). Matlab aplinkoje buvo apskaičiuotos įtampos tuose pačiuose taškuose.

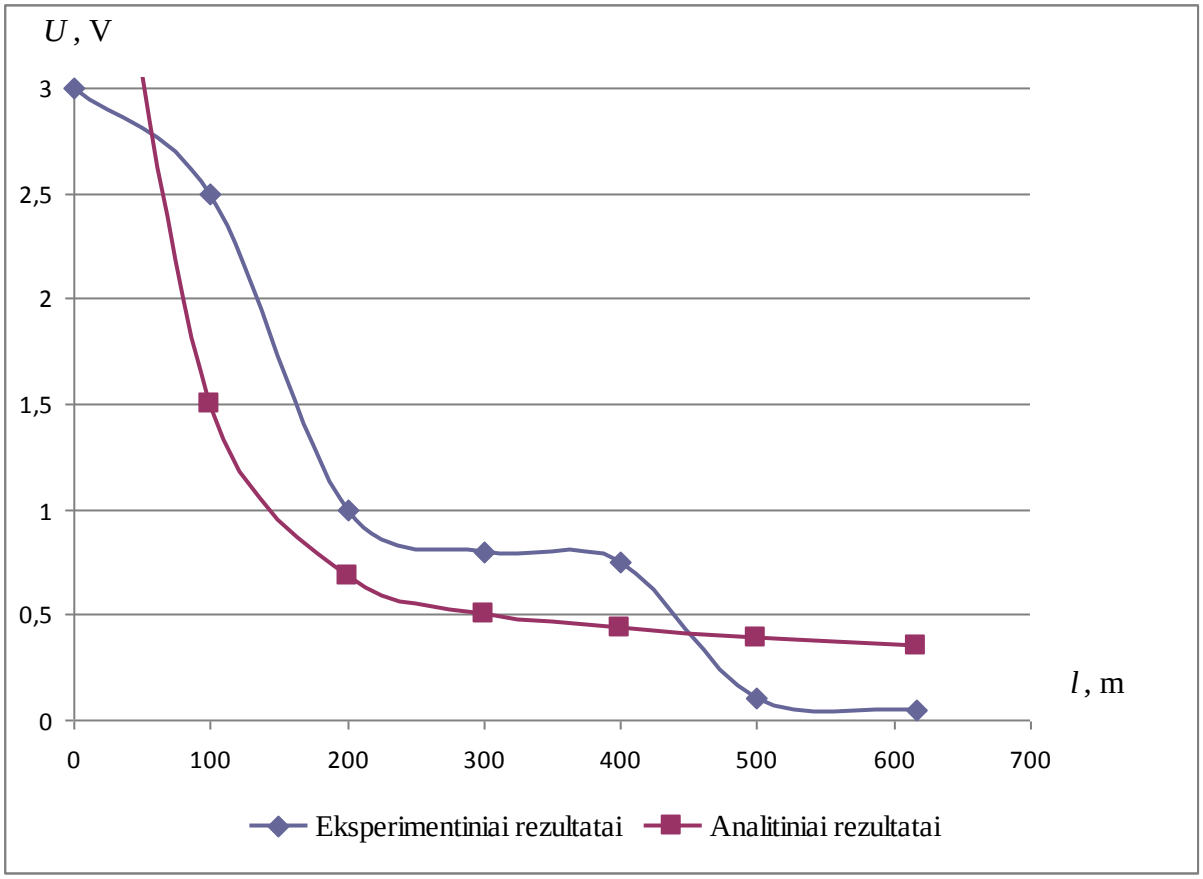
```
for i=1:617
x=l-l*i/617;
As=1+((Zbl*(l-x))/Rs);
Bs=Zbl*l+((Zbl*Zbl*(l-x)*x)/Rs);
Cs=1/Rs;
Ds=1+(Zbl*x/Rs);
Uas=Um/(As+(Bs/Za));
Uss(i)=abs(Uas);
End
```

2.5 lentelėje pateikiama eksperimentiškai bei analitiškai rastos kelio relės itampų vertės šunto režime.

