

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Žilvinas Ermanas

BEVIELIO ENERGIJOS PERDAVIMO TYRIMAS

Magistro baigiamasis darbas

Šiauliai, 2013

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

BEVIELIO ENERGIJOS PERDAVIMO TYRIMAS

Magistro baigiamasis darbas

Autorius – Žilvinas Ermanas (EM-11 gr.)

Vadovas – doc. dr. A. Grigaitis

Recenzentas – doc. G. Valiulis

Katedros vedėjas – doc. G. Valiulis

Šiauliai, 2013

TURINYS

SANTRAUKA	4
SUMMARY	5
LENTELIŲ SĄRAŠAS	6
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
ĮVADAS	9
1. BEVIELĖS ENERGIJOS PERDAVIMO SISTEMOS SANDARA, VEIKIMO PRINCIPAS IR TAIKYMAS	10
1.1 Bevielės energijos perdavimo sandara.....	10
1.2 Bevielės energijos perdavimo veikimo principas	13
1.3 Bevielės energijos perdavimo taikymas.....	16
2. BEVIELĖS ENERGIJOS PERDAVIMO SISTEMOS PRAKTINIAI TYRIMAI	20
2.1 Bevielės energijos perdavimo siūstuvo grandinės pereinamieji procesai.....	20
2.2 Bevielės energijos perdavimo realios grandinės praktiniai tyrimai.....	23
2.3 Tyrimas keičiant atstumą tarp siūstuvo ir imtuvo ričių	25
2.4 Tyrimas keičiant kondensatorius C_3 talpą siūstuvo grandinėje	27
2.5 Tyrimas panaudojant rezonansinę ritę tarp siūstuvo ir imtuvo ričių	30
3. BEVIELĖS ENERGIJOS PERDAVIMO DEMONSTRACINIO MODELIO PRAKTINIAI TYRIMAI	33
3.1 Demonstracinio modelio siūstuvo ir imtuvo galios ir naudingumo koeficiento tyrimas.....	33
3.2 Lyginimo diodų tyrimas (1).....	36
3.3 Lyginimo diodų tyrimas (2).....	38
3.4 Siūstuvo ričių parinkimas ir dažnio įtaka su skirtingomis ritėmis tyrimas.....	41
3.5 Imtuvo ričių parinkimo tyrimas	44
3.6 Siūstuvo magnetinio ir elektrinio lauko stiprio tyrimas.....	46
4. IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	50
LITERATŪROS SĄRAŠAS	52

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Žilvinas Ermanas. BEVIELIO ENERGIJOS PERDAVIMO TYRIMAS. Magistranto baigiamasis darbas / vadovas doc. dr. A. Grigaitis.

SANTRAUKA

Šiandien neįsivaizduojame savo gyvenimo be daugybės elektrą naudojančių prietaisų, kurie su elektros šaltiniu sujungti elektros laidais. Daugybė besipainiojančių laidų tikrai nepadaro mūsų gyvenimo lengvesnio ir patogesnio. Dar labiau komplikuoja situacijas, kai neįmanoma panaudoti laidų ir prisijungti prie energijos šaltinio. Visi šie nepatogumai skatina ieškoti išeičių, kuri galėtų būti energijos perdavimas be laidų. Bevielės elektros idėja buvo iškelta jau prieš daugiau kaip šimtą metų, tai buvo išradėjo Nikola Tesla mintis.

Darbui nagrinėti pagamintas bevielės energijos perdavimo demonstracinis modelis. Modelyje nagrinėjama bevielės energijos perdavimo sistema, veikimo principas, siunčiamos energijos nuotolis, perduodamos energijos efektyvumas bei gaunami nuostoliai.

Nagrinėjami reiškiniai tarp ričių įvedant rezonansines rites, taip padidinant siunčiamos energijos efektyvumą. Tiriama bevielės energijos siuntimo dažnio didinimo - mažinimo įtaka pačiai sistemai bei jos darbo efektyvumui. Taip pat tiriama įtaka su skirtingomis siųstuvo ir imtuvo ritėmis.

Reikšminiai žodžiai: bevielės energijos perdavimas, abipusis induktyvumas, aukštas dažnis.

ŠIAULIAI UNIVERSITY
FACULTY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

Žilvinas Ermanas. INVESTIGATION OF THE WIRELESS ENERGY TRANSFER.
Master final work / research advisor Doc. Dr. A. Grigaitis.

SUMMARY

Today can not imagine our life without many electricity using devices are connected to a source of electrical power lines. Numerous trailing wires really does not make our lives easier and more comfortable. Even more complicated situations when there are no opportunities to use wire and to connect to a power source. All these inconveniences are promoting to search the solution wich could be the transfer of energy without wires. Wireless energy idea has been raised for more than a hundred years ago. The thought was inventer inventored by Nikola Tesla.

Analyzing this work there was made a demonstration model of wireless power transmission. In this model there is analyzing such things as wireless transmission system, working principal, transmitted energy distance and obtained losses.

Also, analyzing effects between coils by introducing resonant coils, thus increasing sending energy efficiency. Besides, it is analyzing wireless power sending frequency of increasing – reducing influence for self system and its effectiveness of work. Also there is analyzing influence with different transmitter and receiver coils.

Keywords: wireless energy transfer, mutual inductance, high frequency.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. Imtuvo ritės srovės priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo ričių	26
2.2 lentelė. Matavimo rezultatai keičiant kondensatorius C_3 talpą	27
2.3 lentelė. Matavimo rezultatai be rezonansinės ritės ir su rezonansine rite	31
3.1 lentelė. Matavimo priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo ričių.....	34
3.2 lentelė. Matavimo priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo ričių.....	37
3.3 lentelė. Diodų temperatūrų ir galių priklausomybės nuo laiko	39
3.4 lentelė. Matavimo priklausomybės su skirtingomis siųstuvo ritėmis	42
3.5 lentelė. Matavimo priklausomybės su skirtingomis imtuvo ritėmis	45
3.6 lentelė. Elektrinio lauko stiprio priklausomybės nuo siųstuvo galios ir atstumo.....	47

