

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Aurimas Stanius

JONINIO VĖJO STENDO SUKŪRIMAS IR TYRIMAS

magistro projektas

Vadovas

Doc. Renaldas Urniežius

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

AUTOMATIKOS KATEDRA

JONINIO VĖJO STENDO SUKŪRIMAS IR TYRIMAS

magistro projektas

Valdymo technologijos (621H66001)

Vadovas

Doc. Renaldas Urniežius

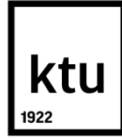
Recenzentas

Doc. T. Tekorius

Projektą atliko

Aurimas Stanius

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos

(Fakultetas)

Aurimas Stanius

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Joninio vėjo stendo sukūrimas ir tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. gegužės 25 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Aurimo Staniaus** baigiamasis projektas tema „**Joninio vėjo stendo kūrimas ir 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)

Stanius Aurimas. Joninio vėjo stendo sukūrimas ir tyrimas. Valdymo sistemų magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Renaldas Urniežius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos.. fakultetas, Automatikos katedra.

Kaunas, 2016. 57 psl.

SANTRAUKA

Šio magistrinio baigiamajame darbe siekiama sukurti joninio vėjo elektrodų sistemos prototipą, jo tyrimui skirtą stendą ir jį ištirti eksperimentiškai. Darbą sudaro šie etapai: 1) Esamos literatūros analizė; 2) Metodinės dalies sudarymas; 3) Eksperimentinės dalies atlikimas; 4) Išvados.

Pirmajame skyriuje trumpai apžvelgiama esama literatūra panašia tematika. Pateikiamos bendros, joninio vėjo elektrodų sistemos, charakteristikos. Atliekamas joninio vėjo elektrodų sistemos sukūrimas.

Antrojoje dalyje pateikiami metodiniai nurodymai. Supažindinama su naudojama įranga. Atliekamas jėgos, srovės bei įtampos matavimų principų parinkimas. Pateikiama turimų aukštos įtampos maitinimo šaltinių analizė bei parinkimas. Taipogi pateikiamos iškilusios problemos, bei jų sprendimai, darbo eigoje. Sudaroma darbo eiga, eksperimento metu.

Trečiojoje, tiriamojoje dalyje, pateikiami atliktų eksperimentų rezultatai. Sudaroma voltamperinės sistemos charakteristikos skirtingoms elektrodų konfigūracijoms. Pateikiami grafikai, kuriuose atsispindi srovės priklausomybė nuo elektrodų atstumo bei diametro ir generuojamos jėgos priklausomybė nuo atstumo tarp elektrodų ir jų diametrų, laiko atžvilgiu. Pateikiamas grafikas, kuriame atsispindi sistemos būsena aukštos įtampos išlydžio metu.

Ketvirtojoje dalyje apžvelgiamas visas atlikta darbas ir pateikiamos išvados.

Reikšminiai žodžiai :

Joninis vėjas, koronos išlydis, stendas, jėga

Stanislas Aurimas Development and Investigation of Ion Wind Stand. Final project of control system master degree / supervisor doc. Renaldas Urniežius; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of automatic

Kaunas, 2016. 57 psl.

SUMMARY

This master thesis is aimed at creating an ionic wind electrode system prototype for its investigation stand and to investigate experimentally. The work consists of the following steps: 1) Literature analysis; 2) Methodological part of creation; 3) The experimental part of the performance; 4) Conclusions.

The first section provides a brief overview of the existing literature with a similar theme. Provides general, ion wind electrode systems and characteristics . Performed creation of ionic wind electrode system

The second part provides methodology . Introducing the used equipment. Perform force, current and voltage measurement selection and principles. Explanation high-voltage power supply analysis and selection. Also presented encountered problems and their solutions at workflow.

Third, in the experimental part. Awarded the voltage-current characteristics of the different electrode configurations. Present graphs, showing current as a function of electrode distance and diameter. Generated force depending on the distance between electrodes and their diameters . The graphs which reflects the status of the high-voltage discharge time in system.

The fourth part gives an overview of all the work done and the conclusions.

Keywords:

Ionic wind, corona discharge, stand, force

TURINYS

ĮVADAS.....	7
1. APŽVALGINĖ DALIS.....	9
1.1. Joninio vėjo atsiradimo priežastys	9
1.2. Eksperimentinė joninio vėjo analizė	10
1.3. Jonizacijos zona.	11
1.4. Jonizacijos susidarymo įtampa.	12
1.5. Elektromagnetinis priešslėgis sistemoje.	14
1.6. Keletos adatų sistema.....	15
1.7. Laido-plokštumos elektrodų sistema.	15
1.8. Oro sudėties poveikis sistemos darbui.	17
1.9. Drėgmės įtaka sistemos efektyvumui.	17
1.10. Oro srauto tėkmė, joninio vėjo lauko skerspjūvyje	18
1.11. Laido apkrova joninio srauto metu	20
1.12. Ozono generavimas.....	20
1.13. Joninio vėjo susidarymo priklausomybė nuo oro tankio	21
1.14. Fizikinė švytuoklė	21
1.15. Literatūros analizės išvados	22
2. METODINĖ DALIS	23
2.1. Išvystomos jėgos skaičiavimas	23
2.1.2. Švytuoklės kuriamos jėgos skaičiavimai iš momentų lygties	23
2.1.3. Švytuoklės kuriamos jėgos skaičiavimai iš kinetinės energijos tvermės dėsnio	24
2.2. Švytuoklės atsilenkimo kampo nuskaitymas	24
2.3. Aukštos įtampos matavimas	25
2.4. Srovės matavimas	25
2.5. Impulsų pločio moduliacijos šaltinis	26
2.6. Aukštos įtampos keitiklių parinkimas.....	26
2.6.1. Aukštos įtampos keitiklis Nr.1	26
2.6.2. Aukštos įtampos keitiklis Nr.2	27
2.6.3. Aukštos įtampos impulsų generatorius Nr.3.....	28
2.6.4. Aukštos įtampos impulsų generatorius Nr.4.....	29
2.6.5. Valdymo elementas IGBT	29
2.6.6. Aukštos įtampos ritė	30
2.6.7. Aukštos įtampos impulsų generatorius Nr.5.....	31
2.7. Mikrovaldiklio programa	32
2.8. Darbo eigoje iškilusios problemos.....	32
2.8.1. Nuostoliai stende	32
2.8.2. Aukštos įtampos trikdžiai osciloskope	34
2.8.3. Neigiamo potencialo dedamoji aukštos įtampos impulse.....	34
2.8.4. Trikdžiai, aukštos įtampos matavimo grandinėje	36
2.9. Darbo eiga, eksperimento metu	36

3.	JONINIO VĖJO ELEKTRODŲ SISTEMOS TYRIMAS	37
3.1.	Sistemoje vykstančio vienpolio išlydžio skaičiuojamasis patvirtinimas	37
3.2.	Srovės ir įtampos priklausomybė nuo laiko įjungimo metu	38
3.3.	Pereinamojo proceso voltamperinė charakteristika	39
3.4.	Srovės priklausomybė nuo elektrodų parametrų laiko atžvilgiu.....	41
3.5.	Generuojama mechaninė jėga	43
3.6.	Sistemos būseną pramušimo metu	44
4.	ŠVADOS IR REZULTATAI	45
5.	LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	46
6.	PRIEDAI	49

IVADAS

Joninio vėjo stendo sukūrimas ir tyrimas

Pasaulyje vis aktualesnė ekologiškumo ir energijos sąnaudų tema. Tad turime ieškoti naujų energijos panaudojimo galimybių, kurios būtų efektyvesnės už esamas ir leistų taupyti išteklius, neužmirštant ekologiškumo.

Joninis vėjas, kol kas iki galo neištirtas. Nesukurta elektrodų modifikacijų, kuriomis būtų pasiektas aukštas naudingumo bei galios koeficientas. Tai ir yra pagrindinė problema. Šis efektas pasižymi sukuriamu oro srautu, sistemoje, kurioje nenaudojamos mechaninės judančios dalys. Todėl ją galima pritaikyti aušinimo/vėdinimo sistemose. Duju siurblių sistemose. Ar šilumos mainų spartinimo sistemose. Taipogi vis plačiau pradedami naudoti joniniai varikliai kosmoso pramonėje. Būtent dėl plačių panaudojimo ir pritaikymo galimybių pasirinkta nagrinėti joninio vėjo tematika.

► Darbo tikslas - šiame darbe siekiama sukurti joninio vėjo elektrodų sistemos prototipą, jo tyrimui skirtą stendą ir jį iširti eksperimentiškai.

Darbo uždaviniai:

- a) Elektromechaninės sistemos, prototipo, sukūrimas joninio oro srauto kuriamos jėgos matavimui.
- b) Joninio vėjo elektrodų sistemos sukūrimas.
- c) Programinės įrangos sudarymas, stendo duomenų surinkimui ir valdančiojo poveikio realizacijai.
- d) Sistemos pereinamojo proceso tyrimas.
- e) Generuojamo oro srauto jėgos tenkančios vienam maitinimo galios vienetui nustatymas.

Norint išpildyti šio darbo tikslą - sukurti joninio vėjo generatoriaus prototipą ir jį iširti eksperimentiškai, atlikta išsami joninio vėjo susidarymo literatūros analizė, ko pasėkoje buvo nuspręsta naudoti elektrodų kombinaciją, kuri turėtų išvystyti didžiausią efektyvumą. Tai dviejų elektrodų sistema, kurią sudaro, teigiamo polio vielos anodas ir neigiamas/ižemintas plokštelės tipo katodas. Šių elektrodų pagalba elektromagnetinis laukas pasiskirsto tolygia kryptimi, bei oro srautas teka išilgai plokštumos tad gaunami mažiausi aerodinaminiai nuostoliai.

Elektrodų kuriamo joninio vėjo generuojamai mechaninei jėgai matuoti pasirinkta svyruoklės tipo sistema. Nes žinant svyruoklės masę ir atsilenkimo kampą, galima apskaičiuoti energijos galią reikalinga svyruoklei išvesti iš pusiausviros.

Valdiklio programavimui pasirinktas Keil uVision4 programinis paketas, kuris pritaikytas STM mikrovaldiklio specifikos programavimui. O duomenims apdoroti kompiuteryje pasitelkiamas Visual Studio 2010 programinis paketas. Pradiniai tiriamieji matavimai atliekami osciloskopo bei multimetrom pagalba.

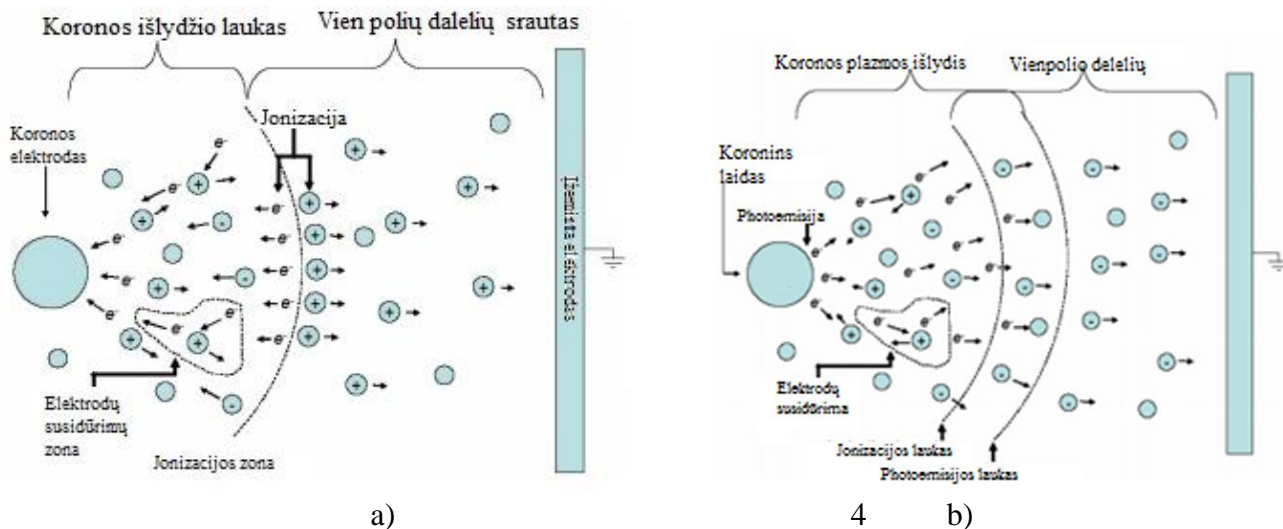
Apžvalgai atlikti parinkta elektroninių šaltinių analizė, kadangi spausdintinės literatūros, KTU bibliotekose, šia tema gana mažai. O elektroniniai ištekliai leidžia išnagrinėti esamus šaltinius tarptautiniu mastu, bei gauti naujausią literatūrą. Pagrindiniais literatūros šaltiniais buvo pasirinkta „IEEE Xplore“ ir „Scencedirect“ duomenų bazės.

Panašia tematika jau dirbo doc. dr. Stasys ŽEBRAUSKAS, todėl yra galimybė pasikonsultuoti ir panaudoti jau žinomus faktus apie joninį vėją ir jo susidarymą, o aukštos įtampos klausimais buvo galima pasikonsultuoti su lekt. Gyčiu Petrausku.

1. APŽVALGINĖ DALIS

1.1. Joninio vėjo atsiradimo priežastys

Išnagrinėjus joninio/koronos vėjo atsiradimo priežastis [1] šaltinyje galime padaryti išvadas:



1.1 pav. Joninio vėjo susidarymo principas, kairėje teigiamu koronos laidu, dešinėje neigiamu.

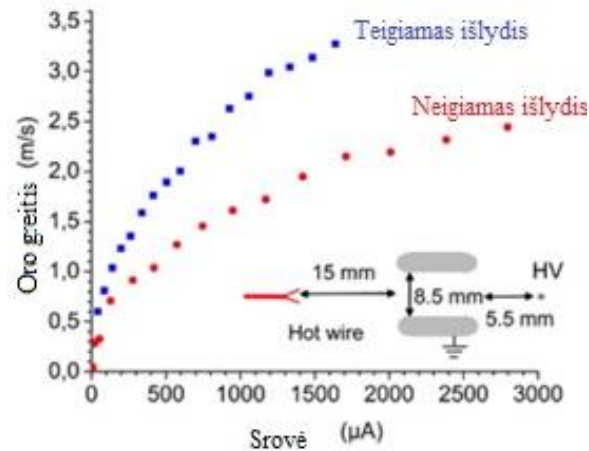
(Sudaryta pagal-[1])

Esant stipriam elektriniam laukui šalia koronos laido vyksta dalelių jonizacija. Joninės dalelės įgreitinamos ir skriejant link kito elektrodo neišvengiamai susiduria su kitomis erdvėje esančiomis dalelėmis. Susidūrimo metu sukuriama papildomų elektronų bei katijonų ir palaipsniui sukuriama elektronų lavina.

Teigiamos koronos metu (žr. 1.1pav. a)), iš teigiamo koronuojančio elektrodo, esant kritiniam elektros lauko stipriui elektronai išplėšiami iš laido metalo, bei jonizacijos lauko ribose neelastingai susiduria su neutronais ir molekulėmis. Dėl šios priežasties išlaisvinami antriniai elektronai. Šis procesas sukuria teigiamus jonus ir laisvus elektronus. Elektronai skriedami link anodo, atsitrenkia į kitas molekules, taip išlaisvindami kitus elektronus ir jonizuodami daleles. To pasėkoje gaunama lavina elektronų bei jonizuotų dalelių. Ištirta, jog sausame ore pagrindiniai krūvininkai yra O_2 ir N_2 .

Neigiamos koronos metu (žr. 1.1pav. b)), taip pat kaip ir teigiamos koronos metu, jonizacija vyksta prie koronuojančio laido. Tačiau ne kaip anksčiau minėtu variantu, elektronai susidaro fotoemisijos metu, o ne išplėšiami iš metalinio koronos laido. fotoemisijos metu vienam elektronui reikalinga apie 12.06eV O_2 bei 15.6 eV N_2 energijos, kai tuo tarpu teigiamos koronos metu išplėšti elektroną iš metalinio laido reikia nuo 4- 5 eV energijos kiekio. Tad sukurti tam pačiam elektronų kiekiui reikalinga 2-3kartus daugiau energijos. Sukuriamo vėjo greičio grafiką esant toms pačioms sąlygoms tik skirtingas joninio vėjo atvejais

gali matyti 1.2 pav. Taipogi neigiamos koronos metu rekombinacija bei elektronų absorbavimas kur kas didesnis nei teigiamo įelektravimo metu.



1.2 pav. Teigiamo ir neigiamo koronos vėjo kuriamo oro srauto palyginimas. (Sudaryta pagal- [2])

Žvelgiant į 1.3 pav. matoma tokios pat, kaip ir nagrinėjamosios, elektrodų sistemos išlydžio nuotraukos esant teigiamam ir neigiamam išlydžiams. Kaip matoma 1.3b. pav. paveiksle, esant neigiamam koronuojančiam laidui, elektronai išskiriami fotoemisijos būdu, bei tik iš pavienių šaltinių, kurių daugėja didėjant įtampai bei elektrodo paviršiaus šiurkštumą. Kuo laidas turi daugiau mikroįtrukimų/įskilimų, tuo šaltinių daugiau. [2] Suteikus teigiamą potencialą koronuojančiam laidui 1.3a. pav., elektrodų išsiskyrimas pasiskirsto tolygiai laido ašimi.



1.3 pav. Teigiamo (a) ir neigiamo (b) koronos išlydžio, tarp aukštos įtampos elektrodų vaizdas.

(Sudaryta pagal- [3]).

1.2. Eksperimentinė joninio vėjo analizė

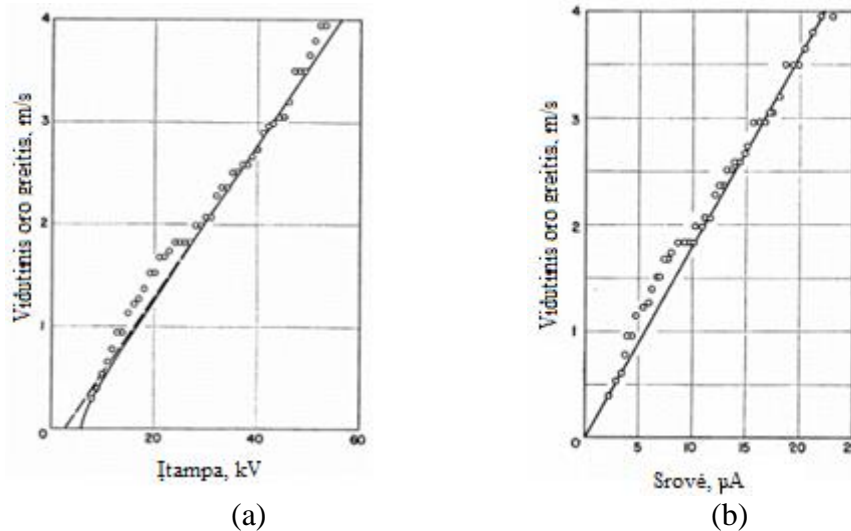
Eksperimentinė joninio vėjo analizėje [3] šaltinyje. Naudojama adata - plokštės sistema (žr. 1.5pav.), pasitelkus lazerio sukeltą fosforenciją. Ši spinduliuotė buvo naudojama kaip molekulių žymėjimas joniniame vėjuje.

Fosforescencijos emisijos gyvavimo trukmė nuo efekto pradžios bandomuoju metu buvo daug ilgesnė nei floroscencijos emisija. Kadangi šis metodas taikomas privilegijuotam matavimui didelės spartos srityje, greičio matavimas buvo orientuota į joninio vėjo greitį. Joninių savybių vėjo greitis buvo analizuojamas kaip susidarančio vėjo greičio funkcija nuo srovės iškrovos elektrode. Taipogi [4] šaltinyje

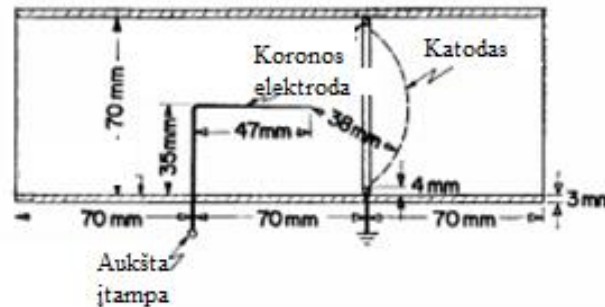
pateikiama eksperimentinis požiūris į joninio vėjo matavimo su lazerinio intuityvumo fosforescencijos reiškiniu ir joninio vėjo savybes priklausančias nuo keletos elektrinių sąlygų. Gauti eksperimentų rezultatai pateikiami 1.4 pav. Sudaryta vėjo greičio priklausomybė nuo srovės ir įtampos.

Kaip matyti grafikuose (žr.1.4pav.), vėjo greitis tiesiogiai priklausomas nuo įtampos ir srovės. Kylant vienam ar kitam, generuojamas vėjo greitis taipogi didėja.

Tačiau šiuo atveju, tirta tik viena elektrodų sistema (žr. 1.5pav.). Kuri sudaryta iš adatos ir tinklelio, viską patalpinu stikliniame vamzdyje. Tyrimo metu nekeičiant pačių elektrodų parametrų. Tad nėra aišku ar šitokia, vėjo greičio, priklausomybė taikytina ir kitoms elektrodų sistemoms.



1.4 pav. Vėjo greičio priklausomybė nuo įtampos a) ir srovės b). (Sudaryta pagal- [4])



1.5 pav. Nagrinėjama koronos vėjo elektrodų sistema (Sudaryta pagal- [4])

1.3. Jonizacijos zona.

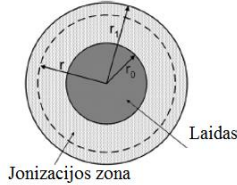
Remiantis [5] šaltiniu, kuriame teigiama, jog jonizacijos zona, sistemoje laidas-plokštuma, yra lygi $r_1 = 2r_0$, t.y. jonizacijos zonos spindulys lygu dvigubam laido spinduliui (žr. 1.6 pav.)