2.5 lentelė. Eksperimentiškai bei analitiškai rastos kelio relės itampų vertės šunto režime.

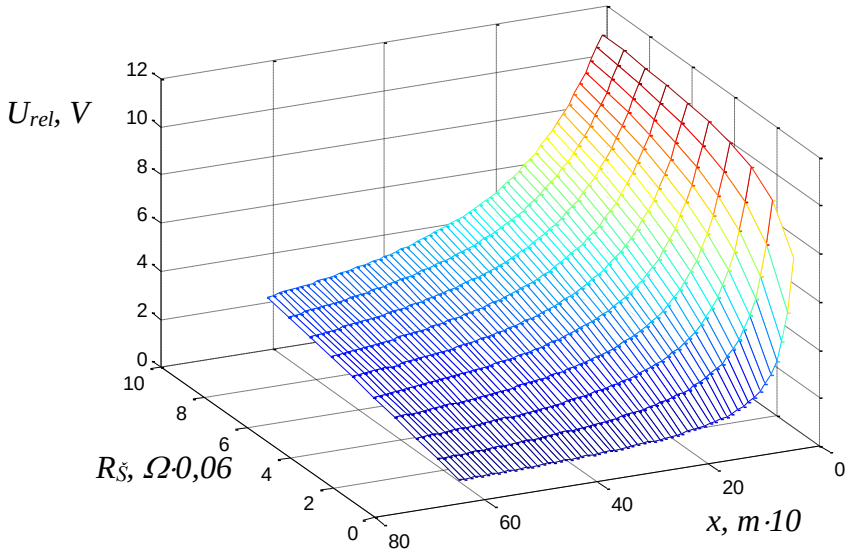
Atstumas nuo maitinimo galo	Eksperimentiniai rezultatai	Analitiniai rezultatai
0m	3V	∞ V
100m	2,5V	1,3V
200m	1V	0,78V
300m	0,8V	0,5 V
400m	0,75V	0,45V
500m	0,1V	0,4 V
617m	0,05V	0,35V

2.8 paveiksle pateikiamas analitinių ir eksperimentinių rezultatų grafinis palyginimas.



2.8 pav. Analitinių ir ekperimentiniu rezultatų grafikai šunto režime

Iš 2.8 pav. matosi, kad analitiniu būdu gauta relės apvijos įtampos kitimo priklausomybė nuo šuntavimo vietos tolydžiai mažėja, tuo tarpu išmatuotuose rezultatuose pastebimas netolygus kitimas – „bangavimas“. Toks eksperimentinės kreivės pobūdis gali būti dėl bėgių linijos elektrinių parametrų išsidėstymo netolygumo: tam tikruose linijos taškuose stipriai pakitusi izoliacijos varža, bėgių varža. Tačiau bendrai, stebint abiem būdais gautų rezultatų kitimo pobūdį, įžvelgiami įtampos kitimo panašumai. Literatūroje aprašytu būdu analitiškai tiriant relės apvijos įtampos kitimo priklausomybę nuo šuntavimo vietos, šuntuojant netoli maitinimo galo gaunamos per didelės, realios bėgių linijos parametrų neatitinkančios reikšmės.



2.9 pav. Kelio relės įtampos U_a priklausomybė, nuo šuntavimo vietos, esant skirtingoms šunto varžos reikšmėms.