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Bevielės energijos perdavimo sistemos struktūrinė schema	10
1.2 pav. Laboratorinis maitinimo šaltinis [3]	10
1.3 pav. Kintamos įtampos keitiklio elektrinė principinė schema [4]	11
1.4 pav. Bevielės energijos perdavimo siūstuvai	11
1.5 pav. Bevielės energijos perdavimo imtuvas	12
1.6 pav. Lyginimo diodų tiltelis [5]	12
1.7 pav. Bevielės energijos perdavimo sistemos siūstuvo ir imtuvo ritės [6]	13
1.8 pav. Bevielės energijos perdavimo sistemos principinė schema	13
1.9 pav. Bevielės energijos perdavimo atstojamoji schema [7]	14
1.10 pav. Elektrinių ir magnetinių dydžių ryšio loginė seka [7]	14
1.11 pav. Bevielės krovimo padėkliukas telefonui [8]	16
1.12 pav. Bevielės krovimo stotelė elektromobiliui [10]	17
1.13 pav. Bevielės energija maitinama endoskopinė kamera ir jos blokinė diagrama [11]	17
1.14 pav. Elektrinis traukinukas energija gaunantis bevieliu būdu [12]	18
1.15 pav. Širdies stimulatorius ir implantuojamos ritės prototipas [13]	19
2.1 pav. Grandinės modelis „MATLAB Simscape“ aplinkoje	20
2.2 pav. Pereinamieji grandinės procesai, kai $C_3 = 1nF$	21
2.3 pav. Pereinamieji grandinės procesai, kai $C_3 = 4,7nF$	21
2.4 pav. Pereinamieji grandinės procesai, kai $C_3 = 10nF$	22
2.5 pav. Realus grandinės modelis sumaketuotas plokštėje	23
2.6 pav. Pereinamieji procesai grandinėje, kai $C_3 = 1nF$. Mėlyna: ritė-2; Raudona: ritė-1; Žalia: grandinės įtampa; Ruda: grandinės srovė	24
2.7 pav. Pereinamieji procesai grandinėje, kai $C_3 = 4,7nF$. Mėlyna: ritė-2; Raudona: ritė-1; Žalia: grandinės įtampa; Ruda: grandinės srovė	24
2.8 pav. Pereinamieji procesai grandinėje, kai $C_3 = 10nF$. Mėlyna: ritė-2; Raudona: ritė-1; Žalia: grandinės įtampa; Ruda: grandinės srovė	25
2.9 pav. Imtuvo ritės srovės priklausomybės keičiant atstumą tarp siūstuvo ir imtuvo ričių bei kondensatoriaus C_3 talpą	26
2.10 pav. Kondensatorių C_3 eilė	27
2.11 pav. Imtuvo elektrinė principinė schema	27
2.12 pav. Siūstuvo dažnio priklausomybė nuo kondensatoriaus C_3 talpos	28
2.13 pav. Imtuvo galios priklausomybė nuo dažnio	28

2.14 pav. Siųstuvo galios priklausomybė nuo dažnio	29
2.15 pav. Siųstuvo ir imtuvo galios priklausomybė nuo dažnio	29
2.16 pav. Rezonansinės ritės elektrinė principinė schema	30
2.17 pav. Imtuvo ritės srovės priklausomybės keičiant atstumą be rezonansinės ritės ir su rezonansine rite.....	31
3.1 pav. Bevielės energijos perdavimo demonstracinis stendas	33
3.2 pav. Bevielės energijos perdavimo siųstuvai ir imtuvai.....	33
3.3 pav. Siųstuvo kintamos įtampos keitiklio ir imtuvo elektrinė principinė schema	34
3.4 pav. Imtuvo matavimo grandinės elektrinė principinė schema.....	34
3.5 pav. Naudingumo koeficiento priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo	35
3.6 pav. Siųstuvo ir imtuvo įtampų, srovių priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo	35
3.7 pav. Siųstuvo ir imtuvo galios priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo.....	36
3.8 pav. Naudingumo koeficiento priklausomybės su skirtingais lyginimo diodais	37
3.9 pav. Matavimo grandinės elektrinė principinė schema	38
3.10 pav. Transformatoriaus, siųstuvo ir imtuvo galių priklausomybės nuo laiko ir temperatūros..	39
3.11 pav. Lyginimo diodų temperatūros priklausomybės nuo laiko su skirtingais maitinimo šaltiniais.....	40
3.12 pav. Imtuvo galios priklausomybė nuo temperatūros	40
3.13 pav. Siųstuvai su pakeista rite.....	41
3.14 pav. Bevielės energijos perdavimo sistemos naudingumo koeficientas prie skirtingų siųstuvo ričių.....	42
3.15 pav. Siųstuvo grandinės rėmės srovė prie skirtingų siųstuvo ričių	42
3.16 pav. Siųstuvo ir imtuvo galių skirtumai prie skirtingų siųstuvo ričių.....	43
3.17 pav. Dažnio priklausomybė nuo skirtingų siųstuvo ričių.....	43
3.18 pav. Imtuvai su pakeista rite prie standartinės siųstuvo ritės	44
3.19 pav. Bevielės energijos perdavimo sistemos naudingumo koeficientas prie skirtingų imtuvo ričių.....	45
3.20 pav. Siųstuvo ir imtuvo galių skirtumai prie skirtingų imtuvo ričių.....	46
3.21 pav. Elektrinio lauko stiprio matavimas	47
3.22 pav. Magnetinio ir elektrinio lauko stiprio priklausomybė nuo atstumo	48
3.23 pav. Magnetinio ir elektrinio lauko stiprio priklausomybė nuo siųstuvo galios.....	48

ĮVADAS

Šiandien neįsivaizduojame savo gyvenimo be daugybės elektrą naudojančių prietaisų, kurie su elektros šaltiniu sujungti elektros laidais. Daugybė besipainiojančių laidų tikrai nepadarо mūsų gyvenimo lengvesnio ir patogesnio. Dar labiau komplikuoja situacijas, kai neįmanoma panaudoti laidų ir prisijungti prie energijos šaltinio. Visi šie nepatogumai skatina ieškoti išeities, kuri galėtų būti energijos perdavimas be laidų. Bevielės elektros idėja buvo iškelta jau prieš daugiau kaip šimtą metų, tai buvo išradėjo Nikola Tesla mintis [1].