Iš šio šaltinio nagrinėjamų problemų išvedama lygtis, kuri nusako jonų koncentraciją jonizacijos lauke:

$$\lambda = \int_{r_0}^{r_1} 2\pi r \rho(r) dr \approx \frac{2\pi\epsilon_0 V}{\ln\left(\frac{2d}{r_0}\right)} \quad (1.1)$$

Čia r_1 ir r_0 – jonizacijos ir laido spinduliai, V - įtampa, ϵ_0 - laisvos erdvės skvarba, $\rho(r)$ - Poisson‘s lygtis laukui. Jonizacijos koncentracija pradiniu momentu $\lambda_c = \lambda(V_c)$.

$$\rho(r) = \frac{E\epsilon_0}{r} = \frac{V\epsilon_0}{r_0 r \ln\left(\frac{2d}{r_0}\right)} \quad (1.2)$$

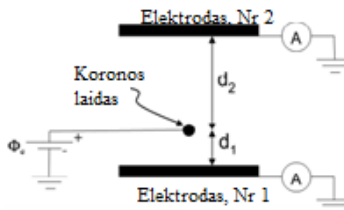


1.6 pav. Jonizacijos zonos schema, laido atveju. (Sudaryta pagal- [5]).

1.4. Jonizacijos susidarymo įtampa.

Pagrindinė [6] šaltinio idėja yra ta, jog reikia pasiekti kuo mažesnę joninio vėjo susidarymo įtampą. Pasinaudojant kelių elektrodų sistema, gauti pastovų joninį vėją. Taip siekiant padidinti šio efekto efektyvumą.

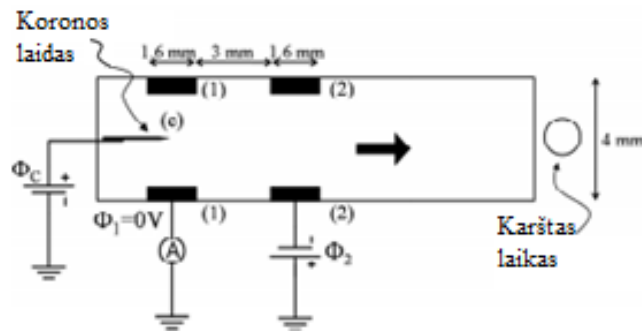
Išnagrinėjus [6] šaltinį, aišku, jog efektyvumas padidėja, kai arčiau esantis elektrodas iššaukia daugiau elektronų (žr. 1.6 pav.). Dalis jų nukeliauja link toliau esančio elektrodo. Ko pasėkoje padidėja srovė. Ją, lyginant su dviem atskiromis sistemomis, po 2 elektrodus (laidu ir plokštele), yra didesnė. Tad padidėja sistemos galia ir efektyvumas. Šiuo atveju rekomenduojama naudoti keletos įžemintų elektrodų sistemą, kurie išdėstyti aplink teigiamai įelektrintą elektrodą. Lentelėje Nr. 1.1 matoma, jog antrajam (tolimesniam elektrodui) tenka tik 30% visos srovės.



1.6 pav. Šaltinyje tiriamo koronos vėjo variklio schema. (Sudaryta pagal- [6])

1.1 lentelė. Bandyto rezultatai esant skirtingoms elektrodų įtampoms (Sudaryta pagal- [6])

Φ_c (V)	$I_{c,2-elec}$ (μA)	$I_{c,3-elec}$ (μA)	ΔI_c (μA)	$\Delta I_c / I_{c,2-elec}$ (%)	$I_{2,3-elec}$ (μA)	$I_{2,3-elec} / \Delta I_c$ (%)
3200	24.60	44.80	20.20	82.1	5.57	27.6
3400	42.40	69.96	27.56	65.0	8.13	29.5
3600	62.50	98.98	36.48	58.4	11.00	30.2
3800	84.00	131.80	47.80	56.9	14.18	29.7
4000	109.00	164.58	58.58	53.7	17.67	30.2



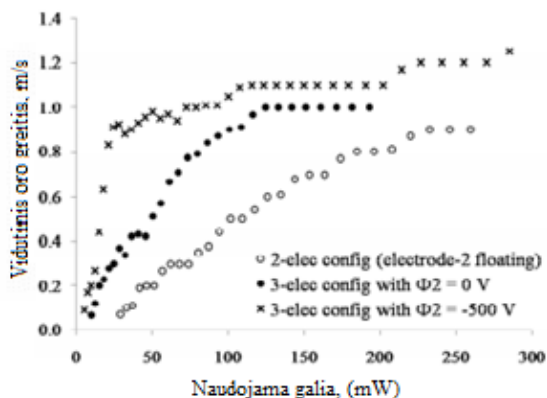
1.7 pav. Joninio vėjo elektrodų principinė schema Nr.2 (Sudaryta pagal- [6])

1.2 lentelė. 2 principinės schemos bandymų rezultatai (Sudaryta pagal- [6])

(a) $\Phi_1 = 0 \text{ V}$ and $\Phi_2 = 0 \text{ V}$						
Φ_c (V)	$I_{c,2\text{-elec}}$ (μA)	$I_{c,3\text{-elec}}$ (μA)	ΔI_c (μA)	$\Delta I_c / I_{c,2\text{-elec}}$ (%)	$I_{2,3\text{-elec}}$ (μA)	$I_{2,3\text{-elec}}/\Delta I_c$
3200	16.00	17.41	1.41	8.8	0.73	52.0
3400	21.75	23.43	1.68	7.7	0.93	55.2
3600	28.21	30.14	1.93	6.8	1.13	58.3
3800	35.43	37.35	1.92	5.4	1.25	64.9
4000	43.47	45.40	1.93	4.4	1.35	70.3
(b) $\Phi_1 = 0 \text{ V}$ and $\Phi_2 = -500 \text{ V}$						
Φ_c (V)	$I_{c,2\text{-elec}}$ (μA)	$I_{c,3\text{-elec}}$ (μA)	ΔI_c (μA)	$\Delta I_c / I_{c,2\text{-elec}}$ (%)	$I_{2,3\text{-elec}}$ (μA)	$I_{2,3\text{-elec}}/\Delta I_c$ (%)
3200	16.00	18.70	2.70	16.9	1.45	53.7
3400	21.75	24.80	3.05	14.0	1.77	58.1
3600	28.21	31.80	3.59	12.7	2.25	62.6
3800	35.43	39.10	3.67	10.4	2.38	64.7
4000	43.47	47.30	3.83	8.8	2.66	69.6

Ekspimento su 3 elektrodais schema (žr. 1.7 pav.). Kai trečias elektrodas įelektrintas neigiamai - 500V įtampa. Antrasis elektrodas įelektrintas neigiamai pirmojo atžvilgiu. Taip pasiektas dar didesnis efektyvumas, tačiau vis tiek nedaug skiriasi nuo pirminio varianto. Gauti eksperimentiniai rezultatai pateikiami 1.9 pav.

Šaltinio [5] kuriame nagrinėta beveik identiška sistema, ir [6] išvadose teigiama, jog abiem atvejais, sistemose su keletos įžemintais elektrodais, pasiektas ~2 kartus didesnis oro srauto greitis nei paprastu atveju su 2 elektrodais, naudojant adatos plokštumos modelį.

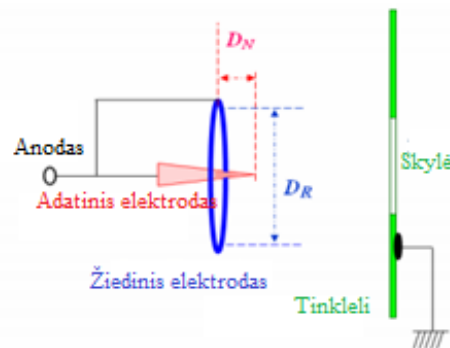


1.9 Pav. Išeinančio vėjo greičio priklausomybė nuo sunaudotos energijos. (Sudaryta pagal- [6])

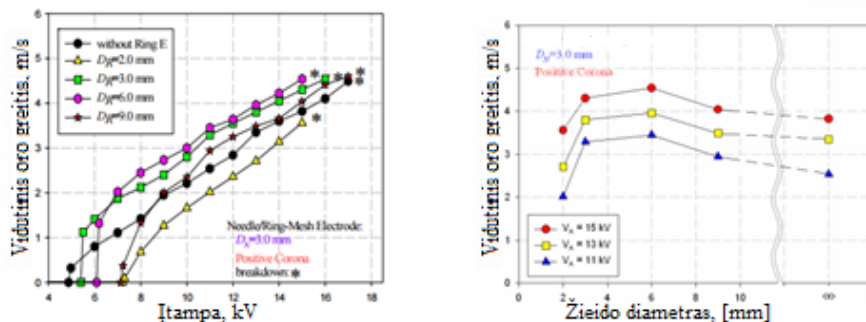
1.5. Elektromagnetinis priešslėgis sistemoje.

Galima daryti prielaidą, jog pasitelkus elektromagnetinį prieš slėgį, [7] šaltinio tematika, sistemos efektyvumas padidės. Sistemos veikimo schema pavaizduota 1.10pav. ir 1.12pav.

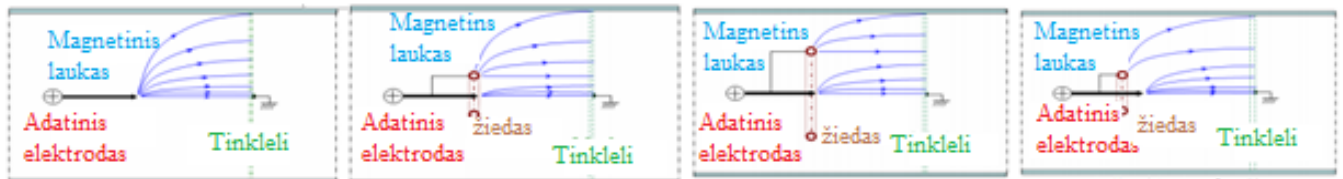
Pasitelkus konstrukciją (žr. 1.10pav. ir 1.12pav.): adatą su žiedu jos priekyje. Kur žiedas sukuria elektromagnetinį priešslėgį. Pasiekiamas oro srauto greitis siekia 4.54 m/s, kai su prieš tai nagrinėta konstrukcija adata į plokštę/ tinklelį pasiekiamas tik 3,82 m/s greitis[7]. Paveiksluose Nr. 1.11 pateikiami eksperimentiniai rezultatai: oro srauto charakteristika priklausanti nuo sukuriama potencialo skirtumo ir naudojamo žiedo diametro. Literatūros [7] išvados teigiama, jog naudojant 6 mm žiedą ir jį prastūmus adatą 3 mm už žiedo gautas geriausias bandymas, kai su 15 kV pasiekiamas 4.54 m/s vėjo greitis. Tai yra 1.2 karto geresnis rezultatas nei be žiedo. Vėjo greičio priklausomybė nuo įtampos ir žiedo diametro pavaizduota 1.11 pav. Remiantis šiuo šaltiniu galime pabandyti atkartoti bandymą, ar panaudoti šia konstrukciją ateityje.



1.10 pav. Naudojamos schemas principinė schema. (Sudaryta pagal-[7])



1.11 pav. oro srauto charakteristika, priklausomai žiedo diametro (Sudaryta pagal- [7])

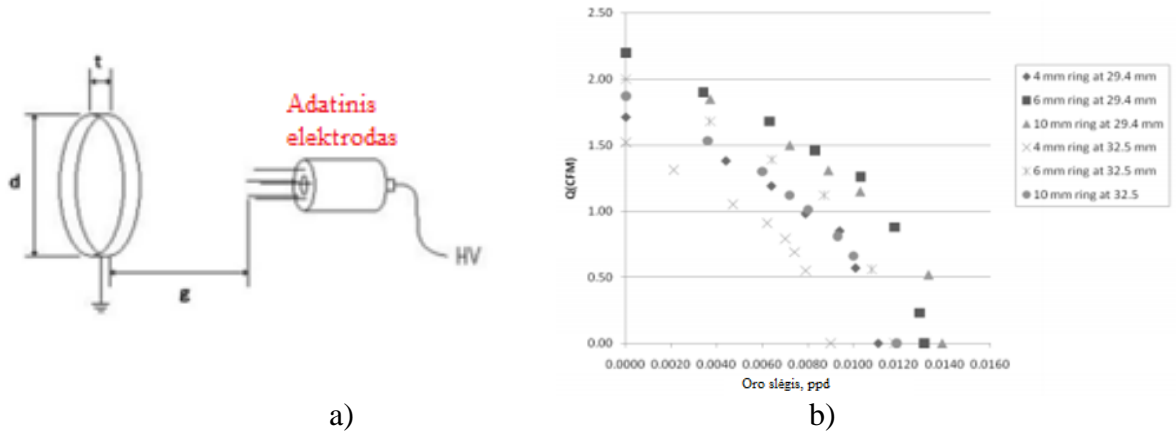


1.12 pav. Adatos ir žiedo sistemos elektromagnetinių linijų kryptis, bei veikimo principai.

(Sudaryta pagal- [7])

1.6. Keletos adatų sistema

Šaltinyje [8] tiriamas joninis vėjas, sistemoje su keliomis adatomis ir įžemintu žiedu. Atlikus bandymus pastabėta priklausomybė tarp žiedo diametro ir oro srauto. Esant tam tikram žiedo diametrai pasiekiamas didesnis srauto greitis, bei kuriamas slėgis.

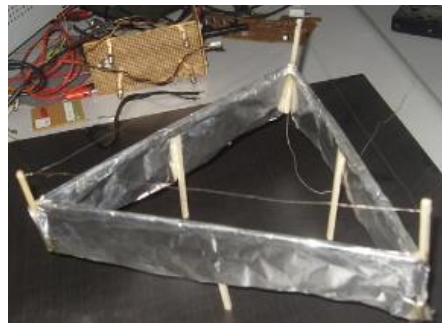


1.13 pav. a) schemos principinis vaizdas. b) Oro srauto charakteristika esant skirtingiems statiniams slėgiams. (Sudaryta pagal- [8])

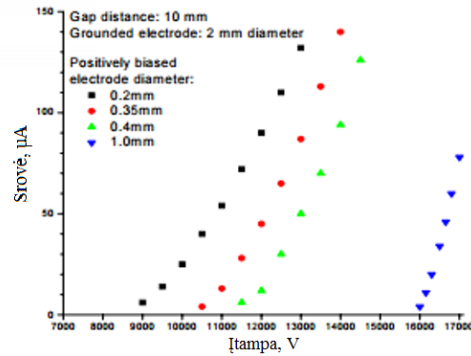
Daroma prielaidą, jog žiedo diametras priklauso nuo adatų išdėstymo diametro. Nes apdorojus eksperimentinius duomenis gauta, jog esant 10 ir 6 mm žiedui gaunamas didžiausias slėgis ir joninio vėjo greitis. Žiedo diametrai esant didesniam ar mažesniam už adatų išdėstymo diametrą, sumažinamas sistemos efektyvumas Rekomenduojama pasirinkti panašius dydžius.

1.7. Laido-plokštumos elektrodo sistema.

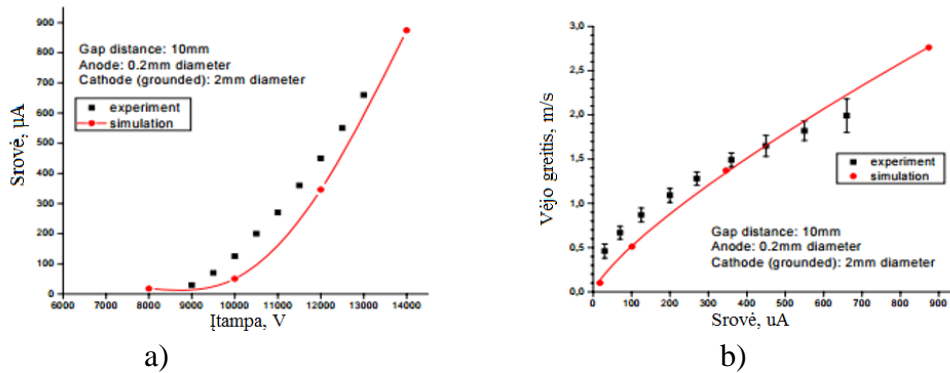
Nagrinėjant trikampio tipo joninio vėjo elektrodo sistemą [9] šaltinyje. Atliekama joninio vėjo susidarymo analizė [9][10]. Atlikti detalūs traukos skaičiavimai. Kurie nežymiai skiriasi nuo eksperimentinių. Nagrinėjamos sistemos vaizdas pateikiamas 1.13 pav.



Pateikiama bandymu bei modeliavimų rezultatai, kuriuose pateikiama srovės nuo generuojamo vėjo srauto, žr. 1.16 b) pav., priklausomybė, nagrinėjamai sistemai. Maitinimo šaltinio generuojamos įtampos ir srovės priklausomybės grafikas pateiktas 1.15 pav.

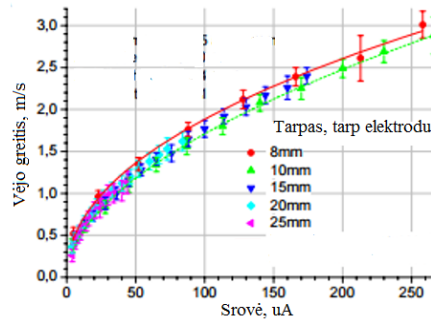


1.15 pav. Srovės priklausomybė nuo teigiamo koronos laido diametro ir generuojamos įtampos. (Sudaryta pagal- [10])



1.16 pav. Voltamperinė charakteristikos palyginimas tarp eksperimento ir simuliacijos[9],

b) Oro srauto ir srovės eksperimentinės ir simuliacinės reikšmių palyginimas. (Sudaryta pagal- [10])



1.17 pav. Oro srauto greičio ir srovės priklausomybė, nuo tarpo tarp elektrodų. (Sudaryta pagal- [10])

Šitokio joninio vėjo elektrodų sistemos kuriama jėga gali būti aprašoma lygtimi:

$$F = 4.792\pi\epsilon_0 l \frac{V_0}{b} \left(\frac{V_0}{1.011\ln(b/a) + 1.3035} - 3 \times 10^6 (a + .03\sqrt{a}) \right), \quad (1.3)$$

, kur V_0 - suteiktas potencialo skirtumas I- srovė, b- atstumas tarp elektrodų, a- teigiamo elektrodo diametras, l- koronos laido ilgis, $\mu = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{v sec}$ teigiamų jonų greitis, kurį mažina difuzija.

Išnagrinėjus visus pateikiamus eksperimentinius ir modeliuojamus duomenis matoma, jog oro srautas praktiškai nepriklauso nuo atstumo tarp elektrodų. O srovės ir vėjo greičio priklausomybė praktiškai tiesinė. Tačiau, atkreipiant dėmesį į tai, jog nagrinėjamos sistemos elektrodų diametrai kur kas didesnis už šio magistrinio baigiamojo darbo metu, ketinamus nagrinėti. Manoma, jog eksperimentų metu gaunami duomenys skristis drastiškai.

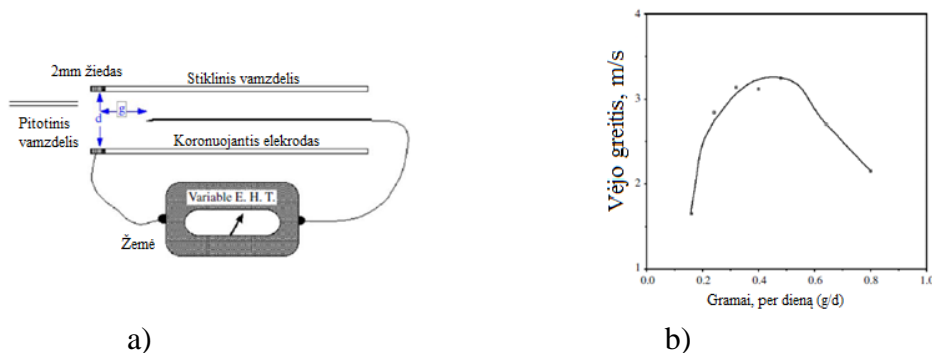
1.8. Oro sudėties poveikis sistemos darbui.

Išnagrinėtame [11] šaltinį teigiama, kad jonizuotame ore greičiau įvyksta išlydis, ko pasėkoje nepasiekama aukšta elektrodų įtampa, todėl rekomenduojama ventiliuoti orą laboratorijoje, siekiant neprarasti sistemos efektyvumo. Kadangi pramušimo įtampa jonizuotame ore sumažėja net 12 kartų. Nuo $3 \cdot 10^6 \text{ V/m}$ iki $3 \cdot 10^{0.5} \text{ V/m}$.

Vykdant bandymus adata į plokštę [11] šaltinyje, apskaičiuotas sukuriamos joninio vėjo greitis bei slėgis. Išmatuojamas joninio vėjo atsiradimo vėlavimas: 0.01s.

1.9. Drėgmės įtaka sistemos efektyvumui.

Ši aktualija apžvelgiama [12] šaltinyje. Jame naudojama joninio vėjo sistemos schema- adata ir žiedas, pateikiama 1.18 pav. a). O apibendrinti duomenys pateikiami 1.18 pav. b) paveiksliuke. Iš kurių matyt, jog iki tam tikro lygio, kai drėgmės kiekis siekia 0,5 gramo per dieną sistemai daroma teikiama įtaka. Tačiau viršijus šią ribą sistemoje kuriamas vėjo greitis ima mažėti.