Grafike matoma, kaip priklauso kelio relės įtampa U_a, priklausomai nuo šuntavimo vietos x (atstumui nuo bėgių linijos galo), esant skirtingoms šunto varžos $R_Š$ reikšmėms (nuo 0,06 iki 0,6 Ω).

```
%Ua(x sunto vietos)
for j=1:10
    Rs=j*0.06
for i=1:61
x=l-l*i/61;
As=1+((Zbl*(l-x))/Rs);
Bs=Zbl*l+((Zbl*Zbl*(l-x)*x)/Rs);
Cs=1/Rs;
Ds=1+(Zbl*x/Rs);
Uas=Um/(As+(Bs/Za));
Uss(i,j)=abs(Uas);
End
```

Išvados

1. Ištyrus 25 *Hz* nešakotąją bėgių liniją (Palemono geležinkelio stotyje, bėgių grandinėje 23TP), kurios ilgis 617*m*, nustatyta, kad analitinių rezultatų vertės normaliajame režime yra artimos eksperimentinėms vertėms – rezultatai vidutiniškai skiriasi 0,723%.
2. Projektavimo žinynuose pateikti elektrinių parametrų skaičiavimo būdai, nėra tinkami tiksliam pasirinkto ilgio bėgių linijų elektrinių parametrų tyrimui. Jie tinkami tik labai konkretaus ilgio bėgių grandinėms aprašyti, esant projektavimui užduotoms izoliacijos varžos reikšmėms, kas dažnai neatitinka realios situacijos eksploatavimo metu.
3. Projektavimo metu įvertinama balasto varžos reikšmė r_i=0,5 $\Omega \cdot km$ neatitinka realiai tirtos bėgių linijos izoliacijos varžos, eksperimentinių matavimų metu. Pasinaudojant matematiniu bėgių linijos parametrų tyrimo modeliu nustatyta, kad tiriamos bėgių linijos izoliacijos varža yra lygi r_i=0,65 $\Omega \cdot km$.
4. 25 *Hz* neškotoji 23TP grandinės bėgių linija (Palemono gel. stotyje), kurios ilgis 617*m* buvo ištirta šunto režime. Analitiniu būdu gauta relės apvijos įtampos kitimo priklausomybė nuo šuntavimo vietos ir išmatuotuose rezultatuose turi panašų kitimo pobūdį, tačiau yra nevienodos. Eksperimentinės kreivės bangavimas atsirado dėl bėgių linijos elektrinių parametrų išsidėstymo netolygumo.
5. Literatūroje aprašytu šunto režimo analizės būdu ištyrus relės apvijos įtampos kitimo priklausomybę nuo šuntavimo vietos, pastebėta, kad šuntuojant netoli maitinimo galo gaunamos per didelės, realios bėgių linijos parametrų neatitinkančios reikšmės.
6. Atlikus tyrimą nustatyta, kad normaliojo režimo elektrinių parametrų skaičiavimo metodas, kai bėgių linija aprašoma keturpoliu su normaliojo režimo pasiskirsčiusiųjų parametrų koeficientais, suteikia tikslesnius rezultatus, nei šunto režimo tyrimo metodas, kai koeficientais įvertinami tik bėgio ir šunto varžiniai parametrai, naudojama šunto režimo tyrime.

Literatūros sarašas

1. Аркатов В.С., Баженов А.И., Котляренко Н.Ф. Рельсовые цепи магистральных железных доро. Справочник, -2-ое издание, - М: Транспорт, 1992г.
2. Брылеев А.М., Кравцов Ю.А., Шишляков А.В. Теория, устройство и работа рельсовых цепей. – М: Транспорт, 1978г.
3. Аркатов В.С., Кравцов Ю.А., Степенский Б.М. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М: Транспорт, 1990г.
4. V. Gargasas, O.Švėgžda. Geležinkelio stočių automatikos sistemos.– Kaunas, Technologija, 2009.
5. Сапожников Вл. В. Проектирование рельсовых цепей и анализ режимов работы с ислолькованием ЭВМ. Ленинград, 1989.
6. O. Švėgžda, V. Bagdonas. Geležinkelio automatikos schemos.– Kaunas, Technologija, 2001.
7. А.С. Переборов, Ю.А. Кравцов, И. М. Кокурин и др. Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте. М. : Транспорт, 1985г.
8. Вахин М. И., Ильевиков А. М. Путевая Блокировка и автоматика. М., Транспорт, 1974г.