Bevielės energijos perdavimo panaudojimo būdų yra labai daug. Pradedant nuo smulkių elektros prietaisų baterijų įkrovimui tai būtų mobilių telefonų, fotoaparatus, elektrinių dantų šepetėlių, mini – mikro robotų maitinimui, apšvietimo sistemoms, ir baigiant stambiais elektros prietaisais - televizorių maitinimui, elektromobilių akumuliatorių įkrovimui. Pagrindinis bevielės energijos minusas – mažas siunčiamos energijos nuotolis, efektyvumas bei neištirtas siunčiamos energijos poveikis gyviems organizmams.

Bevielės energijos perdavimas paremtas orinio transformatoriaus principu be magnetolaidžio. Elektromagnetinės indukcijos pagalba elektros srovę galima perduoti iš vienos ritės į kitą. Pirminėje ritėje elektros energija virsta kintamu magnetiniu lauku. Kintamas magnetinis laukas indukuoja antrinę ritę, kurioje pradeda tekėti elektros srovė. Taip bevieliu būdu energija pasiekia imtuvą.

Tiriamąo darbo tikslas ištirti bevielės energijos perdavimo veikimo bei siunčiamos energijos efektyvumą.

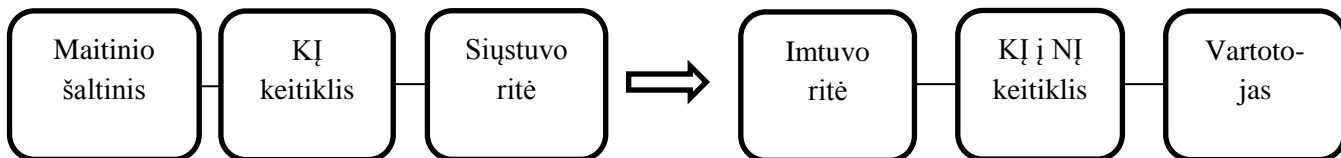
Darbo tikslui pasiekti išskirti šie uždaviniai:

1. Matematinio modeliavimo programa „MATLAB Simscape“ aplinkoje susimuliuoti bevielės energijos perdavimo siųstuvo realios grandinės modelį. Sumaketuoti maketavimo plokštėje bevielės energijos perdavimo siųstuvo ir imtuvo mažos galios modelį. Pagaminti bevielės energijos perdavimo demonstracinį modelį.
2. Palyginti mažos galios grandinės modelį su „MATLAB Simscape“ aplinkoje susimuliuota tokia pat grandine. Ištirti bevielės energijos perdavimo veikimą siųstuvo ritės grandinėje. Išnagrinėti siųstuvo ir imtuvo grandinėje vykstančius galios pokyčius keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo. Ištirti įtaką su skirtingomis siųstuvo ir imtuvo ritėmis. Išnagrinėti įtaką didinant siunčiamos energijos atstumą su tarp ričių įvesta rezonansine rite. Ištirti grandinės įtaką keičiant dažnį, bei dažnio įtaka siunčiamos energijos atstumui tarp siųstuvo ir imtuvo. Išnagrinėti išskylančius sunkumus tiriant ir matuojant bevielės energijos perdavimą.

1. BEVIELĖS ENERGIJOS PERDAVIMO SISTEMOS SANDARA, VEIKIMO PRINCIPAS IR TAIKYMAS

1.1 Bevielės energijos perdavimo sandara

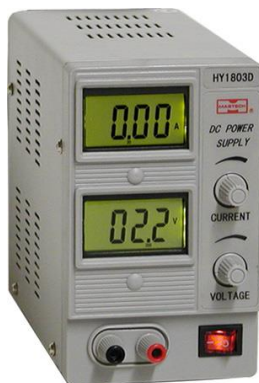
Bevielės energijos perdavimo sistemos struktūrinė schema pateikta 1.1 paveiksle.



1.1 pav. Bevielės energijos perdavimo sistemos struktūrinė schema

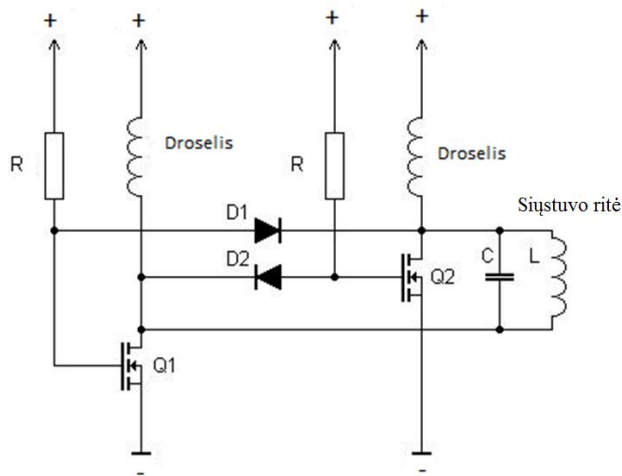
Sistema susideda iš:

- **elektros maitinimo šaltinio** – tai elementų ir įtaisų kompleksas, kuris pakeičia įvairias energijos rūšis į elektros energiją, tinkančią radioelektroninės aparatūros maitinimui (1.2 pav.). Elektros maitinimo šaltinio paskirtis – gautą energiją perduoti vartotojui (apkrovai). Jis pats energijos negamina. Energija, kuri pasiekia vartotoją, vadinama valdoma energija. Energijos nuostoliai – nevaldoma energija. Dėl jos kaista maitinimo šaltinio komponentai, atsiranda viršįtampiai bei elektromagnetiniai trikdžiai [2].