1.18 pav. Šaltinyje naudojamos įrangos ir rezultatų vaizdas, tiriant drėgmės įtaką sistemai. (Sudaryta pagal- [12])

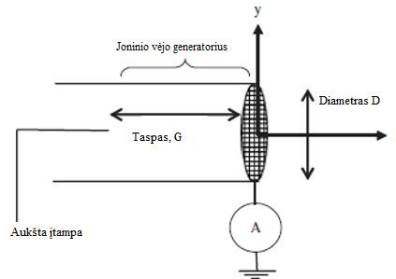
1.10. Oro srauto tėkmė, joninio vėjo lauko skerspjuvyje

Šiame [13] šaltinyje atliekamas tyrimas kuriama nagrinėjamas joninio vėjo greitis elektrodų sistemos- adata tinklelis(žr. 1.19pav.) skerspjuvio plotas. Pateikiama keletas mechaninių charakteristikų kurių reikia aprašant eksperimento rezultatus:

Oro srautas aprašomas

$$Q = \iint U(y, \theta) dS = \iint U(y, \theta) y dy d\theta \quad (1.4)$$

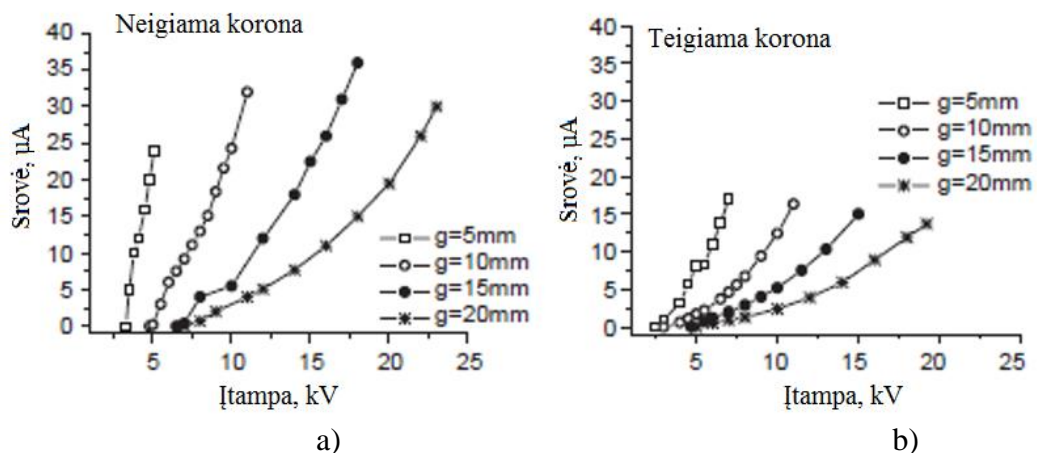
Čia (y, θ) yra apskritiminės koordinatų sistema, elektrodo tinklelio plokštumoje (1.19pav.) ties $x=2$ mm



1.19 pav. Scheminis vaizdas, sistemos kuris naudojama [13] šaltinyje. (Sudaryta pagal-[13])

Šiame tyrime nagrinėjama sistema, kuri patalpinta 20mm diametro vamzdyje (1.19pav.), o elektrodai- adata ir tinklelis, atitraukiami vienas nuo kito skirtingais atstumais. Tinklelio skylių didžiai nekeičiami.

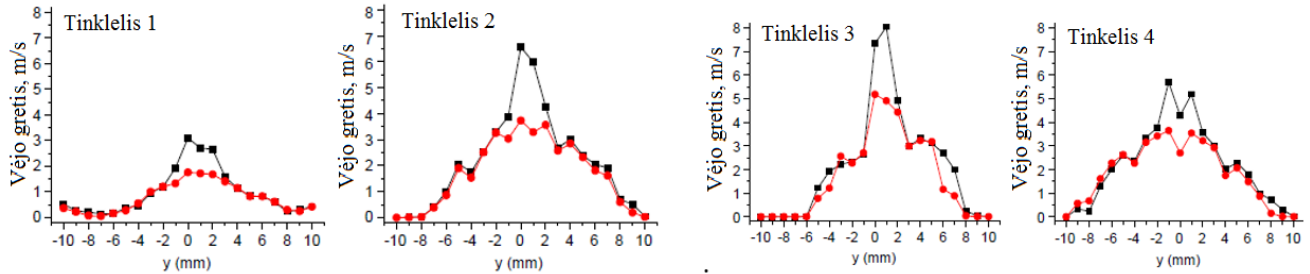
Teigiama, jog neigiamos koronos atveju srovė visada didesnė už teigiamos koronos atveji, tai įrodo gauti grafikai (žr. 1.20 pav.), tačiau tai nieko nenusako apie kuriamo oro srauto charakteristikas. Eksperimento metu atstumas tarp tinklelio ir adatas žymimas G raide.



1.20 pav. Voltamperinė priklausomybė, gauta [13] šaltinio eksperimente. Teigiamos koronos atvejis (b), neigiamos koronos (a). (Sudaryta pagal- [13])

1.3 Lentelė. Sistemos parametrai [13]

Tinklelio Nr.	1	2	3	4
Diametras, (mm)	0.2	0.18	0.25	0.25
Tinklelio diametras, (mm)	0.2	1.25	1.7	3



1.21 Pav. Pateikiami kuriamo vėjo srauto greičiai, tinklelių skerspjūviuose. (-●-) neigiamos, (-■-) teigiamos koronos atveju. $I = \pm 12 \mu\text{A}$, ($G = 15\text{mm}$, $D = 20\text{mm}$). (Sudaryta pagal-[13])

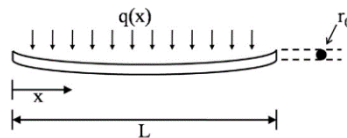
1.4 Lentelė. Eksperimento rezultatai. (Sudaryta pagal- [13])

Tinklelio Nr.	1	2	3	4
V_{\max} , (m/s)	3.9	6.9	8	5.9
Q , (l/s)	0.1	0.41	0.36	0.43
P_{elec} , (mW)	143	150	155	162
P_{mech} , (mW)	0.19	1.8	2.67	1.99
η , (%)	0.13	1.20	1.72	1.22

Atlikus oro srauto matavimo eksperimentus. Kurių parametrai pateikiami lentelėje 1.3, o gauti rezultatų grafikai 1.21 pav. sudaryta maksimalių rezultatų lentelė Nr. 1.4.

Apibendrinant šaltinio išvadas galima teigti, kad, jai tinklelio diametras yra per mažas ($G/D > 0.75$), išlydis koncentruojasi pačiame adatos priekyje ir judančio oro tankis yra didelis, taip pasiekama didesnis oro greitis, bet mažesnis debitas. Tačiau esant kitokiai sąlygai ($G/D < 0.5$) išlydis yra platus ir sistemos naudingumas mažėja, nes pasiekiamas oro srauto greitis yra mažas. Taigi adatos ir tinklelio ar žiedo sistemos tarpas (G) ir diametro (D) santykis turėtų būti ribose ($0.5 > G/D > 0.75$) maksimaliam sistemos efektyvumui pasiekti, keičiant diametrą ir atstumą.

1.11. Laido apkrova joninio srauto metu



1.23 Pav. apkrovos veikimas laido skerspjūvyje. (Sudaryta pagal- [14])

Laido apkrova nagrinėjama, [14] šaltinyje, darant prielaidas, jog elektrostatinė jėga veikia laido skerspjūvyje kaip statinė jėga, tekant oro srautui, o apkrova $q(x)$ visam laido ilgiui yra vienoda. Elektrinis laukas laido paviršiuje yra lygus $E = V/d$, kur V – potencialo skirtumas, d – oro tarpas tarp elektrodų. Dėl cilindrinis laido skerspjūvio spindulio r_0 , paviršiaus apkrova vienam ilgio vienetui (λ) yra nusakoma Gaus'o dėsniumi:

$$\lambda = 2\pi\epsilon_0 r_0 E \quad (1.5)$$

Čia ϵ_0 – laisvos erdvės skvarba. Taigi bendra elektrostatinė jėga ilgio vienetui laido skerspjūvyje:

$$w = \lambda E = 2\pi\epsilon_0 r_0 E^2 = \frac{2\pi\epsilon_0 r_0 V^2}{d^2} \quad (1.6)$$

Kadangi visas laidas apkrautas vienodai, didžiausia apkrova skaičiuojama [14][15]:

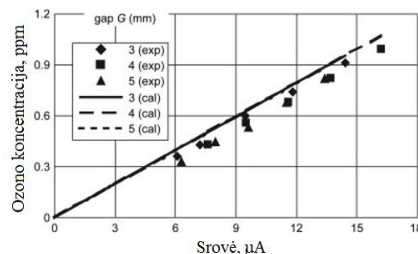
$$\sigma_{max} = \frac{w r l^2}{8I} = \frac{\pi\epsilon_0 r_0 l^2 V^2}{4I d^2} \quad (1.7)$$

Čia I yra inercijos momentas:

$$I = \frac{\pi r_0^4}{4} \quad (1.8)$$

1.12. Ozono generavimas

Daugelyje šaltinių užsiminama, jog joninio vėjo elektrodų sistema generuoja ozono O_3 daleles. Kurios tiesiogiai įvėptos žmogaus, daro neigiamą žalą organizmui. [16] šaltinyje atliktas ozono dalelių matavimas, sistemoje adata plokštuma/žiedas. Kaip matyti iš pateikiamų duomenų (žr. 24pav.) ozono generavimas tiesiškai priklauso nuo tekančios srovės sistemoje.



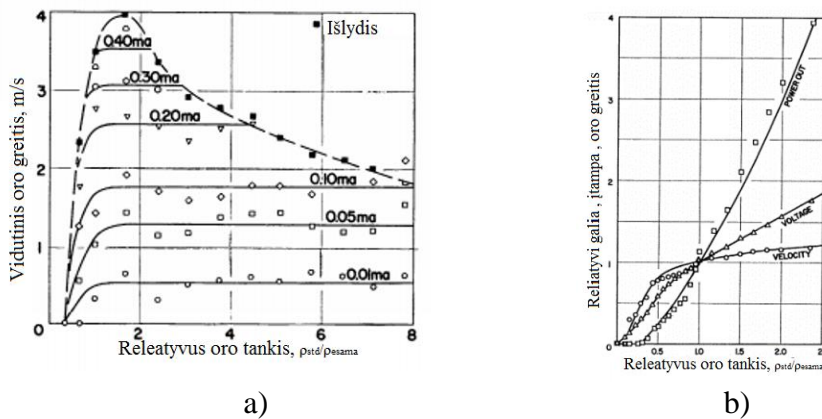
1.24 Pav. Ozono išskiriamos koncentracijos priklausomybė nuo srovės. (Sudaryta pagal- [16])

Mūsų eksperimentiškai nagrinėjamoje sistemoje, laidas plokštuma, taipogi išsiskiria ozonas, bet jo kiekiai nematuojami. Tačiau siekiant išvengti neigiamo poveikio laboratorijoje esantiems žmonėms, eksperimento metu, atsižvelgiame į [17] šaltinio pateikiamas rekomendacijas, kaip išvengti pavojingo ozono

poveikio žmogui. Laboratorijoje, eksperimentų metu privaloma gerai vėdinti patalpas grynu oru. Nes trumpalaikis ozono įkvėpimas neturi žymių poveikių organizmui, bet neventiliuojamoje patalpoje, jo poveikis gali tapti ilgalaikiu, kas gali įtakoti ligas plaučių sistemoje.

1.13. Joninio vėjo susidarymo priklausomybė nuo oro tankio

Išnagrinėjus [18] šaltinio gautus eksperimentų rezultatus, pastebėta joninio vėjo išvystomos galios priklausomybė nuo oro tankio. Kol oro tankis neviršija 2 kartų standartinio oro tankio, tol susidarantis joninis vėjas stiprėja. Tačiau viršijus šią ribą matomas neigiamas tankio poveikis ir oro srautas ima mažėti. Taipogi pateikiamas 1.6 b) grafikas, kuriame pavaizduota sistemos galios, oro srauto ir įtampos priklausomybė, nuo oro tankio. Kaip matyti grafike, oro srauto greitis akivaizdžiai kinta tik kai slėgio skirtumas neviršiją 1 karto. Tad apibendrinus šio [18] šaltinio išvadas galime teigti, jog slėgio padidėjimas teigiamos įtakos turi tik tol, kol neviršijamas santykis 1,6 karto. Nes didinat slėgį, išlydžio riba mažėja. Bei didėja dalelių savoji trintis.



1.6 pav. a) Joninio vėjo charakteristika, kaip oro tankio ir sukuriamo oro greičio funkcija. b) Joninio vėjo susidarymo galios, įtampos ir vidutinio greičio charakteristika, kaip oro tankio funkcija

1.14. Fizikinė švytuoklė

Fizine švytuoklė [19];[20] vadinamas bet koks kietasis kūnas, galintis svyruoti apie nejudamą horizontalią ašį gravitacijos lauke. Tokios švytuoklės nukrypimas nuo pusiausvyros padėties nusakomas nuokrypio kampu α . Švytuoklei nukrypus į dešinę, α laikomas teigiamu, nukrypus į kairę – neigiamu. Svyravimai vyksta veikiant sunkio jėgos dedamajai, kurios modulis

$$F_1 = mg \sin \varphi \quad (1.9)$$

F_1 vadinamas gražinančiąja jėga. Kai nuokrypiai yra maži ($\sin \varphi \approx \varphi$), tuomet gražinančioji jėga tiesiog proporcinga nuokrypiui nuo pusiausvyros padėties ($F \approx m g \varphi$). Jos momentas svyravimų ašies atžvilgiu

$$M = -F_1 L \approx -m g L \varphi \quad (1.10)$$

čia L – gražinančiosios jėgos petys. Minuso ženklas rašomas gražinančiosios jėgos projekcijos F_1 suderinimui su nuokrypio kampo φ ženklu. Mažais kampais svyruojančiai svyruoklei pritaikius sukamojo judėjimo dinamikos pagrindinį dėsnį

$$M = I_z \cdot \varepsilon \quad (1.11)$$

gaunama tokia jos svyravimo aprašanti diferencialinė lygtis

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -\frac{m g L}{I_z} \varphi, \quad \text{arba} \quad \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{m g L}{I_z} \varphi = 0; \quad (1.12)$$

Iš čia:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \varepsilon \quad (1.13)$$

Čia ε – svyruoklės kampinis pagreitis, o I_z – jos inercijos momentas svyravimo ašies Oz , statmenos brėžinio plokštumai, atžvilgiu.

1.15. Literatūros analizės išvados

Apžvelgus dalį esamos literatūros, susipažinta su kitų mokslininkų atliktais darbais šia tematika. Įsigilinta į joninio vėjo susidarymo principą. Bei apžvelgti esamos elektrodu sistemų modeliai.

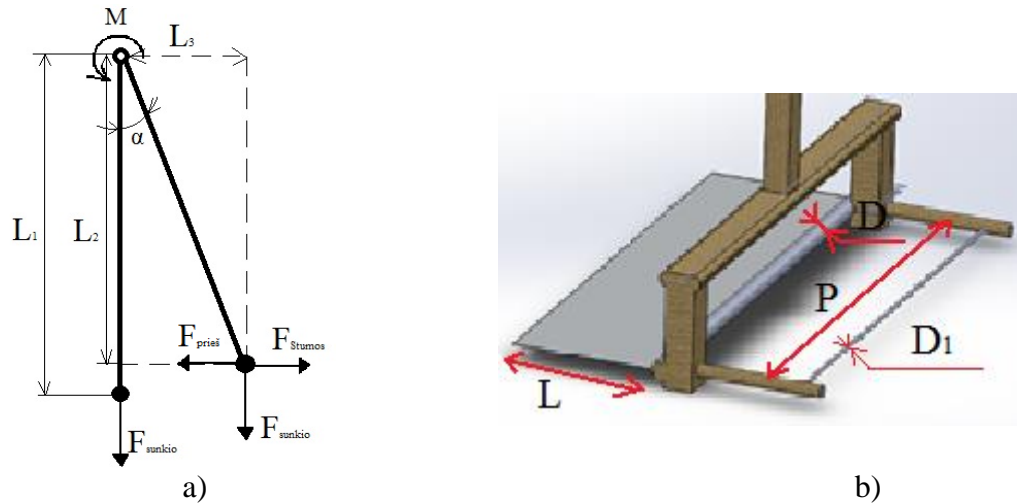
Išnagrinėjus atliktus eksperimentus, apžvelgtuose šaltiniuose, galima padaryti išvadas:

1. Efektyviausias yra teigiamos koronos joninio vėjo elektrodų sistema.
2. Joninio vėjo efektyvumas dalinai priklauso nuo dujų tipo, kurioje jis sukuriamas.
3. Joninis vėjas gali būti naudojamas vakuume, jai būtų paduodamos dujos į elektrodų terpę.
4. Dielektrinė konstanta neturi didelės įtakos vėjo generavimo pakitimui.
5. Didesnė trauka gali būti pasiekta naudojant didesniu molekulių dujas, kaip azotas.
6. Didėjant atmosferos slėgiui didėja elektrodų naudingumo koeficientas.
7. Daugelis nagrinėtų variklių yra ne aerodinamiški ir sukuria didelį srauto pasipriešinimą.
8. Kuriamai jėgai apskaičiuoti bus naudojama švytuoklės tipo matavimo sistema.

Taigi, nors literatūros šia tema daug, ir daugelis mokslininkų atlikę begales tyrumų. Tačiau jų vis dar nepakanka atsakyti į norimus klausimus, apie sistemos efektyvumą ir maksimalią galią

2. METODINĖ DALIS

2.1. Išvystomos jėgos skaičiavimas



2.1 Pav. Švytuoklės veikiančių jėgų schema a) elektrodų sistemos principinė schema

2.1.1. Švytuoklės mechaniniai parametrai

Stende naudojama švytuoklė parametrai (žr. 2.1 pav.)

$$L_1 = 60\text{cm}, P = 32\text{cm}, L = 5\text{cm}, D = 3.4\text{mm}, D_1 = 50; 80; 100 \mu\text{m}$$

$$F_{\text{sunkio}} = 6.2\text{g} = 0.0588933 \text{ N}$$

2.1.2. Švytuoklės kuriamos jėgos skaičiavimai iš momentų lygties

Joninio vėjo elektrodų sistemos kuriamą jėgą rasime pasitelkę kuriamų momentų lygtis (2.1).

$$M_{\text{prieš}} = -mgsin(\alpha)L_3 \quad (2.1)[20]$$

čia L_3 – grąžinančiosios jėgos petys (2.2), ši formulė išvedama iš kosinusu teoremos. Minuso ženklas rašomas grąžinančiosios jėgos projekcijos $F_{\text{prieš}}$ suderinimui su nuokrypio kampo α ženklu.

Iš kosinusu teoremos [19] $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos C$ išvedama L_3 lygtis:

$$L_3 = \sqrt{2L^2 - 2L^2\cos(\alpha)} \quad (2.2)$$

Taigi pasipriešinimo sukimo momentas lygus:

$$M_{\text{prieš}} = -mgsin(\alpha)\sqrt{2L^2 - 2L^2\cos(\alpha)} \quad (2.3)$$

Sukimo momentas kurį kuria joninio vėjo elektrodų sistemos kuriama jėga lygi:

$$M_{suk} = F_{Stumos}L \quad (2.4)$$

Kai:

$$M_{suk}=M_{prieš} \quad (2.5)$$

švytuoklė sustos atsilenkusi veikiama tam tikra F_{Stumos} jėgos, ir esant tam tikram kampui, kurį ir matuosime. Veikiama jėga bus lygi:

$$F_{Stumos} = \frac{mgsin(\alpha)\sqrt{2L^2-2L^2\cos(\alpha)}}{L} \quad (2.6)$$

Čia $m= 6.2g$ koncentruotos švytuoklės masė, $g=9.80665m/s^2$

2.1.3. Švytuoklės kuriamos jėgos skaičiavimai iš kinetinės energijos tvermės dėsnio

Remiantis [18] šaltinio formulėmis, jėga:

$$F = ma \text{ (N)} \quad (2.7)$$

Siekiant apskaičiuoti joninio vėjo elektrodo sistemos kuriamą energiją, ją galima išskaičiuoti iš kūną veikiančios jėgos formulės (20) . Čia m - švytuoklės koncentruota masė pačiame gale, a - švytuoklės pagreitis, kurį galime suskaičiuoti:

$$a = \frac{v_{gal}-v_{prad}}{\Delta t} \text{ (m/s}^2\text{)} \quad (2.8)$$

Čia v - pradinis ir galutinis greičiai. Juos galime išskaičiuoti iš švytuoklės poslinkio per laiko vienetą.

$$v_{prad} = \frac{l_2-l_1}{\Delta t}, v_{gal} = \frac{l_4-l_3}{\Delta t} \text{ (m/s)} \quad (2.9)$$

Čia l_2-l_1 ir l_4-l_3 – nueitas atstumas Δl , kuris lygus :

$$\Delta l = \frac{2\pi L}{360} * \Delta\varphi \quad (2.10)$$

2.2. Švytuoklės atsilenkimo kampo nuskaitymas

Švytuoklės atsilenkimui sekti naudosime enkoderį. Kurio specifikacija pateikiama 2.1 lentelėje vieno apsisukimo metu išskiria 5000 signalų. Jo skiriamoji geba:

$$360^\circ / 5000 = 0.072^\circ$$

(2.11)

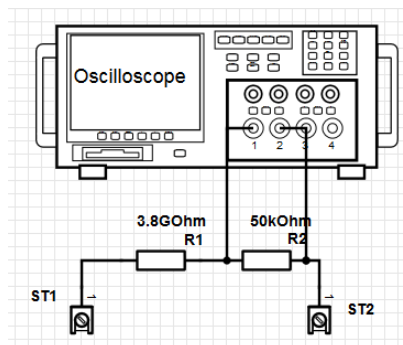
2.1 lentelė. Enkoderio specifikacija

Gamintojas	IfinityLoop
Darbinė įtampa:	10-25V
Impulsų skaičius per apsisukimą	5000 per/aps
Ašies diametras	6 mm

2.3. Aukštos įtampos matavimas

Norint ištirti maitinimo šaltinius, kurie veikia kilovoltų eilės įtampoje, reikia sukurti schemą, kurios pagalba galėtume sumažinti matuojamąją įtampą iki priimtinos. Daugelis matavimo prietaisų negali matuoti įtampos, kuri didesnės už 600V (multimetras) ar tik 60V (osciloskopas).