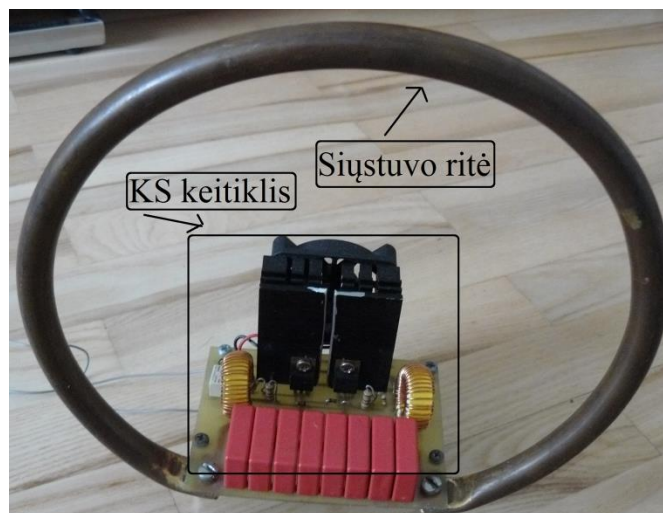
1.2 pav. Laboratorinis maitinimo šaltinis [3]

- **kintamos įtampos keitiklio** – tai bevielės energijos perdavimo sistemos dalis, kuri nuolatinę maitinimo šaltinio įtampą verčia į kintamąją įtampą. Kintamoji įtampa siųstuvo ritėje sukuria kintamą magnetinį lauką, kuri imtuvo ritėje indukuoja EVJ (elektrovara). Kintamos srovės keitiklio elektrinė principinė schema pateikta 1.3 paveiksle.



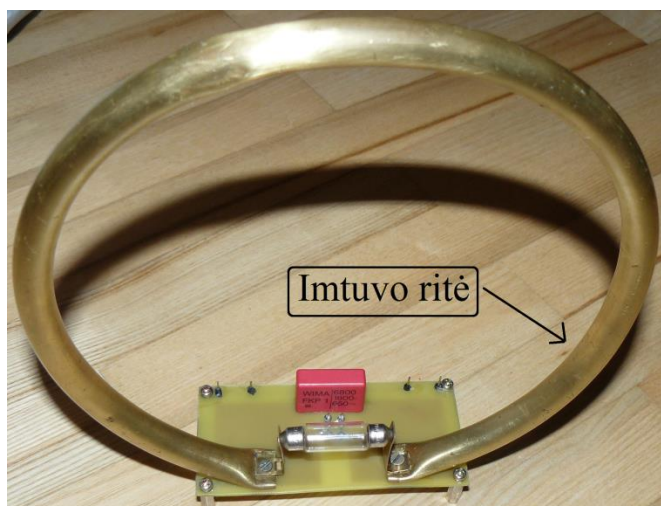
1.3 pav. Kintamos įtampos keitiklio elektrinė principinė schema [4]

- **siųstuvo ritės** – tai bevielės energijos perdavimo sistemos dalis, kuri spinduliuoja kintamą magnetinį lauką imtuvui. Siųstuvo ritės vaizdas pateiktas 1.4 paveiksle.



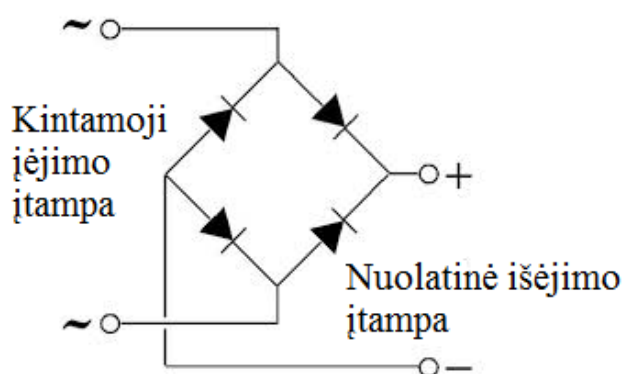
1.4 pav. Bevielės energijos perdavimo siųstuvas

- **imtuvo ritės** – tai bevielės energijos perdavimo sistemos dalis, kurioje yra priimamas siųstuvo ritės išspinduliuotas kintamas magnetinis laukas, kuris imtuvo ritėje indukuoja EVJ (elektrovarą). Imtuvo ritės vaizdas pateiktas 1.5 paveiksle.



1.5 pav. Bevielės energijos perdavimo imtuvas

- **kintamos įtampos keitiklis į nuolatinę** – tai paprasčiausias lyginimo diodų tiltelis, kuris imtuve gautą kintamąją įtampą verčia į nuolatinę. Diodų tiltelis sudarytas iš keturių diodų. Lyginimo diodų tiltelio elektrinė principinė schema pateikta 1.6 paveiksle.



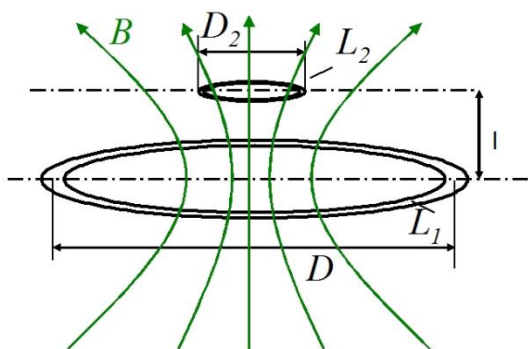
1.6 pav. Lyginimo diodų tiltelis [5]

- **vartotojo** – nuolatinė išlyginta išėjimo įtampą naudoja vartotojas (pvz., mobiliojo telefono akumuliatoriui įkrauti).

Bevielės energijos perdavimo sistema skirta perduoti maitino šaltinio įtampą bevieliu būdu imtuvui. Siųstuve nuolatinę maitinimo šaltinio įtampą keitiklis verčia į kintamą. Imtuve gaunama kintamoji įtampa verčiama į nuolatinę. Nuolatinė išlyginta išėjimo įtampą naudoja vartotojas (pvz., mobiliojo telefono akumuliatoriui įkrauti).

1.2 Bevielės energijos perdavimo veikimo principas

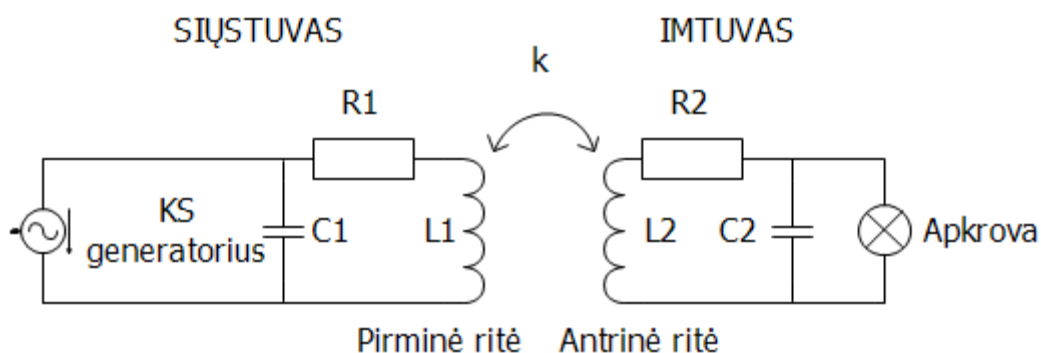
Bevielės energijos perdavimas paremtas orinio transformatoriaus principu be magnetolaidžio. Elektromagnetinės indukcijos pagalba elektros srovę galima perduoti per oro tarpą iš vienos ritės į kitą. Pirminėje ritėje elektros energija virsta kintamu magnetiniu lauku. Kintamas magnetinis laukas indukuoja antrinę ritę, kurioje pradeda tekėti elektros srovė. Taip bevieliu būdu energija pasiekia imtuvą.



1.7 pav. Bevielės energijos perdavimo sistemos siūstuvo ir imtuvo ritės [6]

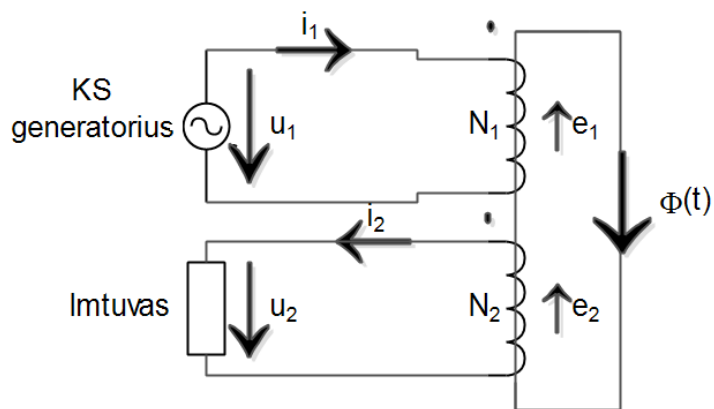
Pagrindinės bevielės energijos perdavimo sistemos dalys yra siūstuvo L_1 ritė ir imtuvo L_2 ritė (1.7 pav.). Abi ritės suformuoja abipusio magnetinio ryšio induktyvumo sistemą. Kintama srovė siūstuvo ritėje sukuria kintamą magnetinį lauką, kuri imtuvo ritėje indukuoja EVJ (elektrovara).

Bevielės energijos perdavimo sistemos principinė schema pateikta 1.8 paveiksle.



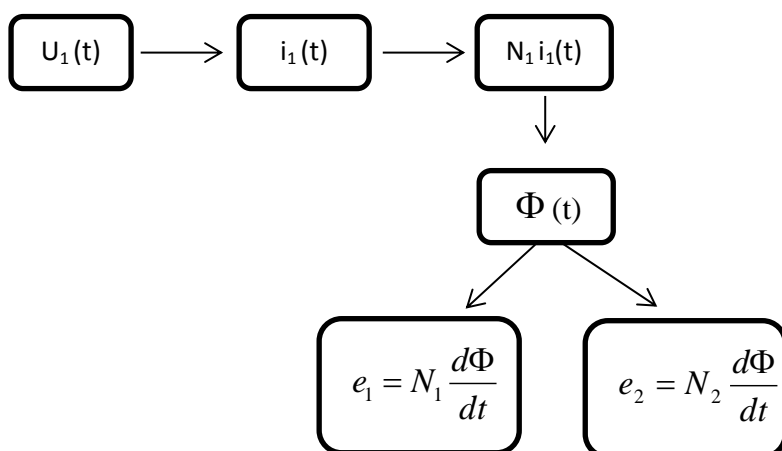
1.8 pav. Bevielės energijos perdavimo sistemos principinė schema

Bevielės energijos perdavimo sandara pavaizduota (1.9 pav.). Tai atviras magnetolaidis (oras), kurioje yra dvi apvijos. Apvijos elektriškai nesusietos. Jas veria bendras magnetinis srautas Φ , todėl jų ryšys yra magnetinis. Apvija (siūstuvo), kuriai tiekama elektros energija, yra vadinama pirmine. Apvija (imtuvo), kuri tiekia elektros energiją imtuvui, yra vadinama antrine. Visus bevielės energijos perdavimo įėjimo (pirminius) dydžius žymėsime indeksu „1“, o išėjimo (antrinius) – indeksu „2“ [7].



1.9 pav. Bevielės energijos perdavimo atstojamoji schema [7]

Bevielės energijos perdavimo veikimo principas pagrįstas jos apvijų abipusės indukcijos reiškiniu. Prijungus bevielės energijos perdavimo sistemos pirminę apviją (jos vijų skaičius N_1) prie kintamosios įtampos $U_1(t)$, apvija teka kintamoji srovė $I_1(t)$. Atsiradusi pirminė MVJ $N_1 i_1$ sukuria magnetolaidyje kintamąjį magnetinį srautą $\Phi(t)$. Jis veria abi apvijas ir indukuoja jose EVJ $e_1(t)$ ir $e_2(t)$. (Čia paaiškinta elektrinių ir magnetinių dydžių ryšio loginė seka (1.10 pav.)) [7].



1.10 pav. Elektrinių ir magnetinių dydžių ryšio loginė seka [7]

Jei antrinė grandinė atvira (neprijungta apkrova), bevielė energijos perdavimo sistema veikia tuščiosios eigos režimu. Jei uždara sistema yra apkraunama, antrine apvija ir imtuvu teka srovė.

Bevielės energijos perdavimo sistemos elektrinių dydžių ir magnetinio srauto sutartinės teigiamos kryptys parodytos (1.9 pav.). Pirminė apvija yra imtuvas, todėl teigiama i_1 srovės kryptis yra pažymėta priklausomai nuo laisvai pasirinktos u_1 krypties. Saviindukcijos EVJ e_1 teigiama kryptimi laikysime tokią, kuri yra priešinga negu srovės i_1 .