Tam sujungėme varžų grandinę (2.2 pav.), remiantis [19] šaltiniu, kurią sudaro 3.8GOhm bei 50kOhm precizinės varžos. Jas sujungus nuosekliai galima matuoti įtampos kritimą mažesnioje varžoje. Ko pasekoje gaunama 77800 kartų mažesnė įtampa. Tad sistemoje esant 15kV osciloskopo pagalba matoma 192mV.



2.2 pav. Aukštos įtampos matavimo schema su osciloskopu.

Įtampos matavimui mikrovaldiklio pagalba ir valdiklio optiniam atskyrimui, nuo virš įtampių, naudosime HCLP 7520 mikroschemas. Šios mikroschemas pagalba gaunamas sustiprintas analoginis signalas. Detaliau visos charakteristikos pateikiamos 2 priede.

2.4. Srovės matavimas

Srovės matavimui naudojama nuosekliai elektrodų grandiniai jungiamas 3.5kOhm rezistorius, kuris pavaizduotas 1 priede (Stendo elektrinė schema) R1 simboliu. Naudojant šį rezistorių, esant 140μA srovei jam tenkanti įtampa siekia 200mV. Tad naudodami HCPL 7520 mikroschemą gauname 3V išėjimą bei optinį atskyrimą, apsaugai nuo virš įtampių.

2.5. Impulsų pločio moduliacijos šaltinis

Joninio vėjo susidarymui, reikalinga aukšta įtampa, kuri siekia 8-15kV. Naudojamas universiteto inventorių: keletas aukštos įtampos keitiklių, kurie generuoja nuolatinę aukštą įtampą. Tačiau šiame darbe, reikalingi skirtingų dažnio bei pločio impulsai (IPM), tad jiems generuoti ir keitikliams ištirti naudojamas rusiškų impulsų generatorius G5-54, kurio išvaizda (27pav.) bei specifikacija pateikiama žemiau 4 lentelėje.



2.3 pav. Impulsų generatorius G5-54

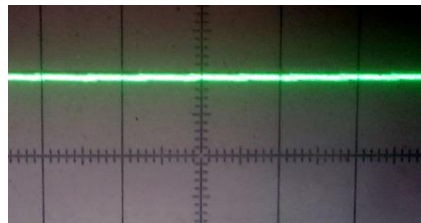
2.2 Lentelė. G5-54 specifikacija

Impulsų generatoriaus G5-54 specifikacija	
Maitinimo įtampa	~230V
Išėjimo įtampa	12-65V
Impulsų dažnio diapazonas	1-10 ⁴ Hz
Impulsų plotis	1-10 ² μs
Impulso pločio intervalas	1-10 ² μs

2.6. Aukštos įtampos keitiklių parinkimas

2.6.1. Aukštos įtampos keitiklis Nr.1

Kadangi turime keletą aukštos įtampos keitiklių bus atliktas tyrimas. Prijungę aukštos įtampos keitiklius prie IPM generatoriaus, tyrimą pradėsime nuo mažiausiai išnagrinėto keitiklio Nr.1. Kurio schemas išnagrinėti nepavyko, tačiau dėl mažų valdomumo galimybių gilintis į veikimo schemą neprireikė. Gaunama aukštos įtampos forma, maitinant keitiklį skirtingo dažnio impulsais, pavaizduota 28pav.

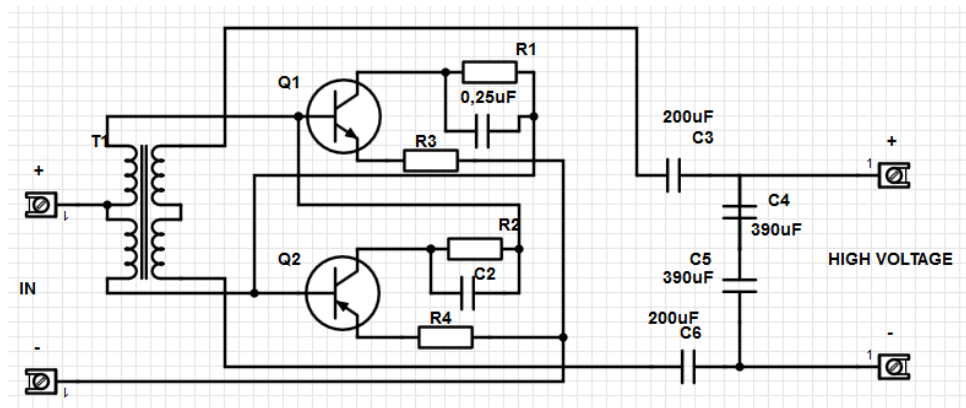


2.4pav. Aukštos įtampos formos keitiklyje Nr.1

Keičiant įeinančio impulso dažnį, plotį bei įtampą, išėjime gauta visiškai išlyginta nuolatinė aukšta įtampa. Vienintelis parametras kuris kito išėjime, buvo potencialų skirtumas, kuris kito nuo 1-3kV su 12-30V įėjimo įtampa. Todėl buvo priimta išvada, jog šitas aukštos įtampos keitiklis yra netinkamas.

2.6.2. Aukštos įtampos keitiklis Nr.2

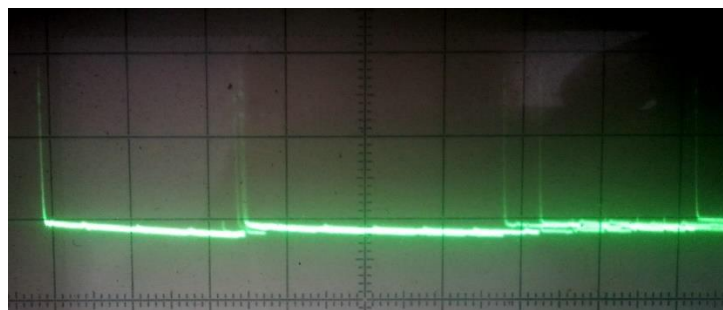
Antras ištirtas aukštos įtampos keitiklio veikimo principas pagrįstas rezonansiniu virpesių kontūru. Elektrinė schema pateikiama 22 pav., kurioje matyti rezonansinių virpesių kontūras.



2.5 pav. Keitiklio Nr.2 elektrinė schema

Prijungus keitiklį prie IPM šaltinio gauta netolygi, tačiau nuolatinio poliarumo įtampa. Keičiant IPM parametrus išėjimo grandinėje kito tik įtampos dedamoji. Išėjimo signalas pateikiamas osciloskopo nuotrauka 30 pav., kuriame matyti netolygi impulsų seka, kuri turi labai aukštos įtampos dedamųjų, lyginant su pačiu signalu. Išėjimo tolygumas tiesiogiai proporcingas įeinančio signalo dažniui. Kuo įeinančio signalo dažnis didesnis, tuo išėjimas tolygesnis.

Tačiau šitokia įtampa išėjime yra netinkama, nes stendo bandymams reikalingi pilnai valdomi aukštos įtampos impulsai.

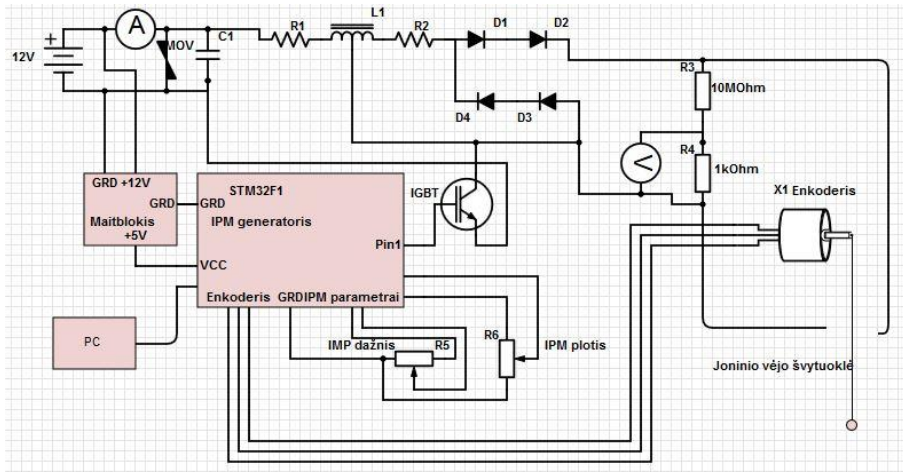


2.6 pav. Keitiklio Nr.2 išėjimo įtampa.

2.6.3. Aukštos įtampos impulsų generatorius Nr.3

Trečiuoju variantu pasirinktas nebe keitiklis, o impulsų generatorius. Tai yra autotransformatoriaus tipo induktyvinė ritė, kurioje indukuojami aukšto potencialo impulsai. Visas valdymas vyksta 12V impulsais, kadangi ši autotransformatoriaus ritė naudojama vidaus degimo uždegimo sistemoje.

Testuojant ritę naudojamas tas pats IPM generatorius kaip ir pirminiuose variantuose. Atliktuose testuose aiškiai matyti, jog ritės valdomumas visiškai tenkina lūkesčius. Didinant įeinančių impulsų dažnį

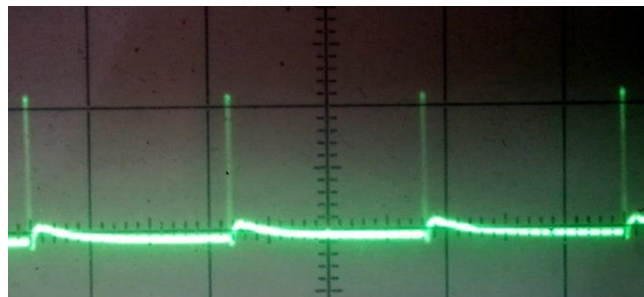


išėjimo dažnis taipogi kinta tolygiai. Osciloskopo grafikas pateikiamas 2.7 pav.

2.7 pav. Aukštos įtampos signalų generatoriaus Nr.3 išėjimo įtampa.

Kaip matyti osciloskopo grafike, išėjime gaunami švytavimai, bei neigiama dedamoji. Kadangi joninio vėjo efektui reikalinga pastovaus poliarumo įtampa, patobulinta valdymo schema pridėjus 4 diodus(33pav.), taip pašalinant švytavimus bei neigiamas dedamąsias 2.7pav.

Tokia diodų sistema pasirinkta todėl, nes vieno diodo maksimali pramušimo įtampa lygi 12kV, o planuojama įtampa sieks ~15kV, tad siekiant išvengti pramušimo, sujungiami du diodai nuosekliai. Taip padidinant pramušimo įtampą iki 24kV. Tokia diodų kombinacija išėjime nepanaikina švytavimų pačioje sistemoje, tačiau tyrimui reikalingame išėjime jų nebelieka 2.8pav.



2.8pav. Aukštos įtampos signalų generatoriaus Nr.3 išėjimo įtampa, su diodu schema.

2.9 pav. Viso stendo principinė schema

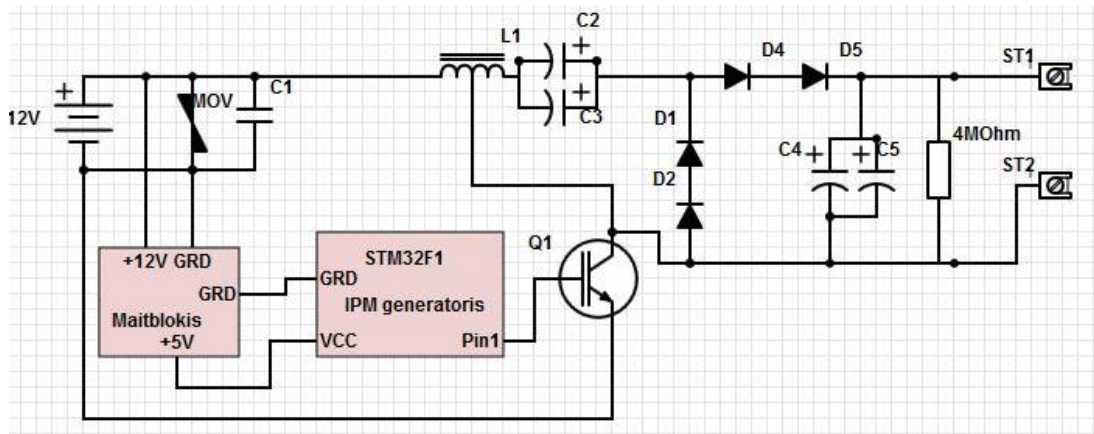
Stendo schemoje pažymėta srovės matavimo vieta gali keistis, dėl viską apsunkinančios aukštos įtampos, kurioje matavimo prietaisai, nepritaikyti veikti. Ši techninė problema bus sprendžiama ateityje, kai bus nuspręsta, kurioje vietoje naudingiausia vykdyti matavimą.

2.6.4. Aukštos įtampos impulsų generatorius Nr.4

Panaudoję kondensatorių sistemą, kurios schema pateikiama 2.10 pav. gaunama išėjimo įtampos forma pateikiama 2.11 pav. Žvelgiant į osciloskopo grafiką matyti išlyginta 5kV įtampa, su pasikartojančiais šuoliais, kurie atitinka IPM signalų indukuojamą įtampą.

Išmatavus srovę pirminėje afijoje galime suskaičiuoti sistemos galią.

$$12V * 0,4A = 0.48W \quad (2.12)$$



2.10 pav. schema su kondensatoriais



2.11 pav. Įtampos grafikas, osciloskope, sistemoje su kondensatoriais

2.6.5. Valdymo elementas IGBT

Pirminiuose bandymams buvo naudotas IPM G5-54 rusiškas signalo generatoriaus pavaizduotoje 29pav. Tačiau dabartiniame aukštos įtampos maitinimo šaltinyje naudojamas STM32F100RB mikrovaldyklis, kuris pavaizduotas 2.9 ir 2.10 pav. su N tipo IGBT, IRGB14C40LPBF valdymo elementu, kurio parametrai pateikiami 2.13pav. Šis IGBT būtent pritaikytas valdyti šio tipo aukštos įtampos ritėms. Kadangi maksimalus valdymo elektrodo apsaugos potencialų skirtumas siekia net 6kV, o trumpo jungimo srovė gali siekti net 20A, kuri ritėje sieks tik 15A.

	Parameter	Max	Unit	Condition
V _{CES}	Collector-to-Emitter Voltage	Clamped	V	R _G = 1K ohm
I _C @ T _C = 25°C	Continuous Collector Current	20	A	V _{GE} = 5V
I _C @ T _C = 110°C	Continuous Collector Current	14	A	V _{GE} = 5V
I _G	Continuous Gate Current	1	mA	
I _{Gp}	Peak Gate Current	10	mA	t _{PK} = 1ms, f = 100Hz
V _{GE}	Gate-to-Emitter Voltage	Clamped	V	
P _D @ T _C = 25°C	Maximum Power Dissipation	125	W	
P _D @ T = 110°C	Maximum Power Dissipation	54	W	
T _J	Operating Junction and	- 40 to 175	°C	
T _{STG}	Storage Temperature Range	- 40 to 175	°C	
V _{ESD}	Electrostatic Voltage	6	KV	C = 100pF, R = 1.5K ohm
I _L	Self-clamped Inductive Switching Current	11.5	A	L = 4.7mH, T = 25°C

2.13 pav. STM32F100RB specifikacija

2.6.6. Aukštos įtampos ritė

Aukštos įtampos ritė naudojama tokia pat, kaip vidaus degimo variklio uždegimo sistemose. Tai BOSH firmos ritė, skirta dirbti esant 12V įėjimo įtampa. Tačiau puikiai atlaiko net iki 25V įėjimo įtampa.

Valdymo signalui sudaryti remtasi [22] literatūros šaltiniu, kuriame jau iširtos šios autotransformatoriaus tipo ritės ir jų induktyvumas. Impulso pločio priklausomybė nuo indukuojamos galios pateikiama 2.14pav.

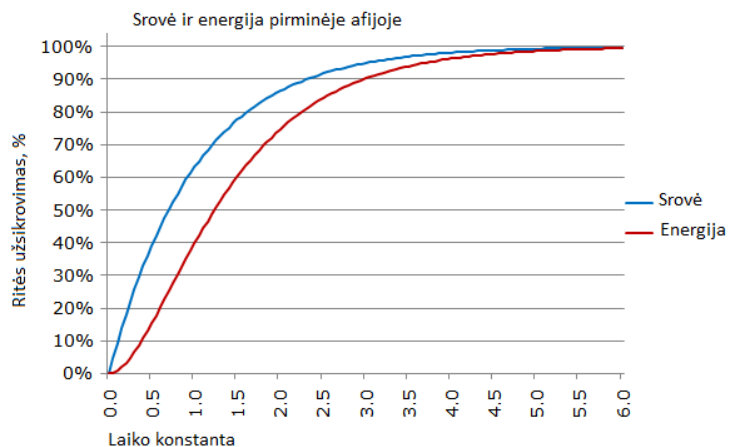
Pateikiamos priklausomybės apskaičiuojamos pagal formules:

$$\text{Nuolatinė srovė trumpo jungimo metu} \quad I_{\text{nuolatinė}} = \frac{V_{\text{šaltinio}}}{R_{\text{pirminės}}} \quad (2.15)$$

$$\text{Impulso laiko konstanta} \quad \tau = \frac{L}{R_{\text{pirminės}}} \quad (2.16)$$

$$\text{Srovė pirminėje afijoje bet kuriuo laiko momentu} \quad i(t) = I_{\text{pirminė}}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2.17)$$

$$\text{Sukaupiama energija pirminėje afijoje} \quad E = \frac{1}{2}LI^2 \quad (2.18)$$



2.14 pav. Ritės sukaupiamos energijos priklausomybė nuo impulso pločio. (Sudaryta remiantis-[20])

Maitinimo šaltinio apsaugai, nuo indukuotų aukštos įtampos „spyglių“ apsaugai schemeje naudojamas elementas pažymėtas MOV simboliu 2.9 ir 2.10pav. Tai Metalo Oksido Varistorius, kurio atsidarymo įtampa siekia 20V. Tai reiškia, jog įtampai pasiekus tokią vertę, kuri viršija atsidarymo įtampa, jis pradeda praleisti srovę, taip neleisdamas įtampai pakilti aukščiau. Tokiu būdu maitinimo šaltinis negauna aukštos indukuotos įtampos, kuri gali pakenkti.

Taipogi naudojamas elektrolitinis kondensatorius, kurio talpa siekia kelis tūkstančius mikrofaradų ir schemeje 2.9 ir 2.10pav. pažymėtas C1 simboliu. Jis užtikrina šaltinio tolygumą esant aukšto dažnio impulsams.

2.6.7. Aukštos įtampos impulsų generatorius Nr.5

Šis aukštos įtampos generatorius naudojamas, policijos elektrošuokuose, kurie skirti tramdyti nusikaltėlius, juos nukrečiant aukštos įtampos elektros srove.

Jo privalumas, lyginant su prieš tai nagrinėtais yra akivaizdžiai pastebimi:

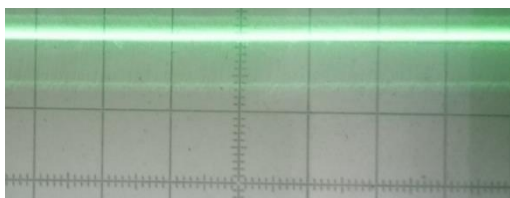
- Dydyje.
- Svoryje.
- Išlyginamai aukštai įtampai (2.12pav.).
- Žemai jėgimo įtampai
- Galioje

Prijungus aukštos įtampos generatorių prie matuojamosios schemos, aiškiai matyti, jog generuojama aukšta įtampa yra nuolatinio potencialo, o potencialų skirtumas siekia 10kV. Išmatavę srovės dydį žemos įtampos dalyje, galime apskaičiuoti galią žemoje (2.19) bei aukštoje (2.20) dalyje.

$$3,98V * 2,4A = 9.5W \quad (2.19)$$

$$15kV * 80\mu A = 1.2W \quad (2.20)$$

Lyginant galią, su prieš tai nagrinėtais generatoriais, matyti, jog šis pats galingiausias. Tačiau, dėl konstrukcijos ypatumų, negalime išardyti jo ir išnagrinėti elektrinę schemą, nes visas jo korpusas užlietas epoksidine derva. Kuri skirta apsaugoti sistemą nuo išlydžio, bei schemos kopijavimo. Tačiau nekreipiant į tai dėmesio, šitas aukštos įtampos maitinimo blokas, eksperimentams vaisiškai tinka.



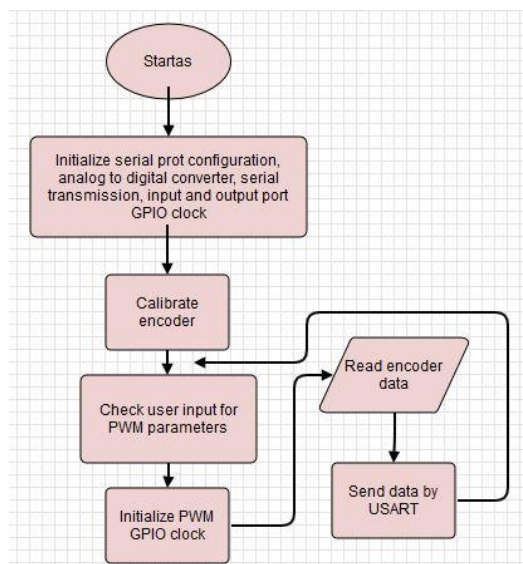
2.12 pav. 5 generatoriaus išlygintos įtampos forma, osciloskope.