Magnetinio srauto Φ kryptis pažymėta, taikant jam ir pirmine apvija tekančiai srovei i_1 dešiniojo sraigto taisyklę. EVJ e_2 kryptis tokia pat kaip e_1 , nes abi apvijos suvyniotos ta pačia kryptimi ir jas veria tas pats magnetinis srautas Φ [7].

Antrinė apvija yra šaltinis, kurio EVJ yra e_2 . Dėl to antrine grandine teka srovė i_2 , kurios kryptis yra tokia pat, kaip e_2 . Imtuvas jungiamas prie antrinės įtampos u_2 , kurios sutartinė teigiama kryptis pažymėta pagal i_2 kryptį imtuve.

Pritaikę dešiniojo sraigto taisyklę antrinei apvijai matome, kad antrinė srovė kuria magnetinį srautą, kurios kryptis yra priešinga pirminės srovės kuriamo magnetinio srauto kryptčiai [7].

Apvijų elektrovaros jėgos. Nagrinėdami bevielės energijos perdavimo sistemos vykstančius elektromagnetinius reiškinius, elektrinius dydžius bei magnetinį srautą galėsime užrašyti kompleksiniais dydžiais.

Pirminę ir antrinę elektrovaros jėgas galime užrašyti šitaip:

$$e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} ; e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} , \quad (1.1)$$

čia N_1, N_2 – ričių vijų skaičius, $d\Phi$ – magnetinio srauto pokytis, $\frac{d\Phi}{dt}$ – srauto kitimo greitis.

Laikydami, kad magnetinis srautas sinusinis:

$$-\Phi = \Phi_m \sin \omega t, \quad (1.2)$$

čia Φ – magnetinis srautas, Φ_m – magnetinio srauto maksimalinė vertė, ω – kampinis dažnis.

Ir atlikę veiksmus, gausime:

$$e_1 = E_{1m} \sin(\omega t + \pi/2); e_2 = E_{2m} \sin(\omega t + \pi/2), \quad (1.3)$$

čia E_{1m}, E_{2m} – maksimali pirminės ir antrinės apvijos EVJ.

Jas galime užrašyti kompleksiniais dydžiais:

$$\underline{E}_1 = E_1 e^{j\pi/2}; \underline{E}_2 = E_2 e^{j\pi/2}, \quad (1.4)$$

Efektinės vertės:

$$E_1 = 4,44fN_1\Phi_m; E_2 = 4,44fN_2\Phi_m, \quad (1.5)$$

čia f – dažnis (Hz).

Bevielės energijos perdavimo transformacijos koeficientas yra jo didesniosios EVJ santykis su mažesniąja. Pavyzdžiui, žeminimo $E_1 > E_2$; jo transformacijos koeficientas:

$$K = E_1 / E_2 = N_1 / N_2, [7] \quad (1.6)$$

1.3 Bevielės energijos perdavimo taikymas

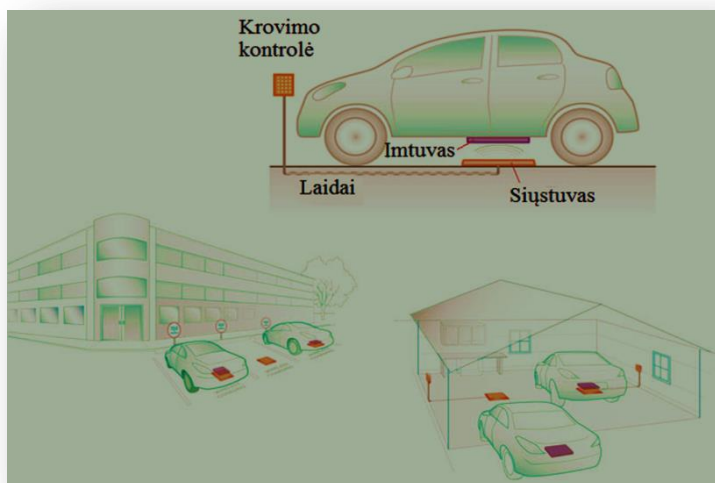
Bevielis krovimo padėkliukas telefonui. Vienas populiarijusių panaudojimo būdų, bevielis išmaniųjų telefonų įkrovimas. Išmaniųjų telefonų pagrindinė problema - jų baterijos maža talpa. Atėjus išmaniųjų mobilių telefonų erai, tapus labai didelei paklausai kartu didėja paklausa lengvam ir paprastam būdui įkrauti baterija nuotoliniu būdu išvengiant pakrovėjų laidų maišaties. Vienas iš panaudojimo būdų pateiktas 1.11 paveiksle.



1.11 pav. Bevielis krovimo padėkliukas telefonui [8]

Bevielė krovimo stotelė elektromobiliui. Iš įprastinių elektromobilio krovimo būdų galima išskirti bevielį krovimą (1.12 pav.). Toks krovimo būdas nereikalauja jokių kištukų ar jungiklių – tiesiog reikia pasistatyti elektromobilį tiesiai virš krovimo įrenginio, tam dažniausiai automobilyje yra integruota sistema leidžianti pastatyti tiksliai reikiamoje vietoje. Tarp energijos šaltinio ir gavėjo turi būti pakankamai mažas atstumas – apie 15-20 cm, taip pasiekiamas apie 90% energijos perdavimo efektyvumas. Šiuolaikinės bevielės perdavimo sistemos gali perduoti 3 – 50 kW galios.

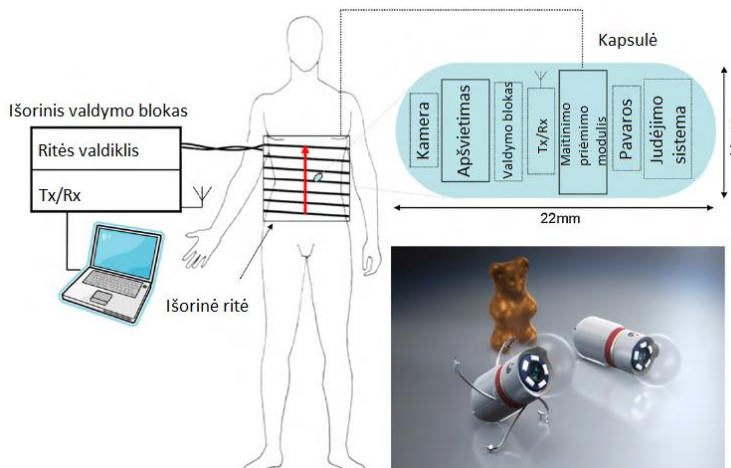
Pagrindinė problema yra kad tokios sistemos kol kas yra brangios, be to tik keli elektromobilių modeliai palaiko indukcinį pakrovimo būdą [9].



1.12 pav. Bevielė krovimo stotelė elektromobiliui [10]

Bevielė energija maitinama endoskopinė kamera. Kapsulės endoskopija įgauna spartų pagreitį gastroenterologijoje (1.13 pav.). Tačiau jos raida tebėra pasyvi dėl ribotos baterijos matmenų ir galios kuri siekia 25 mW , tai butu 6-8 valandos. Šios galios vos pakanka persiųsti mažos rezoliucijos vaizdus esant mažai duomenų perdavimo spartai, valdyti mechanines judesio pavaras bei dar kiti moduliai vartojantys energiją.

Indukcinis ryšys yra tinkama alternatyva baterijoms, nes ji žymiai padidina turimą galią neįtakodama darbo laiko. Taigi yra bandoma sukurti efektyviausią imtuvą galintį priimti didžiausią galią prie mažiausių diametrų.



1.13 pav. Bevielė energija maitinama endoskopinė kamera ir jos blokinė diagrama [11]

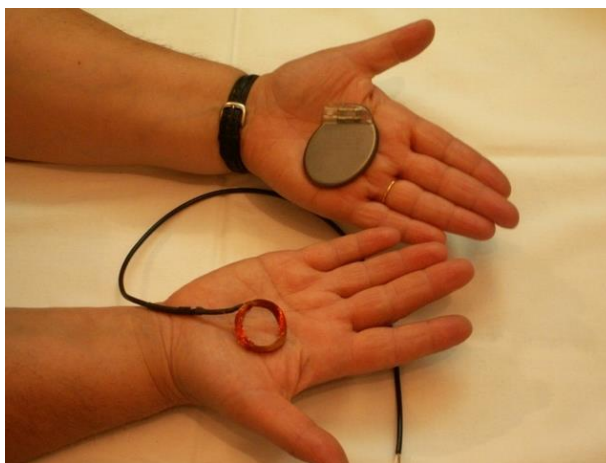
Bevielė energija maitinamas elektrinis traukinukas. Pietų Korėjos atrakcionų parke paleistas nedidelis elektrinis traukinukas energiją gaunantis nuotoliniu būdu, iš žemėje esančių metalo strypų (1.14 pav.).



1.14 pav. Elektrinis traukinukas energija gaunantis bevieliu būdu [12]

Žemėje esančiais strypais teka elektros srovė, indukuojanti magnetinį lauką. Specialus traukinuke sumontuoti keitikliai šį lauką gali vėl konvertuoti į jam varyti reikalingą elektros energiją. Pagrindinis tokio energijos tiekimo būdo privalumas – transporto priemonei reikia gerokai mažesnės talpos akumulatoriaus, nes jo nereikia iš anksto pakrauti ilgesniam keliui nuvažiuoti, o metalo strypai gali būti tik dalyje trasos – atrakcionų parke traukinukas viso nuvažiuoja 2,2 km, o maitinimo elementai yra įkasti keturiose trasos vietose, jų bendras ilgis – 400 m. Kuomet traukinukas važiuoja virš maitinimo elementų, elektros energija tiekama tiesiai į variklį ir kraunami akumulatoriai, o vietose, kur maitinimo elementų nėra, variklis energiją gauna iš akumuliatorių [12].

Širdies ritmo reguliatorius įkraunamas bevieliu būdu. Sukurtas neinvazinis širdies stimulatoriaus baterijos įkrovimo būdas (1.15 pav.). Pasak pasaulio sveikatos organizacijos, širdies ir kraujagyslių ligos yra pagrindinė mirties priežastis. Todėl yra skatinami nauji išradimai implantų srityje. Širdies ritmo reguliatorius, kuris siunčia elektros impulsus į širdies raumenį, kad išlaikytų tinkamą širdies susitraukimų dažnį ir ritmą reikalinga baterija. Kai baigiasi baterijos darbo laikas (5-7 metai) reikalinga chirurginė procedūra, kad pakeisti nusėdusią bateriją. Išvengti operacijos padės bevielis baterijos įkrovimas. Visas procesas vyksta dar tyrimuose siekiant suderinti visas išskylančias problemas.