2.7. Mikrovaldiklio programa

Stende naudojamas STM32F100RB mikrovaldiklis, kuris programuojamas C kalba. Programos sudarymas atliekamas uVision 4 Keil programiniu paketu. Kuris pritaikytas dirbti su šio tipo mikrovaldikliais. Tačiau duomenų parsiuntimui į kompiuterį USART kabelis. Kurių nuskaitymui bus naudojamas Visual Studio 2010 programavimo programinis paketas. Tačiau šiuo atveju algoritmas yra rašomas C# kalba. Visas mikrovaldiklio algoritmo tekstas pateikiamas prieduose.

Sudarytos programos principinė veikimo schema pateikiama 2.16 pav. Tai tik principinė schema, kadangi visos programos veikimo schemą sudaryti užimtų labai daug laiko, bei vietos.

Siunčiamų duomenų nuskaitymui pavyzdys nededamas, dėl savo kompleksiško Visual Studio programiniame pakete.



2.16 pav. Programos principinė schema

2.8. Darbo eigoje iškilusios problemos

2.8.1. Nuostoliai stende

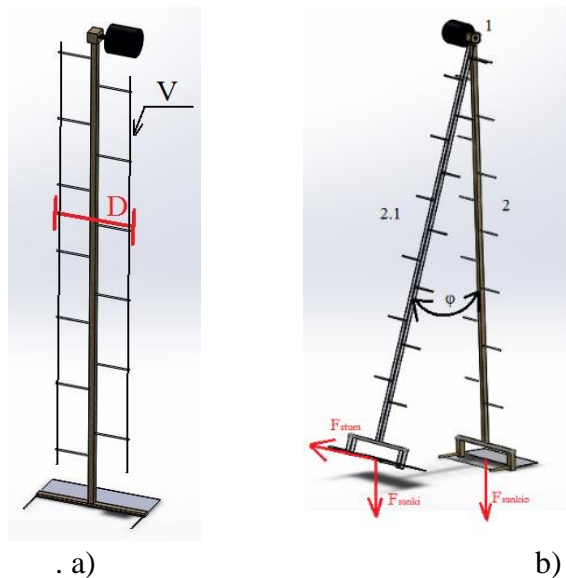
Atlikus pirminius stendo testavimo bandymus, buvo pastebėta magnetinė jėga tarp stendo elektrodus jungiančios vielos, pažymėta 2.17 pav. (V) raide, kuria teka aukštos įtampos srovė į elektrodų sistemą.

Dėl atsirandančio dalinio išlydžio tarp vielos (V) dalis elektros energijos nuteka būtent tarp skirtingų potencialų vielos, taip sumažindami joninio vėjo elektrodų sistemos naudingumą atsižvelgiant į sunaudotos energijos kiekį. Tad atsilenkimo kampas λ (2.17 pav. B) gaunamas mažesnis.

Šios problemos sprendimas - atstumo tarp vielos keitimas. Pastarasis 2.17 pav. pažymėtas D raide. Bei remiantis (14) formule [21], kuri nusako statinio lauko stiprį, kuris tiesiogiai lemia išlydžio atsiradimą. Taigi vienintelis parametras, kuriuo galima koreguoti išlydžio atsiradimą yra vielos storis. Tad stende esama viela bus pakeista į storesnę, 0,5mm vielą.

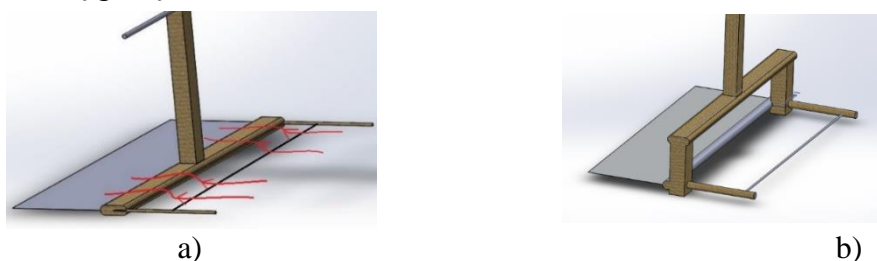
$$E_0 = 30.3\sigma\left(1 + \frac{0.298}{\sqrt{r_0\sigma}}\right) \quad (2.21)[21]$$

čia r_0 - laido/elektrodo diametras. σ - santykinis oro tankio pokytis (priimamas 1).



2.17 pav. paveiksle pažymėta: V- viela, kuria teka aukštos įtampo srovė, D- atstumas tarp vielų V. 1- enkoderis, 2- stendas pradinėje padėtyje, 2.1 atsilenkusi švytuoklė λ kampu.

Atsirandantis aerodinaminis nuostoliai (žr. 2.18a. pav.), tekantis jonizuoto oro srautui nuo teigiamo elektrodo link neigiamo. Apeinant skersinį, srautas sudaro aerodinaminę trintį, tai neleidžiama dalelėms įsibėgėti. Ši problema pastebėta ir aiškiai padidėja esant mažam atstumui tarp elektrodų, kai teigiamas elektrodas priartėja prie skersinio arčiau nei 15mm. Tad ją sprendžiama nuleidžiant elektrodų sistemą žemiau skersinio (žr. 2.18b. pav.), taip sukuriant galimybę dalelių srautui keliauti tiesiu keliu ir pasiekti maksimalų greitį.



2.18 pav. a) Sena konstrukcija dėl kurios atsiranda aerodinaminė trintis. b) Nauja konstrukcija, su nuleista elektrodų sistema.

2.8.2. Aukštos įtampos trikdžiai osciloskope

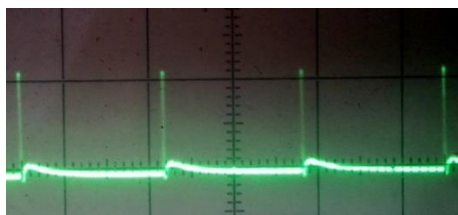
Darbo eigoje, buvo pastebėti pasikartojantys trikdžiai osciloskopo ekrane. Kurie atsiranda kai sistemoje sugeneruojama didesnė nei 7kV įtampa. Nesvarbu ar osciloskopas elektriškai sujungtas su aukštos įtampos sistema ar ne. Šalutinis poveikis išlieka toks pat. Tam išbandyti buvo pasitelktas nepriklausomas maitinimo šaltinis. Trikdžiai osciloskopo ekrane pateikiami 2.13pav. Šiai problemai spręsti turėtų padėti papildomas osciloskopo ekranavimas.



2.13 pav. Trikdžiai osciloskope.

2.8.3. Neigiamo potencialo dedamoji aukštos įtampos impulse

Prieš tai išnagrinėjus tris aukštos įtampos keitiklius, pasirinkta induktyvesnės ritės sistema, su valdomu IGBT elementu. Atlikus bandymus, kai induktyvinė ritė buvo prijungta prie G5-54 IPM generatoriaus, gaunami aukštos įtampos impulsai, kurių forma priimtina, tai yra, gaunami nuolatinės įtampos impulsai (2.19pav.)



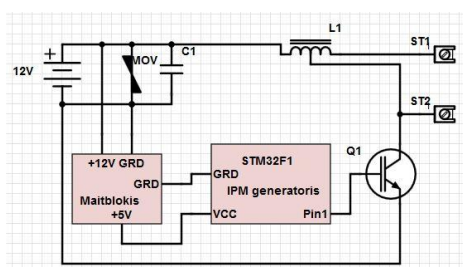
2.19 pav. Aukštos įtampos impulsai

Tačiau problemos iškilo, kai tą pačią induktyvinę ritė buvo prijungta prie maitinimo šaltinio su IGBT elementu. Kurį valdome naudodami mikrovaldiklį. Pastarojo pagalba, galime analogiškai, G5-54, valdyti IPM impulsus, išvystant didesnę galią. Gauti aukštos įtampos impulsai, pavaizduoti osciloskopo pagalba pateikiami 2.20pav. Kaip matyti 2.20 pav. atsiranda dideli įtampos švytavimai, ko pasėkoje gaunama neigiamas impulso potencialo dedamoji, kuri joninio vėjo efektui yra neleidžiama. Visa valdymo schema pateikiama ir analogiška 2.9pav. paveiksluke.



2.20 pav. Aukštos įtampos impulsai, 2.9 pav. schema, valdant IGBT elementui, bei 4 diodu schema.

Pašalinus 4 diodus išėjime, kurio schema pavaizduota 2.9 a. pav. ir esant 2.21 a) schemai, gaunamas dar labiau „chaotiškas“ pilnas triukšmų signalas 2.21 b) pav.



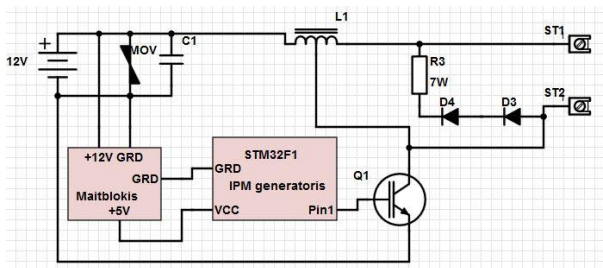
a)



b)

2.21 pav. Maitinimo a) schema be diodų išėjimo grandinėje. Išėjimo b), aukštos įtampos, signalas, schemoje be diodų

Schemoje su dviem grįžtamaisiais diodais 2.22 pav. gaunamas aukštos įtampos signalas atitinka įeinančio valdymo impulso dažnį bei impulso plotį, kurį galima išvelgti impulso pasikartojimo dažnyje, bei impulso ilgyje. Tačiau indukuotos įtampos teigiama dedamoji visiškai lygi neigiamai dedamajai.



a)



b)

2.22 pav. Aukštos įtampos maitinimo šaltinio a) schema su 2 diodais. Išėjimo impulsų b) įtampos vaizdas osciloskope, 2 diodų sistemoje.

Šią problemą, aukštos įtampos švytavimą, vis dar reikia spręsti. Kadangi neigiama dedamoji stendo elektrodų sistemoje, siekiant sukurti joninio vėjo efektą, yra netoleruotina

2.8.4. Trikdžiai, aukštos įtampos matavimo grandinėje

Eksperimento metu pastebėtas gana žymus gaunamų rezultatų periodiškumas. Ištyrus situaciją detaliau, paaiškėjo, jog gaunami švytavimai, kuriuos iššaukia indukuojama įtampa, aukštos įtampos matavimo grandinėje (R8-R9) schemoje kuri pateikia prieduose.

Tai nedidelė kelių dešimčių milivoltų eilės įtampa. Bet, kadangi mūsų matavimo prietaisai matuoja įtampa nuo -200 iki 200mV intervale, kelių dešimčių milivoltų įtampa iššaukia tam tikrą paklaidą. Įtampos indukcija vykta 50Hz arba 20ms periodu, tad neabejotina, jog ją iššaukia didelės matavimo rezistorių varžos (3,8 GOhm) ir fizinis rezistoriaus vielos ilgio inkutyvumas, kuris veikia kaip antena, tinklo 220V ar 440V. maitinimo kabeliams.

Kadangi nepavyko rasti laboratorijoje vietos, kurioje šitų trikdžių galėtume išvengti, matavimo netolygumas šalinamas aritmetinio vidurkio pagalba. Iš 20ms matavimų rezultatų išvedamas vidurkis, kuris ir pašalina matavimo netolygumą su minimalia paklaida.

Šitos problemos išėitis galėtų būti visos sistemos ekranavimas, arba kitokių rezistorių naudojimas. Tačiau šio darbo metu, nebuvo galimybės išbandyti šiuos sprendimus.

Siekiant apsaugoti mikrovaldiklį nuo aukštos įtampos impulsų, patalpinome jį į metalį korpusą, o signalų filtracijai naudojome feromagnetinius filtrus. Šis sprendimas leido sumažinti gaunamus trikdžius ir užtikrinti siunčiamų duomenų kokybę.

2.9. Darbo eiga, eksperimento metu

Tyrimams atlikti naudojamas aukštos įtampos generatorius NR 5 (žr. 2.6.7 skyrių). Bei švytuoklę su modifikuota elektrodų sistema (žr. 2.18pav. b.) Tyrimo eiga:

- Įjungiamas mikrovaldiklio matavimas.
- Įjungiamo aukšta įtampa.
- Laukiama kol švytuoklė nusistovės, atsilenkimo būsenoje.
- Išjungiamo aukšta įtampa.
- Sustabdomi matavimai.
- Duomenys išsaugomi atitinkančiu eksperimentą pavadinimu.
- Pakeičiama elektrodų sistemos konfigūracija ir eksperimentas kartojamas.

3. JONINIO VĖJO ELEKTRODŲ SISTEMOS TYRIMAS

3.1. Sistemoje vykstančio vienpolio išlydžio skaičiuojamasis patvirtinimas

Remiantis [23] šaltinio [8] ir 28pls. Apskaičiuotas pradinis lauko stipris aplink elektrodus. Bei taikant laidas-plokštuma formulę pradiniam koronos išlydžiui apskaičiuojama ribinė įtampa. Kuriai esant prasideda koronos išlydis. Taip patvirtinant, jog sistemoje vyrauja tik vienpolis išlydis. Nes kitu atveju, esant dvipoliui išlydžiui, sistemos kuriamas oro srautas neišvystytų maksimalios galios. Naudojamų elektrodų, kurių elektrinio lauko, reikšmės apskaičiuotos ir pateikiamos lentelėje Nr.3.1.

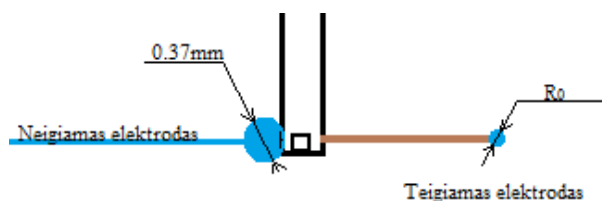
Apskaičiuojamas pradinis lauko stipris aplink elektrodus, naudodamiesi formule:

$$E_0 = 30.3\sigma\left(1 + \frac{0.298}{\sqrt{r_0\sigma}}\right) \quad (3.1)[21]$$

Čia r_0 - laido/elektrodo diametras. σ - santykinis oro tankio pokytis, priimamas 1, nes lygus visoms sistemos eksperimento metu.

$$\sigma = \frac{PT_0}{P_0T} \quad (3.2)$$

Čia $P_0= 101.3\text{kPa}$, o $T_0= 293 \text{ K}$ – atmosferos temperatūra.



3.1 pav. Elektrodų schema

3.1 Leneltė. Pradinio lauko stiprio skaičiavimai

$R_0, \text{ m}$	0,0005	0,008	0,001	0,0026	0,37
$E_0, \text{ V/m}$	4341070	3495375	3158347	2073811	451442

Norint apskaičiuoti pradinio išlydžio įtampą [21]kiekvienam elektrodai naudojama (3.3) formulė:

$$V_0 = E_0 r_0 \ln \left[\frac{2h}{r_0} \left(1 - \frac{r_0}{2h} \right) \right] \quad (3.3)$$

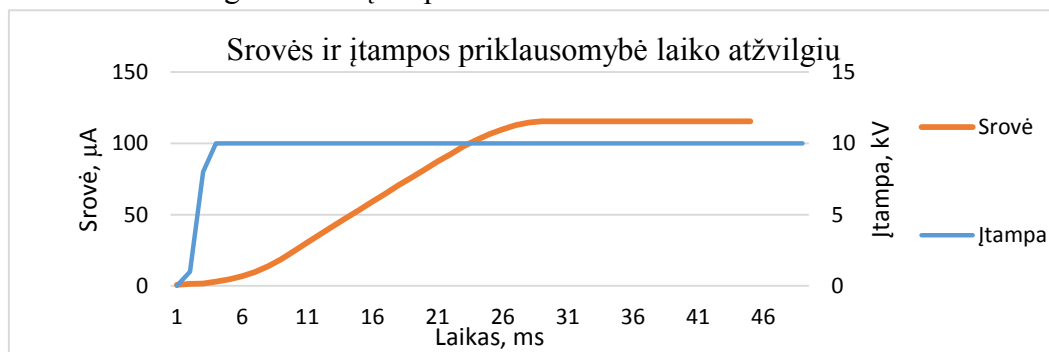
3.2 Lentelė. Pradinio išlydžio įtampos priklausomybė nuo elektrodo diametro

Atstumas R0	0,0015	0,002	0,0025	0,003	0,0035	0,004	0,0045	0,005
0,0005	3493,3	4223,7	4769,2	5204,7	5567,3	5877,9	6149,6	6391,0
0,0008	2828,7	3876,5	4636,9	5234,1	5726,0	6144,1	6507,8	6829,5
0,001	2189,2	3469,8	4378,4	5083,2	5659,0	6145,9	6567,6	6939,6
0,037	81000	12838	16200	18807	20938	22739	24300	25676

Taigi žvelgiant į lentelę matyti, jog elektrodų sistemos storojo(neigiamo) elektrodo (plokštumos) pradinė įtampa, kurios metu prasideda koronos išlydis yra nuo 23 iki 37kartus didesnis, nei įtampa reikalinga koronos išlydžiui plonajame elektrode (laide). Tai patvirtina, jog sistemoje vyrauja tik vienpolis išlydis. Nes stende naudojama maksimali įtampa siekia tik 15kV, kai tuo tarpu bipoliniam išlydžiui reikalinga 80kV.

3.2. Srovės ir įtampos priklausomybė nuo laiko įjungimo metu

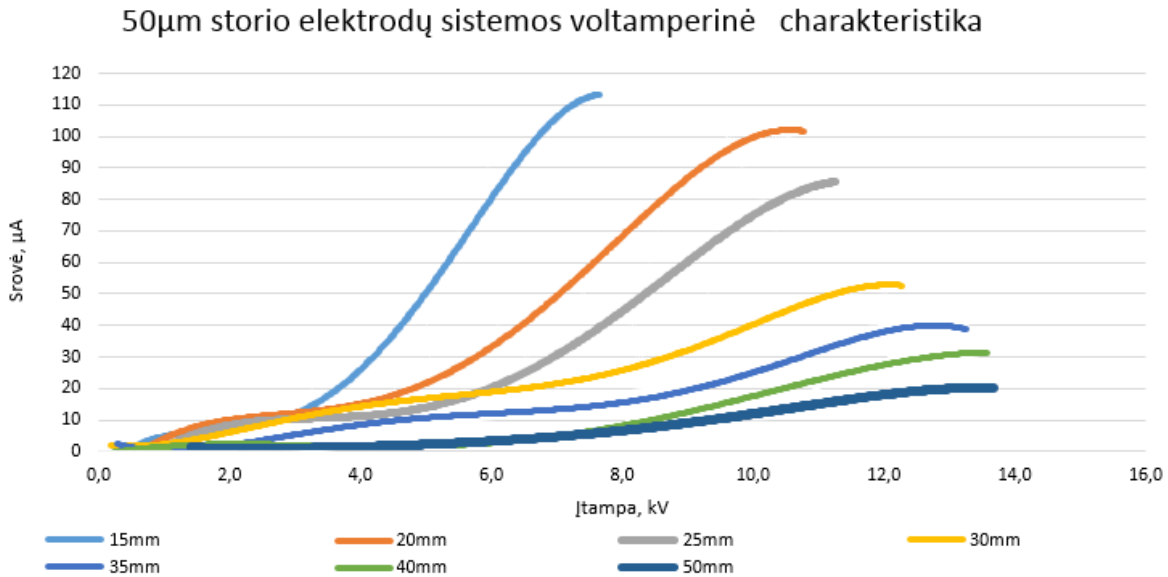
Siekiant dar geriau suprasti pereinamąjį procesą pateikiamas grafikus, kuriame vaizduojama srovės ir įtampos priklausomybė, pereinamojo proceso metu, laiko atžvelgiu (3.2pav.) Grafikas pateikiamas nagrinėjant 50um diametro elektrodų sistema, kurios atstumas tarp elektrodų 15mm. Kaip matyti grafike, perinamasis procesas trunka apie 27ms. Šiuo grafiku siekiama parodyti, jog įtampa relės įjungimo metu kinta beveik šuoliškai. Nevisiškai šuoliška įtampa gauna, dėl naudojamo kontaktoriaus greitaveikos. Nes mažėjant oro tarpui tarp kontaktų, mažėja sąlyginė oro varža ir gaunamas įtampos kilimas. Todėl tolimesniuose grafikuose įtampos šuoliškumo nebus rodoma.



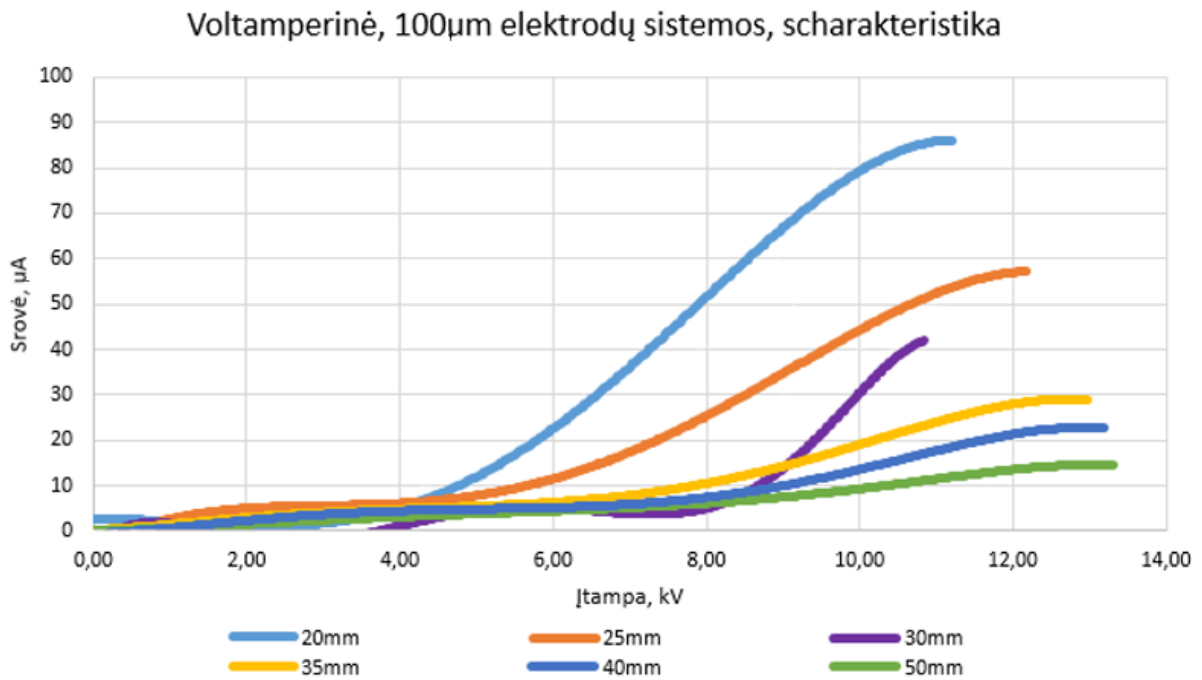
3.2 pav. Srovės ir įtampos priklausomybė laiko atžvilgiu

3.3. Pereinamojo proceso voltamperinė charakteristika

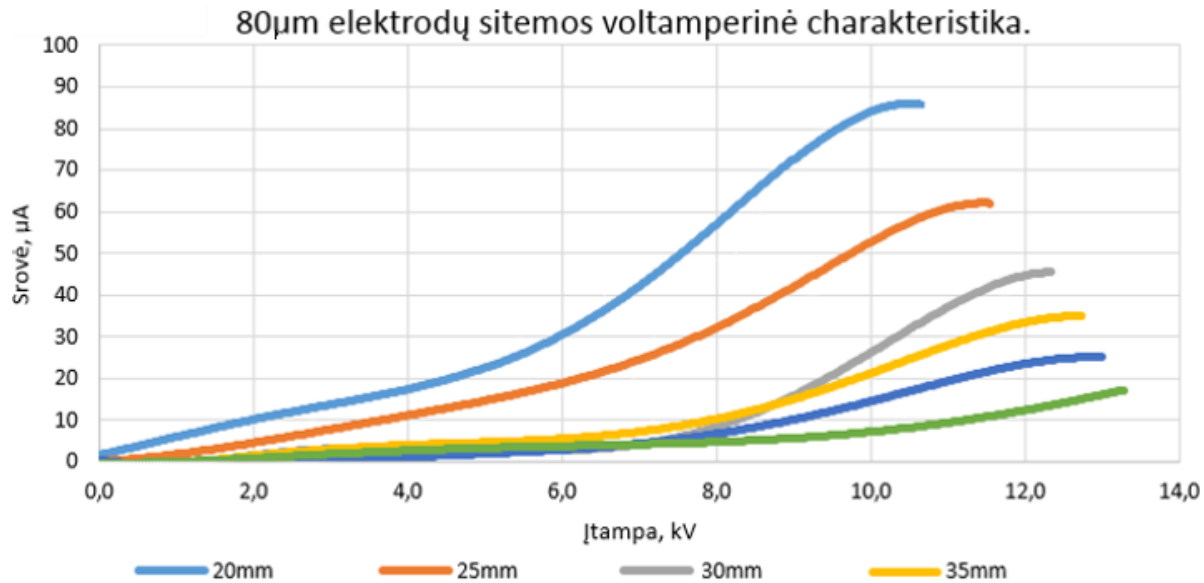
Atlikto eksperimento rezultatai geriausiai atspindimi voltamperiniuose grafikuose kurie pateikiami žemiau (3.1; 3.2; 3.3pav.). Tiesia linija žymima voltamperinė charakteristika kuri gauta eksperimento metu.



3.1 pav. Voltamperinė, 50 μ m elektrodų sistemos charakteristika



3.2 pav. Voltamperinė, 100 μ m elektrodų sistemos charakteristika



3.3 pav. Voltamperinė, 80 μ m elektrodų sistemos charakteristika

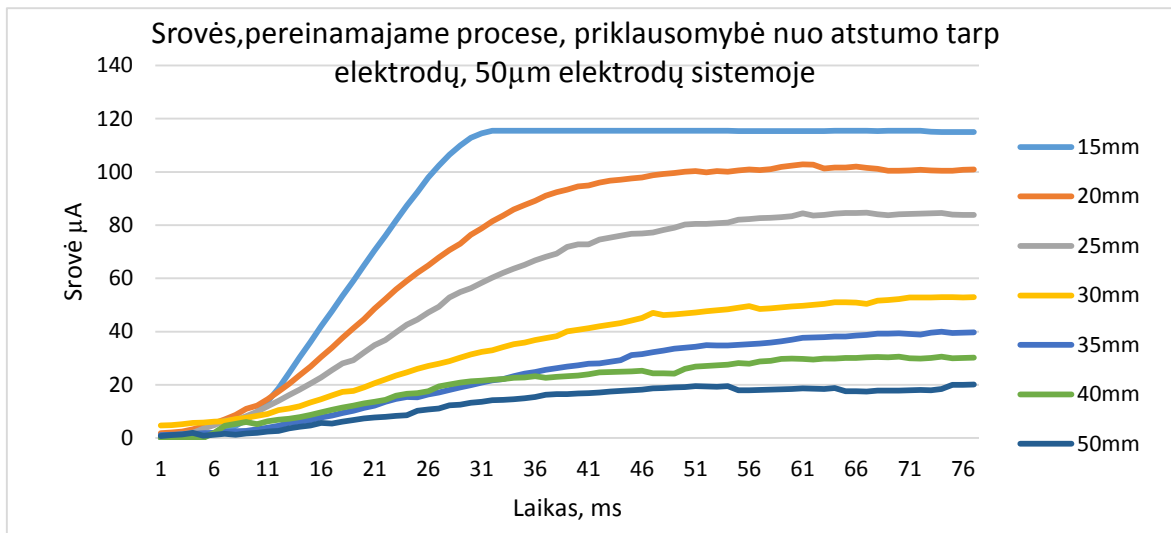
Apibendrinus duomenis gaunamus iš voltamperinių charakteristikų. Matoma, jog vyrauja neigiama priklausomybė nuo tarpo tarp elektrodų atstumo ir elektrodų diametro, bei srovės priklausomybės nuo esamos įtampos. Tai reiškia, jog didinant elektrodo diametrą ir/ar atstumą, pasiekiami maksimali srovė mažėja, o keliant įtampa didėja.

Didžiausia srovė- 115 μ A pasiekiami esant 50 μ m elektrodo diametru ir 15mm tarpui tarp elektrodų. Tačiau šitokiu tarpu tarp elektrodų įvyksta išlydis. Tad lyginama visų trijų elektrodų sistemų voltamperines charakteristikas esant 20mm ir didesniai atstumui tarp elektrodų, aukščiausia srovė pasiekiami naudojant ploniausią 50 μ m diametro elektrodų sistemą. Ji siekia 105 μ A esant 20mm atstumui tarp elektrodų, kai tuo tarpu 80 μ m ir 100 μ m sistemos su tokiu pat tarpu tarp elektrodų pasiekė 88 ir 78 μ A. Didinant atstumą tarp elektrodų, srovė atitinkamai mažėja.

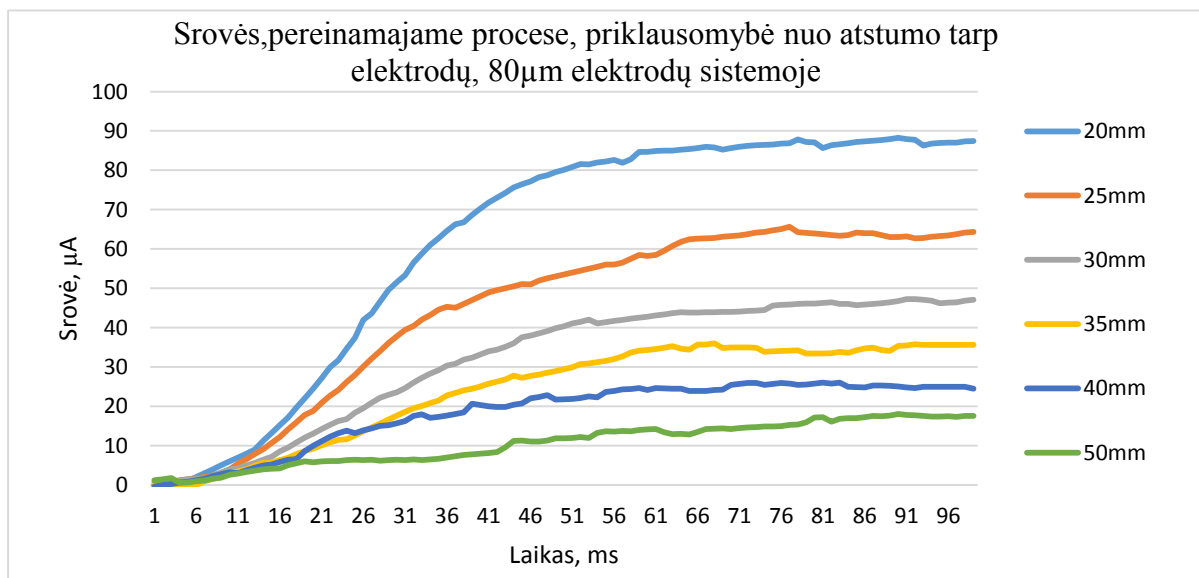
Didinant atstumą tarp elektrodų, maitinimo šaltinis pasiekia vis didesnę įtampą. Šitas reiškinys stebimas dėl padidėjančios atstojamosios varžos tarp elektrodų sistemos. Tad kuo mažiau apkraunamas šaltinis, tuo pasiekiami įtampa didesnė.

3.4. Srovės priklausomybė nuo elektrodų parametrų laiko atžvilgiu

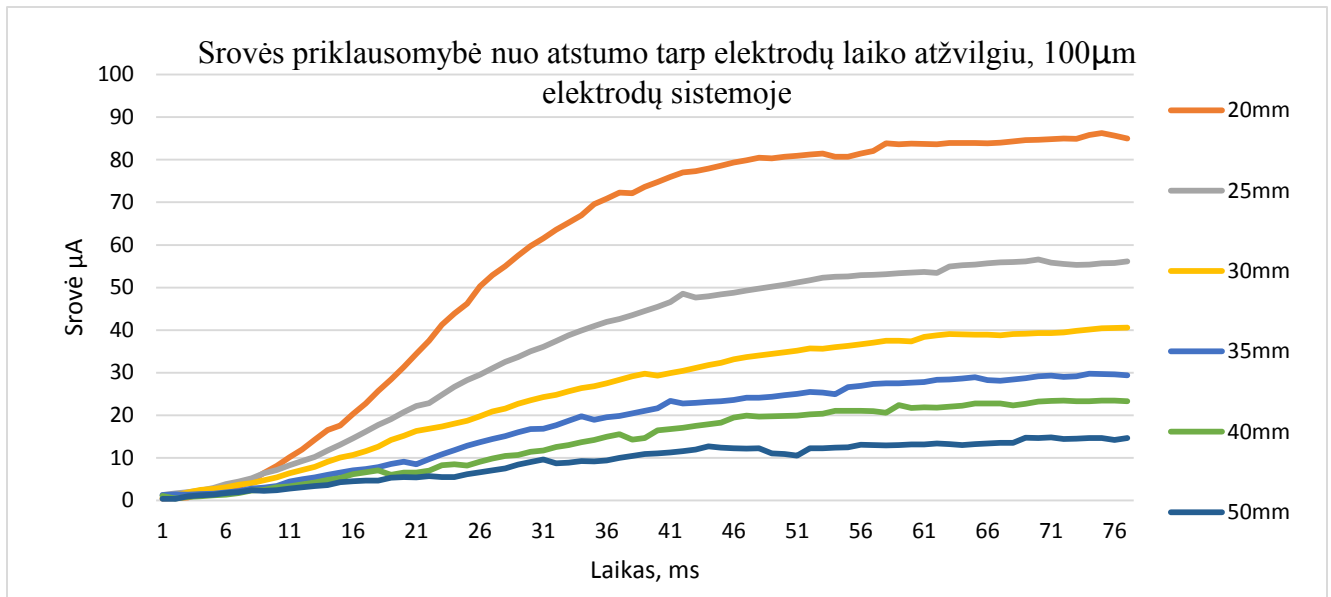
Siekiant geriau suprasti pereinamąjį procesą sukuriama grafikas, kuriame vaizduojama srovės priklausomybė nuo elektrodų atstumo ir diametro laiko atžvilgiu (žr. 3.4, 3.5, 3.6 pav.).



3.4 pav. Srovės, pereinamajame procese, priklausomybė nuo atstumo tarp elektrodų, 50µm elektrodų sistemoje



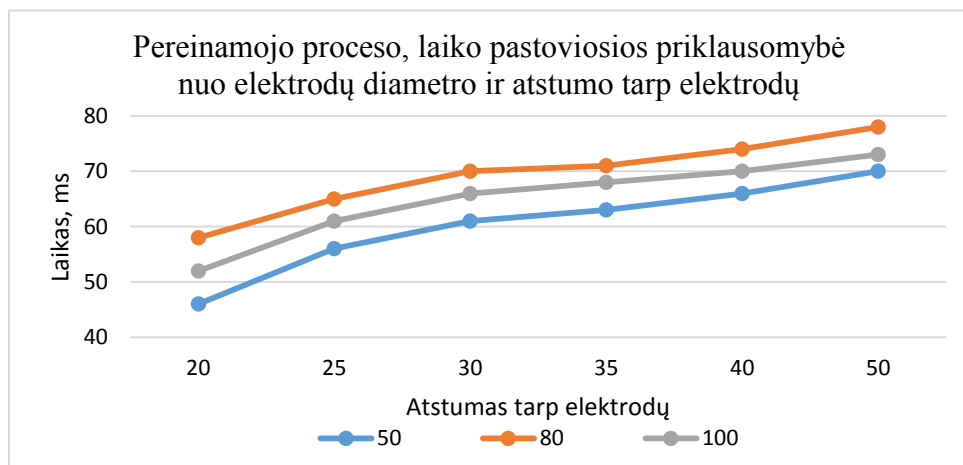
3.5 pav. Srovės, pereinamajame procese, priklausomybė nuo atstumo tarp elektrodų, 80µm elektrodų sistemoje



3.6 pav. Srovės priklausomybė nuo atstumo tarp elektrodų, 50μm elektrodų sistemoje

Žvelgiant į 3.4, .3.5, 3.6 pav. daromos išvados, jog didėjant atstumui tarp elektrodų, laiko pastovioji pereinamajam procese taipogi didėja. Tačiau elektrodų diametro poveikis, iš atliktų bandymų išlieka neaiškus. Nes laiko pastovioji 100μm elektrodo diametrai yra didesnė nei 50μm diametrai, bet mažesnė už 80μm diametro, elektrodų sistemos, laiko pastoviąją.

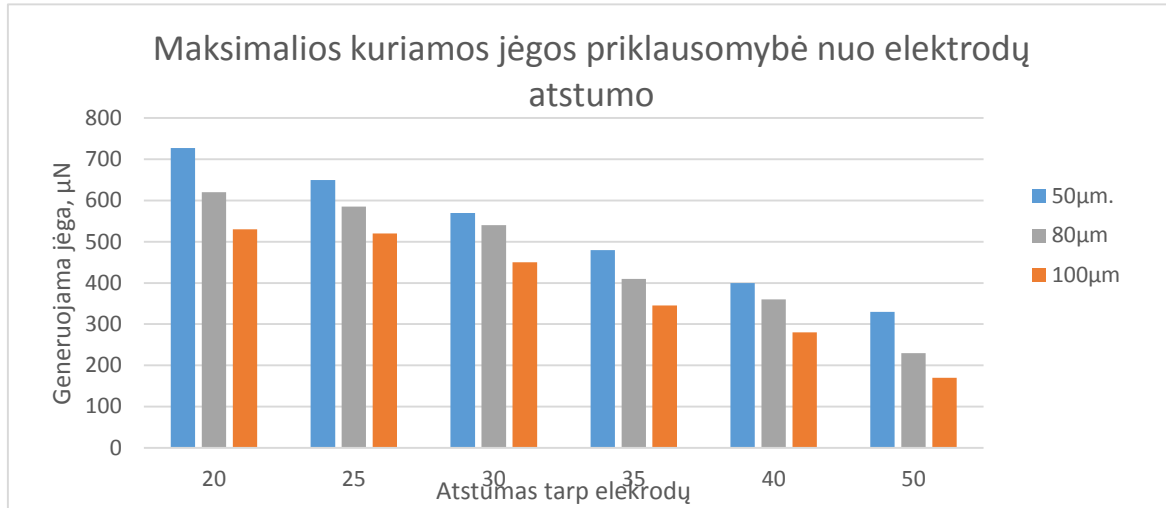
Mažiausia laiko pastovioji pasiekama esant 15mm tarpui tarp elektrodų, ji siekia apie 45ms. O didinat atstumą laiko pastovioji taip pat didėja. Laiko pastoviųjų priklausomybė nuo elektrodo diametro ir atstumo, matyti iš 3.4, 3.5, 3.6 sudarytu, 3.7 grafiku.



3.7 pav. Pereinamojo proceso, laiko pastoviosios priklausomybė nuo elektrodų diametro ir atstumo tarp elektrodų

3.5. Generuojama mechaninė jėga

Siekiant iširti generuojamos fizikinės jėgos priklausomybę nuo elektrodo diametro ir atstumo tarp elektrodų vertinami duomenys, iš švytuoklės atsilenkimo kampo. Remiantis formule 2.9 sudarytas grafikas, kuris pateikiamas 3.8pav.



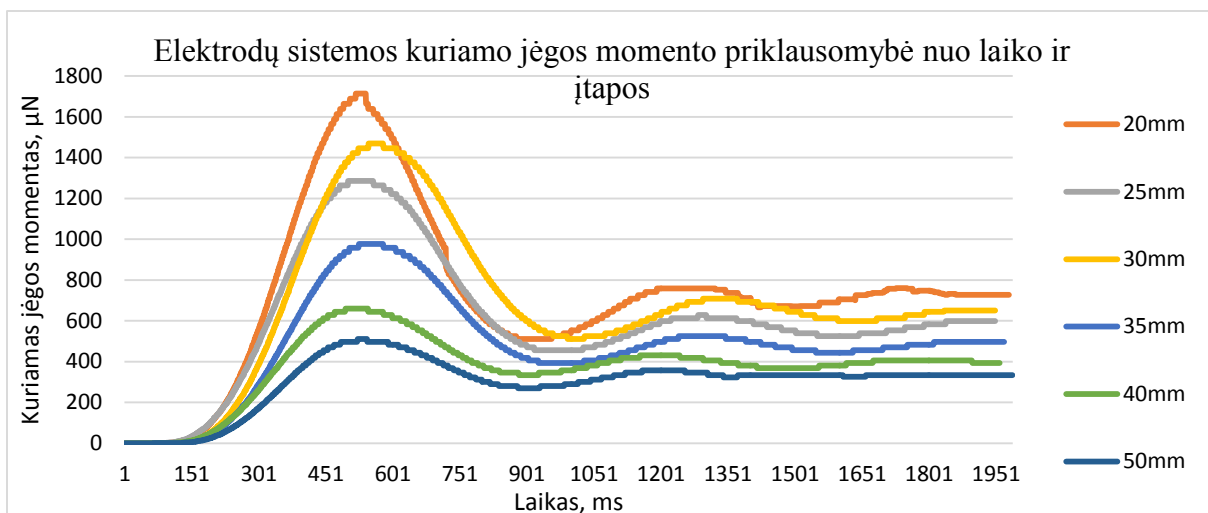
3.8 pav. Maksimalios kuriamos jėgos priklausomybė nuo elektrodų atstumo bei diametro

Atlikus gautų duomenų analizę, matoma(3.8pav), jog generuojama jėga atvirkščiai proporcinga elektrodo diametru ir atstumo tarp elektrodų, tol kol nepasiekiamą pramušimo riba. Kuri šuo atveju yra 15mm atstumas tarp elektrodų. Nustatyta maksimali generuojama jėga lygi $727\mu\text{N}$, kai sistemos elektrinė galia siekia 1W.

Įvykus išlydžiui generuojama jėga praktiškai lygi nuliui. Tai paaiškinama tuo, jog išlydžio vietoje visa srovė teka koncentruotu plazmos lauku, kurio varža, lyginant su elektrodų sistema, kur kas mažesnė. Tokiu atveju nebejonizuojamas oras elektrodų tarpėje, dėl nesusidarančio koronos išlydžio.

Atliekant eksperimentus pastebėta, jog generuojama jėga, t.y. oro srauto tekėjimas tarp elektrodų, pereinamojo proceso metu, atsilieka nuo srovės tekėjimo ir įtampos atsiradimo. Tai vaizdžiai matoma 3.9 pav. grafike. Kuriame pateikiamas pavyzdys iš 50um storio elektrodų sistemos ir matyti, jog vėjo atsiradimas vėluoja nuo ~120 iki 200ms. Nulinio laiko momentu įtampa įjungiamą, o srovė pradeda tekėti po keliasdešimties ms, remiantis prieš tai negrynėtomis charakteristikomis.

Šitą reiškinį reikėtų iširti detaliau, tolimesniuose darbuose. Nes neaišku kokia dalis šito inertiškumo priklauso nuo švytuoklės fizikinės savybės ir kokia dalis išties priklauso sistemos jonizacijos inertiškumui.

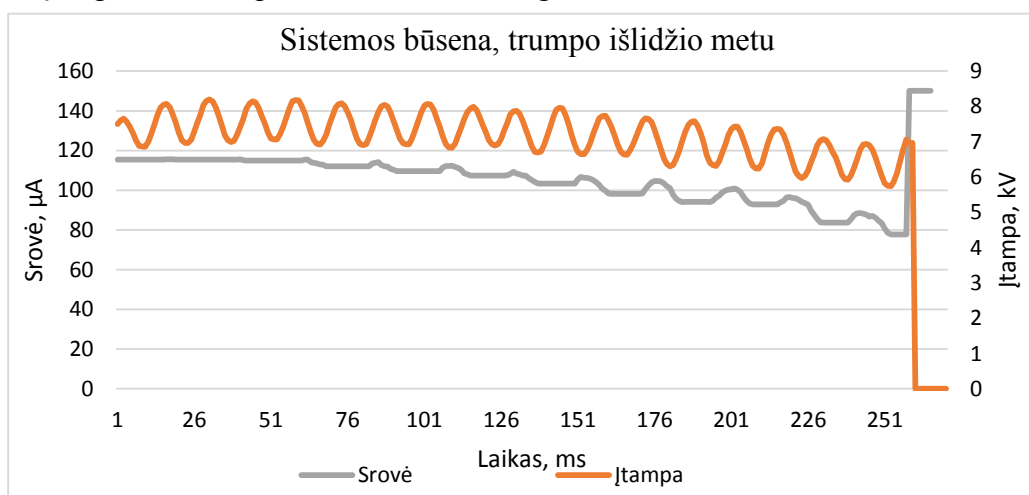


3.9 pav. Elektrodo sistemos kuriamo jėgos ir švytuoklės atsilenkimo priklausomybė nuo laiko ir įtampos, 50um elektrodo sistemoje

3.6. Sistemos būseną pramušimo metu

Eksperimentų eigoje pavyko patyrinėti netik jonizacijos pereinamąjį procesą, bet ir netyčia gauta srovės ir įtampos priklausomybė laiko atžvilgiu prieš įvykstant išlydžiui. Duomenys pateikiami 49 pav. grafike.

Išlydžio būseną pasiekta esant 50um elektrodo diametru ir 15mm tarpui tarp elektrodo. Ir kaip matyti srovės grafike, prieš išlydį matomi srovės bangavimai. Šitokia sistemos būseną aiškinama, kaip plazmos formavimusi. Kai plazmos išlydžiai atsiranda bet vėl nutrūksta. O ties 280ms riba įvyksta stiprus išlydis ir esama įranga neatlaiko perkrovos, tad srovės grafikas nusileidžia iki nulio.



3.10 pav. Srovės ir įtampos priklausomybė laiko atžvilgiu, išlydžio pereinamoju metu

4. IŠVADOS IR REZULTATAI

- 1) Išnagrinėta joninio vėjo susidarymo priežastys bei esamos elektrodų sistemos konstrukcijos ir savybės. Sukurta prototipinė elektrodų sistema, eksperimentams atlikti. Ištirta keletas aukštos įtampos maitinimo šaltinių, taip parenkant tinkamiausia, stendo elektrodų sistemos maitinimui.
- 2) Pritaikius momentų teoremą ir fizinės švytuoklės aprašymo lygtis, išvesta lygtis joninio vėjo elektrodų sistemos, generuojamai jėgai apskaičiuoti.
- 3) Parinkus matavimo prietaisus, surinkta elektrinė ir mechaninė stendo dalys, bei parašytas algoritmas, mikrovaldiklio duomenų nuskaitymui, siuntimui ir priėmimui, Keil uVision4 ir Visual Studio programiniais paketais.
- 4) Atlikus bandymus ir apdorojus duomenis. Ištirtas sistemos pereinamasis procesas, nustatytos laiko pastoviosios, skirtingoms elektrodų konfigūracijoms. Pastebėta, jog laiko pastovioji priklauso tik nuo atstumo tarp elektrodų. Gauta mažiausia laiko pastovioji- 35ms. Naudojant 50 μ m diametro elektrodų sistemą ir 15mm tarpą tarp elektrodų.
- 5) Apskaičiuota maksimali generuojama oro srauto jėga, kuri yra 727 μ N esant 1W galiai. Nustatyta, jog generuojama jėga priklauso nuo atstumo tarp elektrodų ir jų diametro. Rezultatai gauti naudojant elektrodų sistemą, kuri sudaryta iš 50 μ m diametro elektrodo ir 20mm tarpu.

5. LITERATŪROS SĄRAŠAS

- 1) CARROLL, B, Inductjon of Waves on a Horizontal Water Film by an Impinging Corona Wind [interaktyvus]. 2015-05-13. Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4815167>
- 2) KITAKANANE, P. An Experimental Analysis of Ionic Wind Velocity Characteristics in a Needle-Plate Electrode System by Means of Laser-Induced Phosphorescence.and Electronic Engineering, Tokai University, 1117 259-1292, JAPAN [interaktyvus]. 2015-05-01. Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4451475>
- 3) DEANNY, A. L., Corona Discharges in Atmospheric Air Between a Wire and Two Plates Philippe Bérard, (Koronos išlydis atmosferiniame slygyje, naudojama sistema laidas-plokštė.) [interaktyvus]. 2015-05-05. Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5991972>
- 4) STAMPS, V. Movement of Air in the Electric Wind the Corona Discharge [interaktyvus]. 2015-05-13. Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6373091>
- 5) TIRUMALA, R. Corona discharges in sub-millimeter electrode gaps. [interaktyvus].. Aerospace and Mechanical Engineering, University of Notre Dame, Notre Dame, IN 46556, USA. Prieiga internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438861000135X>
- 6) RAKSTIN. T, and David B. Go Multi-electrode Assisted Corona Discharge for Electrohydrodynamic Flow Generatjon in Narrow Channels. University of Notre Dame, Department of Aerospace and Mechanical Engineering, Notre Dame, IN 46556, USA. [interaktyvus]. 2015-05-03. Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6118623>
- 7) PAPAI, J. An EHD Gas Pump Utilizing a Ring/Needle Electrode [interaktyvus]. 2015-05-04. Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4815163>
- 8) LYONS, M. THE EFFECTS OF COLLECTOR SURFACE AREA WITH ELECTROSTATIC FLOWS RESULTING FROM MULTIPLE CORONA DISCHARGES North Carolina State University Department of Mechanical and Aerospace Engineering P.O. Box 7910, NCSU Campus Raleigh, NC 27695-7910. 2015-05-13. Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5386274>
- 9) LABERTI, A. E. Moreau Parametric Study of Surface Corona Discharge Along an Insulating Flat Plate in Atmospheric Pressure, UMR 6609 CNRS, Universite de Poitiers, France

[interaktyvus]. 2015-05-03. Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1560727>

10) KITAHARA, Y. An analysis of the Brown–Biefeld effect. Shenkar College of Engineering and Design, Electrical Engineering 2015-05-13. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304388611001367>

11) MALABRY, C. Measurements and simulations of the jonic wind produced by a DC corona discharge between cylindrical wires Laboratoire EM2C, CNRS UPR 288, École Centrale Paris, Grande Voie des Vignes, 92290 [interaktyvus]. 2015-05-04. Prieiga per internetą: ftp://77.47.129.53/pub/konfer/2007/XVIII_ICPIG/ICPIG2007/pdf/3P10-76.pdf

12) RICKARD, D. Maximizing ion-driven gas flows. Imperial College, London, SW7 2AZ, UK [interaktyvus] 2015-05-12 prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304388605001993>

13) TOUCHARD G. Enhancing the mechanical efficiency of electric wind in corona discharges [interaktyvus], MOREAU Eric,. Laboratoire d'Études Aérodynamiques, University of Poitiers-CNRS, Téléport 2, BP 30179, 86962 Futuroscope Chasseneuil, France. 2015-05-13. Prieiga per internetą <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304388607000939>

14) VASILIAUSKAS, K. Medžiagų atsparumas, Vilnius : Valsybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla, 1959. 638 p, 3 skyrius, 85psl. KTU Centrinė b-ka (TD45341)

15) SHINJUKU, J. Electrostatic micro-ozone fan that utilizes ionic wind induced in pin-to-plate corona discharge system. Department of Mechanical Engineering, Waseda University, 3-4-1, Japan [interaktyvus] 2015-05-14. Internetinė prieiga: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304388608000545>

16) SHINJUKU, J. Electrostatic micro-ozone fan that utilizes ionic wind induced in pin-to-plate corona discharge system. Department of Mechanical Engineering, Waseda University, 3-4-1, Japan [interaktyvus] 2015-05-14. Internetinė prieiga: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304388608000545>

17) Effect of low concentrations of ozone on inhaled allergen responses in asthmatic subjects. N.A. Molfino. Department of Medicine, University of Toronto Ottawa, Ontario, Canada. [interaktyvus] 2015-05-15. Internetinė prieiga: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/014067369190346Q>

18) SEAUNG J. The study of the ionic wind blower with multi-needles/ring type electrodes disposed on inner wall of the cylindrical blower. Department of Electrical Engineering, Kyungpook

National University, 80 Daehakro, Bukgu, Daegu 41566, Republic of Korea. [interaktyvus] Internetinė prieiga: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304388615300498>

19) MOREAU, G. A Parametric Study of Surface Corona Discharge Along an Insulating Flat Plate in Atmospheric Pressure [interaktyvus]. 2015-05-15. Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1560727>

20) POVELIS, K. FIZINĖS SVYRUOKLĖS SVYRAVIMŲ TYRIMAS [interaktyvus]. 2015-05-13. Prieiga per internetą: <http://www.fizika.ktu.lt/melbpdf/Fazines%20svyruokles%20svyravimu%20tyrimas.pdf>

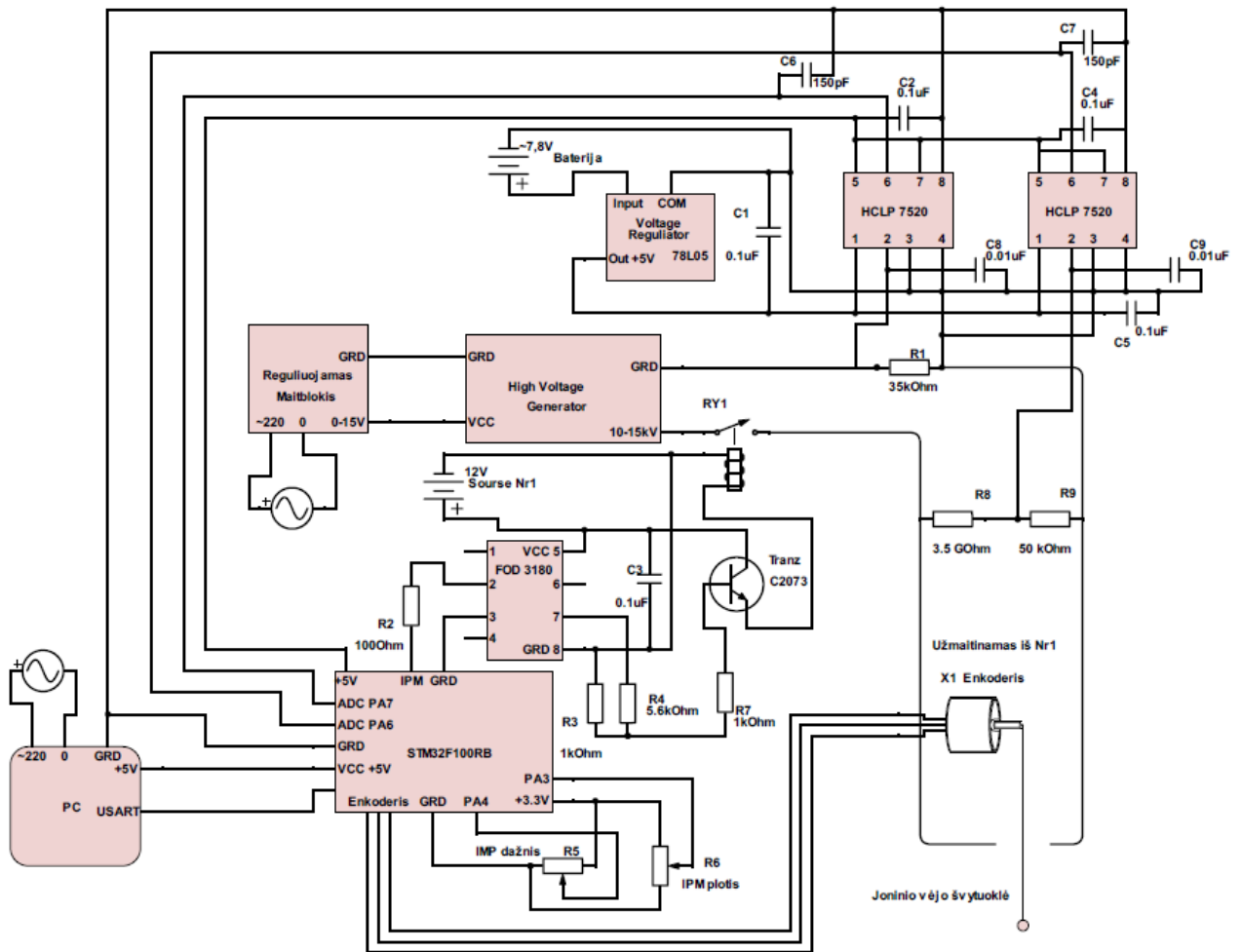
21) RINKEVIČIUS, V. „Elektra ir magnetizmas“ 1938-2001. GYČYS, Kaunas : Technologija, 2013, ISBN: 9986196469, 151psl.

22) STEVENS, G. Ignition Coil High Voltage Display. [interaktyvus] 2015.06.17. Prieiga internete: <http://www.instructables.com/id/Ignition-Coil-High-Voltage-Display/>

23) МИРЗАБЕКЯП, П. „Электрические поля в установках с коронным разрядом“. 1984. Москва.

6. PRIEDAI

Stendo elektrinė schema



HCPL 7520 pagrindinės charakteristikos

Electrical Specifications (DC)

Unless otherwise noted, all typicals and figures are at the nominal operation conditions of $V_{IN+} = 0\text{ V}$, $V_{IN-} = 0\text{ V}$, $V_{REF} = 4.0\text{ V}$, $V_{DD1} = V_{DD2} = 5.0\text{ V}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$; all Minimum/Maximum specifications are within the Recommended Operating Conditions.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note
Input Offset Voltage	V_{OS}	-6	-1	6	mV	$V_{IN+} = 0\text{ V}$	6	1
Magnitude of Input Offset Change vs. Temperature	$\Delta V_{OS}/\Delta T$		8	20	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		7	
Gain	G	$V_{REF}/0.512$ - 5%		$V_{REF}/0.512$ + 5%	V/V	$-0.2\text{ V} < V_{IN+} < 0.2\text{ V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$	8	2
Magnitude of Gain Change vs. Temperature	$\Delta G/\Delta T$		60	300	ppm/ $^\circ\text{C}$	$-0.2\text{ V} < V_{IN+} < 0.2\text{ V}$	9	
V_{OUT} 200 mV Nonlinearity	NL_{200}		0.06	0.55	%	$-0.2\text{ V} < V_{IN+} < 0.2\text{ V}$	10	3,4
Magnitude of V_{OUT} 200 mV Nonlinearity Change vs. Temperature	$ dNL_{200}/dT $		0.0004		%/ $^\circ\text{C}$	$-0.2\text{ V} < V_{IN+} < 0.2\text{ V}$	11	
V_{OUT} 100 mV Nonlinearity	NL_{100}		0.04	0.4	%	$-0.1\text{ V} < V_{IN+} < 0.1\text{ V}$		3,5
Input Supply Current	I_{DD1}		11.7	16	mA		1,2,3	
Output Supply Current	I_{DD2}		9.9	16	mA		1,2,3	
Reference Voltage Input Current	I_{REF}		0.26	1	mA			
Input Current	I_{IN+}		-0.6	5	μA	$V_{IN+} = 0\text{ V}$	4	
Magnitude of Input Bias Current vs. Temperature Coefficient	$ dI_{IN+}/dT $		0.45		nA/ $^\circ\text{C}$			
Maximum Input Voltage before V_{OUT} Clipping	$ V_{IN+} _{MAX}$		256		mV		5	
Equivalent Input Impedance	R_{IN}		700		k Ω			
V_{OUT} Output Impedance	R_{OUT}		15		Ω			
Input DC Common-Mode Rejection Ratio	$CMRR_{IN}$		63		dB			7

STM Mikrovaldiklio programos kodas

```

/*****
*****
*/
/* This file is part of the uVision/ARM development tools.          */
/* Copyright (c) 2010 Keil Software. All rights reserved.          */
/* This software may only be used under the terms of a valid, current, */
/*                               */
/* end user licence from KEIL for a compatible version of KEIL software */
/*                               */
/* development tools. Nothing else gives you the right to use this software. */
/*                               */
/*****
*****
*/
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#include <RTL.h>
#include "stm32f10x.h"
#include "usb_core.h"
#include "usb_init.h"
#include "stm32f10x_rcc.h"
#include "stm32f10x_gpio.h"
#include "misc.h"
#include "antilib_gpio.h"
"..\\.\\.\\.\\RL\\USB\\Config\\usb_config.c"
<\\.\\.\\.\\RL\\USB\\Drivers\\usbh_stm32f10x.h>

#define LED_BLUE_GPIO      GPIOC // LED nenaudoju, kazkur
                             pjaunasi su GPIOC
#define LED_BLUE_PIN      8 // pajunkta rele
#define LED_RED_PIN       6

#define SW_USER_GPIO       GPIOC
#define SW_USER_PIN1      12 //1pb
#define SW_USER_PIN2      11 //2pb
#define SW_USER_PIN3     10 //3pb
#define USART_RX_GPIO     GPIOA //original GPIOA
#define USART_RX_PIN      10
#define USART_TX_GPIO     GPIOA
#define USART_TX_PIN       9
#define TIMER_EVERY_US    100u
#define TICKS_1MS         (1000u /
TIMER_EVERY_US)
(TICKS_1MS * 1000u)
#define LED_BLINK_200MS   200000u
#define USART_SEND_15MS   500u// in microseconds
#define PWM_20MS// in microseconds
#define PWM_40MS 40000u // in microseconds
#define PWM_1MS 1000u// in microseconds
#define LED_BLINK_RATE ((LED_BLINK_200MS *
TICKS_1MS)/1000u) // Skaitiklis skirtas 200ms ciklams
#define USART_SEND_RATE ((USART_SEND_15MS *
TICKS_1MS)/3000u) // Skaitiklis skirtas 100ms ciklams
#define PWM_20MS_RATE ((PWM_20MS *
TICKS_1MS)/1000u)
// Skaitiklis skirtas 20ms ciklams
#define PWM_40MS_RATE ((PWM_40MS *
TICKS_1MS)/1000u)
// Skaitiklis skirtas 40ms ciklams
#define PWM_1MS_RATE ((PWM_1MS *
TICKS_1MS)/1000u)// Skaitiklis skirtas 100us ciklams
#define LED_NUM 2 // Number of user LEDs
#define USER1 0x0001 /* PA0 : USER1
#define UNBOUNCE_CNT 10 /* unbounce the Push Button
*/

#define GPIO_CNF_INPUT_ANALOG 0
#define GPIO_CNF_INPUT_FLOATING 1
#define GPIO_CNF_INPUT_PULLUPDOWN 2

#define GPIO_CNF_OUTPUT_PUSHPULL 0
#define GPIO_CNF_OUTPUT_OPENDRAIN 1
#define GPIO_CNF_AFIO_PUSHPULL 2

#define GPIO_CNF_AFIO_OPENDRAIN3
#define GPIO_MODE_INPUT 0
#define GPIO_MODE_OUTPUT10MHz1
#define GPIO_MODE_OUTPUT2MHz2
#define GPIO_MODE_OUTPUT50MHz3

#define GPIOCONF(mode, cnf) ((cnf << 2) | (mode))
#define GPIOPINCONFL(pin, conf) (conf << (pin * 4))
#define GPIOPINCONFH(pin, conf) (conf << ((pin - 8)
#define CONFMASKL(pin) ((u32)~(15 << (pin * 4)))
#define CONFMASKH(pin) ((u32)~(15 << ((pin - 8) 4)))#define
SAMPLE_TIME_1_50
#define SAMPLE_TIME_7_5 1
#define SAMPLE_TIME_13_5 2
#define SAMPLE_TIME_28_5 3
#define SAMPLE_TIME_41_5 4
#define SAMPLE_TIME_55_5 5
#define SAMPLE_TIME_71_5 6
#define SAMPLE_TIME_239_57

#define ADC_SAMPLE_TIME0(x) (x << 0)
#define ADC_SAMPLE_TIME1(x) (x << 3)
#define ADC_SAMPLE_TIME2(x) (x << 6)
#define ADC_SAMPLE_TIME3(x) (x << 9)
#define ADC_SAMPLE_TIME4(x) (x << 12)
#define ADC_SAMPLE_TIME5(x)(x << 15)
#define ADC_SAMPLE_TIME6(x)(x << 18)
#define ADC_SAMPLE_TIME7(x)(x << 21)
#define ADC_SAMPLE_TIME8(x)(x << 24)
#define ADC_SAMPLE_TIME9(x)(x << 27)
#define ADC_SAMPLE_TIME10(x)(x << 0)
#define ADC_SAMPLE_TIME11(x)(x << 3)
#define ADC_SAMPLE_TIME12(x)(x << 6)
#define ADC_SAMPLE_TIME13(x)(x << 9)
#define ADC_SAMPLE_TIME14(x)(x << 12)
#define ADC_SAMPLE_TIME15(x)(x << 15)
#define ADC_SAMPLE_TIME16(x)(x << 18)
#define ADC_SAMPLE_TIME17(x)(x << 21)

#define ADC_SEQUENCE_LENGTH(x) (x << 20)

// SQR3
#define ADC_SEQ1(x) (x << 0)
#define ADC_SEQ2(x) (x << 5)
#define ADC_SEQ3(x) (x << 10)
#define ADC_SEQ4(x) (x << 15)
#define ADC_SEQ5(x) (x << 20)
#define ADC_SEQ6(x) (x << 25)
// SQR2
#define ADC_SEQ7(x) (x << 0)
#define ADC_SEQ8(x) (x << 5)
#define ADC_SEQ9(x) (x << 10)
#define ADC_SEQ10(x) (x << 15)
#define ADC_SEQ11(x) (x << 20)
#define ADC_SEQ12(x) (x << 25)
// SQR1
#define ADC_SEQ13(x) (x << 0)
#define ADC_SEQ14(x) (x << 5)
#define ADC_SEQ15(x) (x << 10)
#define ADC_SEQ16(x) (x << 15)

//#define AIN0_GPIO GPIOA
//#define AIN0_PIN 0
//#define AIN1_PIN 1

uint32_t ledVal = 1;
uint32_t ledOn = 0;
uint8_t ledBlink = 0;
//uint8_t m_triggerUSART = 0;

```

```
//uint8_t text [] = "STM32VLDISCOVERY
tutorial\rhttp://en.radzio.dxp.pl/stm32vldiscovery/\n\r\n\r";
//uint8_t text_new_line [] = "\n\r";
volatile static char text_buffer [50];
volatile static uint32_t ADC_PA2_value;
volatile static uint32_t ADC_PA1_value;
volatile static uint32_t ADC_PA3_value;
//uint8_t kelintas;
volatile uint8_t buffer[64];
volatile uint8_t buffer_length;
volatile uint8_t send_data_dirty = 0;
volatile uint32_t temp32 = 0; //tarpinis kintamasis duomeniu siuntimui
```

```
volatile static uint32_t tick_intervals_diferent;
volatile static uint32_t tick_intervals_100us;
volatile static uint32_t tick_intervals_1ms;
volatile static uint32_t tick_counter;
volatile static uint32_t tick_intervals_count;
volatile static uint32_t m_ticks_for_LED;
volatile static int32_t m_ticks_for_USART;
//volatile static uint32_t m_ticks_for_20ms;
volatile static uint32_t m_ticks_for_20ms;
volatile static uint32_t m_ticks_for_obs;
//volatile static uint32_t m_ticks_for_1ms;
```

```
volatile vu16 AIN[5]; // table for conversions results
volatile vu16 ADC1Cache[ADC_CHANNELS_SIZE];
volatile vu16 ADC2Cache[ADC_CHANNELS_SIZE];
volatile vu16 ADC3Cache[ADC_CHANNELS_SIZE];
volatile vu16 ADC4Cache[ADC_CHANNELS_SIZE];
volatile vu16 ADC5Cache[ADC_CHANNELS_SIZE];
volatile uint8_t NTCHeatCache[ADC_CHANNELS_SIZE];
volatile uint8_t ADCTicksCache[ADC_CHANNELS_SIZE];
```

```
volatile uint8_t ADCCacheIndex = 0;
volatile uint8_t m_ACMotorOn = 0;
volatile uint8_t m_ACMotorBtn = 0;
volatile uint8_t m_is24V_set = 0;
volatile uint8_t m_24V_set = 0;
volatile uint8_t m_processingSysTick = 0;
volatile vu16 ADC1_value = 0;
volatile vu16 ADC2_value = 0;
volatile vu16 ADC3_value = 0;
volatile vu16 ADC4_value = 0;
volatile vu16 ADC5_value = 0;
volatile vu16 ADC1_value_0toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC1_value_1toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC1_value_2toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC1_value_3toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC1_value_4toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC1_value_5toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC1_value_6toprev = 0xFFFF;
```

```
volatile vu16 ADC2_value_0toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC2_value_1toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC2_value_2toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC2_value_3toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC2_value_4toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC2_value_5toprev = 0xFFFF;
volatile vu16 ADC2_value_6toprev = 0xFFFF;
```

```
volatile static uint32_t m_skipped_ticks = 0;
volatile static uint8_t ntcHeatOn = 0;
volatile static uint8_t m_packet_No = 0;
volatile static int32_t Tiks_Mark = 0;
```

```
volatile uint8_t m_NTC24VState = 0;
volatile uint8_t m_FanPercents = 0; // the load of fan in percents
volatile uint16_t m_FanPercentsOn = 0;
```

```
volatile uint16_t m_FanPercentsOff = 50;
volatile uint16_t m_FanPeriodsOnCount = 0;
volatile uint16_t m_FanPeriodsOffCount = 0;
volatile uint8_t m_FanPeriods40msCount = 0;
volatile uint8_t turnMotor_on = 0;
volatile uint32_t inc_on = 0;
volatile uint32_t inc_off = 0;
volatile uint32_t inc_on2 = 0;
volatile uint32_t inc_off2 = 0;
volatile uint8_t too_fast = 0;
```

```
volatile uint32_t p_posA=0;
volatile uint32_t p_posB=0;
volatile uint32_t p_posZ=0;
volatile uint8_t reg1=0;
volatile uint32_t Buvp_posA=0;
volatile uint32_t Buvp_posB=0;
volatile uint32_t Buvp_posZ=0;
volatile int8_t dir=0;
neig_kamp=0;
volatile int32_t kampasA=0, kampasB=0;
```

```
uint8_t USART_SendBytes(void)
```

```
{
    uint32_t i = 0, j = 0; //, k = 0, k_count = 0;
    j = ADCCacheIndex;
    if(j==0)
        j = ADC_CHANNELS_SIZE - 1;
    else
        j--;

    if(m_packet_No==0)
    {
        LED_BLUE_GPIO->BSRR = (1 << LED_RED_PIN); //set bit
        buffer_length = 11;
        buffer[0] = 0xFE;
        buffer[1] = 0xFD;
        buffer[2] = kampasA & 0xFF;
        buffer[3] = (kampasA >> 8) & 0xFF;
        buffer[4] = (kampasA >> 16) & 0xFF;
        buffer[5] = (kampasA >> 24) & 0xFF;
        buffer[6]=0xC4;
        buffer[7] = tick_counter & 0xFF;
        buffer[8] = ( tick_counter >> 8) & 0xFF;
        buffer[9] = ( tick_counter >> 16) & 0xFF;
        buffer[10] = ( tick_counter >> 24) & 0xFF;
        //LED_BLUE_GPIO->BRR = (1 <<
        LED_RED_PIN); //rset bit
        if( m_packet_No==1 )
        {
            // LED_BLUE_GPIO->BRR = (1 << LED_RED_PIN); //rset bit
            buffer_length = 11;
            buffer[0]=0xC9;
            buffer[1] = ADC1_value & 0xFF; //ADC_PA1_value
            buffer[2] = (ADC1_value >> 8) & 0xFF;
            buffer[3] = (ADC1_value >> 16) & 0xFF;
            buffer[4] = (ADC1_value >> 24) & 0xFF;
            //buffer[5]=0xC8; // nebera
            buffer[5]=0xC3;
            buffer[6] = (ADC2_value) & 0xFF; //ADC_PA2_value
            buffer[7] = (ADC2_value >> 8) & 0xFF;
            buffer[8] = (ADC2_value >> 16) & 0xFF;
            buffer[9] = (ADC2_value >> 24) & 0xFF;
            buffer[10]=0xC7;
        }
        //LED_BLUE_GPIO->BSRR = (1 << LED_BLUE_PIN);
        //}

        if(m_packet_No==3)
        {
            buffer_length = 6;

```

```

buffer[0]=0xC3;
buffer[1] = (ADC2_value) & 0xFF; //ADC_PA2_value
buffer[2] = (ADC2_value >> 8) & 0xFF;
buffer[3] = (ADC2_value >> 16) & 0xFF;
buffer[4] = (ADC2_value >> 24) & 0xFF;
buffer[5]=0xC7;
}
m_packet_No++;
if(m_packet_No == 2)
m_packet_No = 0;
i = 0;
while(i < buffer_length)
{
while(!(USART1->SR & USART_SR_TXE))
{
USART1->DR = buffer[i];
i++;
}
if((USART1->SR & USART_SR_RXNE) != 0)
{
__INLINE static uint32_t BTN_Get(void) // nzn ar reikia
{
return (GPIOB->IDR & 0x0001);
}
void delay_10us(void)
{uint16_t i = 0;
for(i=0;i<3;i++) // 255; 105; 18, buvo 80
{
__NOP();
}
}
void MeasureHandler(void)
{ //delay_10us();
ADC1->CR2 |= ADC_CR2_SWSTART;
if((ADC1->CR2 & ADC_CR2_SWSTART) == (uint32_t)RESET)
{
ADC1_value = AIN[0];
ADC2_value = AIN[1];
ADC3_value = AIN[2];
ADC4_value = AIN[3];
//ADC5_value = AIN[4];
ADC1Cache[ADCCacheIndex] = ADC1_value;
ADC2Cache[ADCCacheIndex] = ADC2_value;
ADC3Cache[ADCCacheIndex] = ADC3_value;
ADC4Cache[ADCCacheIndex] = ADC4_value;
ADC5Cache[ADCCacheIndex] = ADC5_value;
//NTCHeatCache[ADCCacheIndex] = ntcHeatOn + (m_ACMotorOn <<
1);
ADCTicksCache[ADCCacheIndex] = m_ticks_for_obs;
m_ticks_for_obs = 0;
if(ADCCacheIndex == ADC_CHANNELS_SIZE - 1)
ADCCacheIndex = 0;
else
ADCCacheIndex++;
}
}
void SysTick_Handler(void)
{ tick_counter++;
tick_intervals_count++;
tick_intervals_100us++;
if (tick_intervals_count == 10) // 10= 1000us
{
tick_intervals_1ms++; // 1ms
tick_intervals_count= 0;
}
if (tick_intervals_100us == 5) // 10= 1000us 5= 500us
{
if(!m_processingSysTick) // This is useful for debugging purposes.
{
MeasureHandler();
m_processingSysTick = 1;
USART_SendBytes();
_processingSysTick = 0;
tick_intervals_100us = 0;
}
}
//-----PWM-----
if (tick_intervals_1ms >= (ADC3_value/10) )
{
LED_BLUE_GPIO->BSRR = (1 << LED_BLUE_PIN); // SET BIT for
PIN
if ( tick_intervals_1ms >=((ADC3_value + (ADC4_value/10 +50)
)/10) // minimum pwm ilgis 50ms
LED_BLUE_GPIO->BRR = (1 << LED_BLUE_PIN); // RESET BIT for
PIN
tick_intervals_1ms=0;
}
//-----^^^^^^^^-----PWM^^^^-----
}
void Init_Hardware(void)
{
//vu32 dly;
/*RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN |
RCC_APB2ENR_USART1EN;
// The below is for ADC
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPCEN |
RCC_APB2ENR_AFIOEN | RCC_APB2ENR_ADC1EN;*/
// The below is for better ADC
RCC->APB2ENR |=
RCC_APB2ENR_IOPAEN |
RCC_APB2ENR_IOPCEN |
RCC_APB2ENR_AFIOEN |
RCC_APB2ENR_ADC1EN |
RCC_APB2ENR_USART1EN;
RCC->AHBENR |= RCC_AHBENR_DMA1EN;
#if (USART_RX_PIN > 7)
USART_RX_GPIO->CRH = (USART_RX_GPIO-
>CRH & CONFMASKH(USART_RX_PIN)) |
GPIOPINCONFH(USART_RX_PIN,
GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT,
GPIO_CNF_INPUT_PULLUPDOWN));
#else
USART_RX_GPIO->CRL = (USART_RX_GPIO->CRL &
CONFMASKL(USART_RX_PIN)) | GPIOPINCONFL(USART_RX_PIN,
GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT,
GPIO_CNF_INPUT_PULLUPDOWN));
#endif
#if (USART_TX_PIN > 7)
USART_TX_GPIO->CRH = (USART_TX_GPIO->CRH &
CONFMASKH(USART_TX_PIN)) | GPIOPINCONFH(USART_TX_PIN,
GPIOCONF(GPIO_MODE_OUTPUT2MHz,
GPIO_CNF_AFIO_PUSHPULL));
#else
USART_TX_GPIO->CRL = (USART_TX_GPIO->CRL &
CONFMASKL(USART_TX_PIN)) | GPIOPINCONFL(USART_TX_PIN,
GPIOCONF(GPIO_MODE_OUTPUT2MHz,
GPIO_CNF_AFIO_PUSHPULL));
#endif
USART1->CR1 = USART_CR1_UE | USART_CR1_TE |
USART_CR1_RE;
USART1->BRR = (SystemCoreClock / 256000);//128000,
25600, 51200,92160
//-----LED-----
#if (LED_BLUE_PIN > 7)
LED_BLUE_GPIO->CRH = (LED_BLUE_GPIO->CRH &
CONFMASKH(LED_BLUE_PIN)) | GPIOPINCONFH(LED_BLUE_PIN,
GPIOCONF(GPIO_MODE_OUTPUT2MHz,
GPIO_CNF_OUTPUT_PUSHPULL));
#else
LED_BLUE_GPIO->CRL = (LED_BLUE_GPIO->CRL &
CONFMASKL(LED_BLUE_PIN)) | GPIOPINCONFL(LED_BLUE_PIN,

```

```

GPIOCONF(GPIO_MODE_OUTPUT2MHz,
GPIO_CNF_OUTPUT_PUSHPULL));
#endif
//-----ENKODER-----
#if (SW_USER_PIN1 > 7)
    SW_USER_GPIO->CRH = (SW_USER_GPIO->CRH &
CONFMASKH(SW_USER_PIN1)) | GPIOPINCONFH(SW_USER_PIN1,
GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT, GPIO_CNF_INPUT_FLOATING));
#else
    SW_USER_GPIO->CRL = (SW_USER_GPIO->CRH &
CONFMASKL(SW_USER_PIN1)) | GPIOPINCONFL(SW_USER_PIN1,
GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT, GPIO_CNF_INPUT_FLOATING));
#endif

//_____

#if (SW_USER_PIN2 > 7)
    SW_USER_GPIO->CRH = (SW_USER_GPIO->CRH &
CONFMASKH(SW_USER_PIN2)) | GPIOPINCONFH(SW_USER_PIN2,
GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT, GPIO_CNF_INPUT_FLOATING));
#else
    SW_USER_GPIO->CRL = (SW_USER_GPIO->CRH &
CONFMASKL(SW_USER_PIN2)) | GPIOPINCONFL(SW_USER_PIN2,
GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT, GPIO_CNF_INPUT_FLOATING));
#endif

//-----

        #if (SW_USER_PIN3 > 7)
        SW_USER_GPIO->CRH = (SW_USER_GPIO->CRH &
CONFMASKH(SW_USER_PIN3)) | GPIOPINCONFH(SW_USER_PIN3,
GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT, GPIO_CNF_INPUT_FLOATING));
        #else
        SW_USER_GPIO->CRL = (SW_USER_GPIO->CRH &
CONFMASKL(SW_USER_PIN3)) | GPIOPINCONFL(SW_USER_PIN3,
GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT, GPIO_CNF_INPUT_FLOATING));
        #endif

        GPIOA->CRL &= 0xFFFFFFF0; //Configure the GPIO for
        BTNs
        GPIOA->CRL |= 0x00000008; //Configure the GPIO for
        BTNs
//ADC
GPIOA->CRL = (GPIOA->CRL & 0xFF0000FF) |
        GPIOPINCONFL(7, GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT,
        GPIO_CNF_INPUT_ANALOG)) |
        GPIOPINCONFL(6, GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT,
        GPIO_CNF_INPUT_ANALOG)) |
        GPIOPINCONFL(3, GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT,
        GPIO_CNF_INPUT_ANALOG)) |
        GPIOPINCONFL(4, GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT,
        GPIO_CNF_INPUT_ANALOG)) |

GPIOPINCONFL(5, GPIOCONF(GPIO_MODE_INPUT,
GPIO_CNF_INPUT_ANALOG));

// Continuous ADC
ADC1->CR2 = ADC_CR2_ADON | // turn on ADC
        //ADC_CR2_CONT | // enable continuous mode
        ADC_CR2_DMA; // enable DMA mode
ADC1->CR1 = ADC_CR1_SCAN; // enable scan mode
//ADC1->SQR1 = ADC_SEQUENCE_LENGTH(1); // two channels in
sequence
ADC1->SQR1 = ADC_SEQUENCE_LENGTH(4); // five channels in
sequence
//ADC1->SQR3 = ADC_SEQ1(0)
ADC1->SQR3 = ADC_SEQ1(7) | // channel 0 is first in sequence
        ADC_SEQ2(6) | // channel 1 is second in sequence
        ADC_SEQ3(3) | // channel 2 is third in sequence
        ADC_SEQ4(4) | // channel 3 is fourth in sequence
        ADC_SEQ5(5); // channel 4 is fifth in sequence
ADC1->SMPR2 = ADC_SAMPLE_TIME0(SAMPLE_TIME_71_5) | //
SAMPLE_TIME_239_5 sample time for first channel in sequence

```

```

        ADC_SAMPLE_TIME1(SAMPLE_TIME_71_5) | // sample
time for second channel in sequence
        ADC_SAMPLE_TIME2(SAMPLE_TIME_71_5) | // sample time
for third channel in sequence
        ADC_SAMPLE_TIME3(SAMPLE_TIME_71_5) |
ADC_SAMPLE_TIME4(SAMPLE_TIME_71_5); // sample time for fourth
channel in sequence
DMA1_Channel1->CPAR = (uint32_t)&(ADC1->DR); // peripheral
(source) address
DMA1_Channel1->CMAR = (uint32_t)AIN; // memory (desination)
address
DMA1_Channel1->CNDTR = 5; // 5 transfers
DMA1_Channel1->CCR |= DMA_CCR1_CIRC | // circular mode enable
        DMA_CCR1_MINC | // memory increment mode enable
        DMA_CCR1_MSIZE_0 | // memory size 16 bits
        DMA_CCR1_PSIZE_0; // peripheral size 16 bits
DMA1_Channel1->CCR |= DMA_CCR1_EN; // Enable channel

ADC1->CR2 |= ADC_CR2_ADON; // Turn on conversion
ADC1->CR2 |= ADC_CR2_EXTSEL; // swstart
ADC1->CR2 |= ADC_CR2_EXTTRIG;
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPBEN;
}
//---MAIN-----
int main (void)
{
    uint8_t i;
    uint8_t ch;
    //uint32_t n;
    //BTN_Config();
    buffer_length = 12;
    m_ticks_for_LED = 0;
    for(i=0;i<100;i++)
    {
        delay_10us();
    }
    Init_Hardware();
    SysTick_Config(SystemCoreClock / 10000);
    //m_triggerUSART = 0;
    m_ticks_for_obs = 0;
    USART1->DR = ch;
    m_ACMotorOn = 0;
    i = 0;
    /*while(i < 64)
    {
        buffer[i] = 0;
        i++;
    }
//Duomenu pradziuos zyme
buffer[0] = 0xFE;
buffer[1] = 0xFD;
//Duomenu pabaigos zyme
buffer[63]=0xC8;
*/
    while(1)
    {
        //MeasureHandler();
        //uint32_t reg1 = (unsigned int)Buvp_posZ.read_reg(); // nezinau kam
reikalingas
        //LED_BLUE_GPIO->BSRR = (1 << LED_RED_PIN); //set bit
        if(SW_USER_GPIO->IDR & (1 << SW_USER_PIN1)) { // Z axis
            p_posZ = 0;}
        else{
            p_posZ = 1;}

            if(SW_USER_GPIO->IDR & (1 << SW_USER_PIN2)) { // A axis
                p_posA = 0;}
            else{
                p_posA = 1;}

            if(SW_USER_GPIO->IDR & (1 << SW_USER_PIN3)) { // B axis

```



```

p_posB = 0;}
else{
  p_posB = 1;}

//-----Jeigu abudu kanalai pasikeite vienu metu
//-----kompensuojamas prarastas impulsas
  too_fast=0;
  if (p_posA != Buvp_posA) {
    if (p_posB != Buvp_posB) {
      too_fast = 1;}
    }
  if( too_fast == 1)
  {
    if(dir==1)
    {
      kampasA++;
      kampasB++;
    }
    else
    {
      kampasA--;
      kampasB--;
    }
    Buvp_posA = p_posA;
    Buvp_posB = p_posB;
  }
  else {
//-----
//-----A CHANEL-----
if (p_posA!= Buvp_posA)
  {
    if(p_posA==1) //is nulio i vieneta
    { if(p_posB==0)
      { dir = 1;
      kampasA++;
      }
      else
      { dir = 0;
      kampasA--;
      }
      else // is 1 i 0
      { if(p_posB==0)
        { dir=0;
        kampasA--;
        }
          else
          { dir=1;
          kampasA++;}
        }
      Buvp_posA = p_posA;
    }
//-----B CHANAL-----
    if (p_posB!= Buvp_posB)
    {
      if(p_posB==1) // is nulio i viena
      {
        if(p_posA==1)
        { dir = 1;
        kampasB++;
        }
          else
          { dir = 0;
          kampasB--;
          }
          else //posB=0
          {
            if(p_posA==1)
            { dir = 0;

```

```

kampasB--;
    }
    else
    { dir = 1;
    kampasB++;
    }
    Buvp_posB = p_posB;
  }
//-----Z CHANEL-----
  if (p_posZ== 0)
  {
    if(dir==0)
    {
      kampasB = -1;
      kampasA = -1;
    }
    else
    {
      kampasB = 1;
      kampasA = 1;
    }
    // }
    p_posZ= 1;
  }
}
NOP();
} // last update 2016.05.10 19:00
}

```