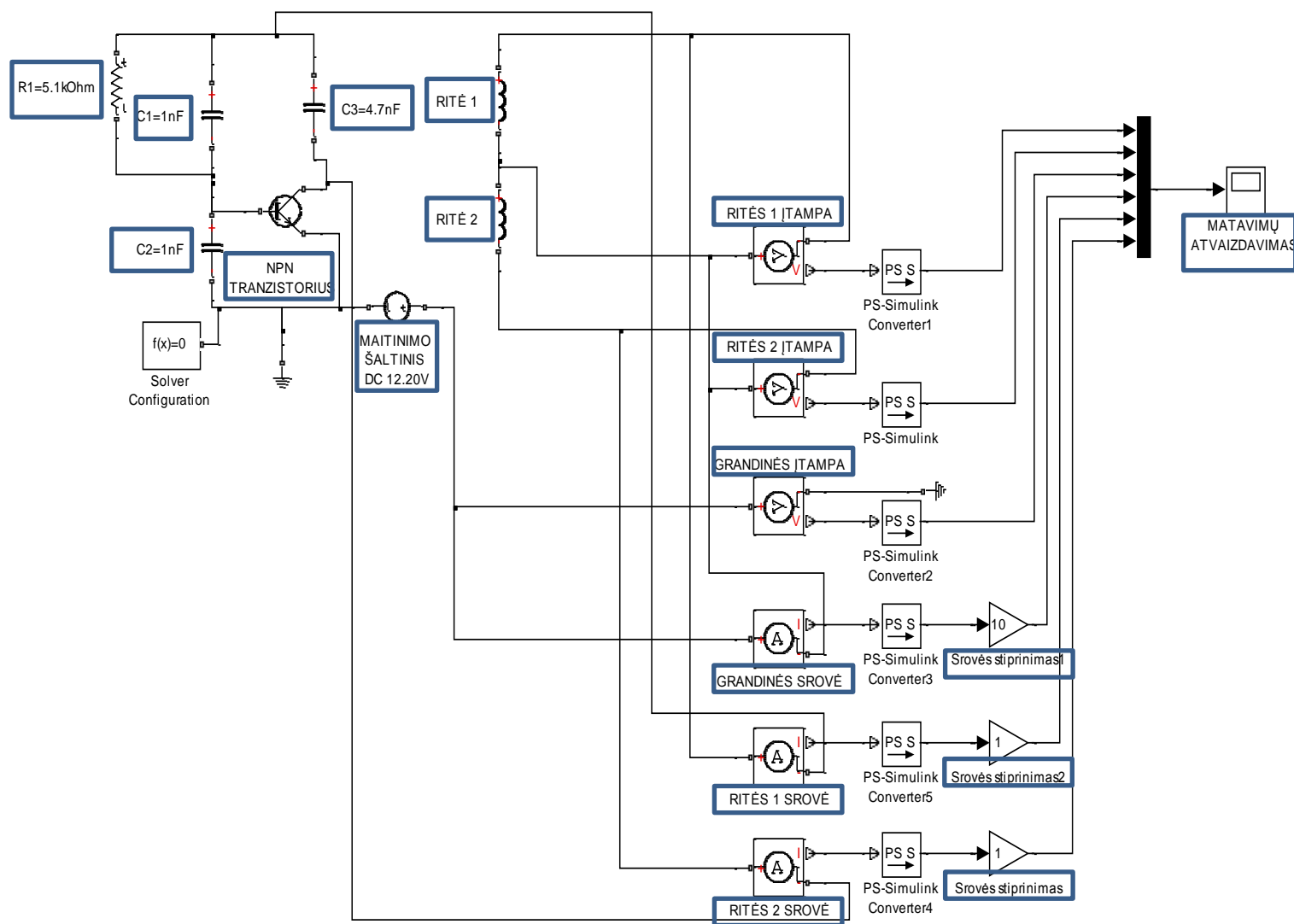
1.15 pav. Širdies stimulatorius ir implantuojamos ritės prototipas [13]

2. BEVIELĖS ENERGIJOS PERDAVIMO SISTEMOS PRAKTINIAI TYRIMAI

2.1 Bevielės energijos perdavimo siūstuvo grandinės pereinamieji procesai

Bevielės energijos perdavimo sistemos pagrindinė sudedamoji dalis yra kintamosios įtampos generatorius. Sistemai modeliuoti pasitelkta matematinio modeliavimo programa „MATLAB Simscape“.

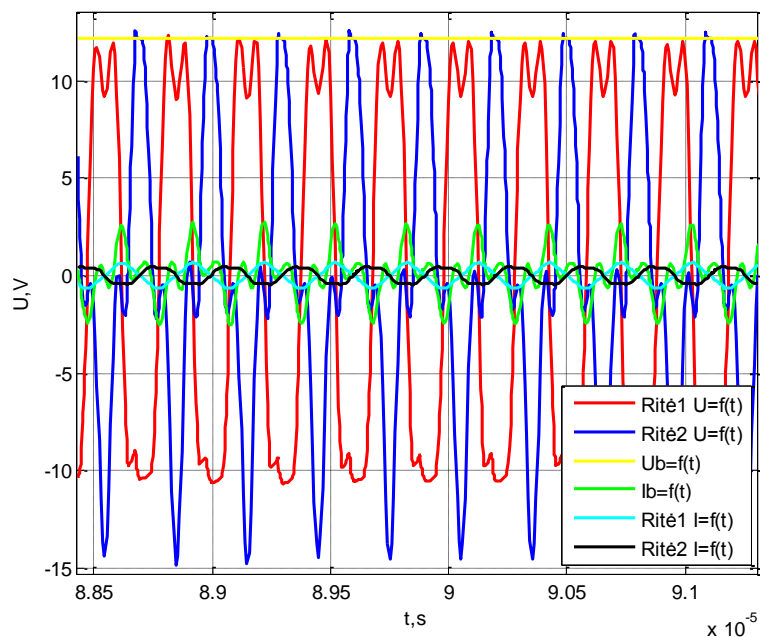
Sudarytas kintamosios įtampos keitiklio grandinės modelis „MATLAB Simscape“ aplinkoje (2.1 pav.).



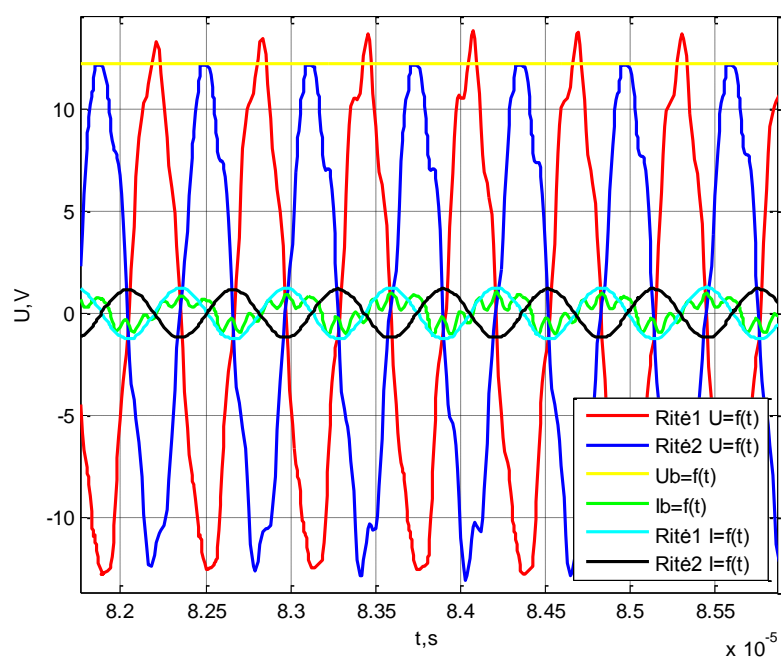
2.1 pav. Grandinės modelis „MATLAB Simscape“ aplinkoje

Elektrinės grandinės modelio duomenys:

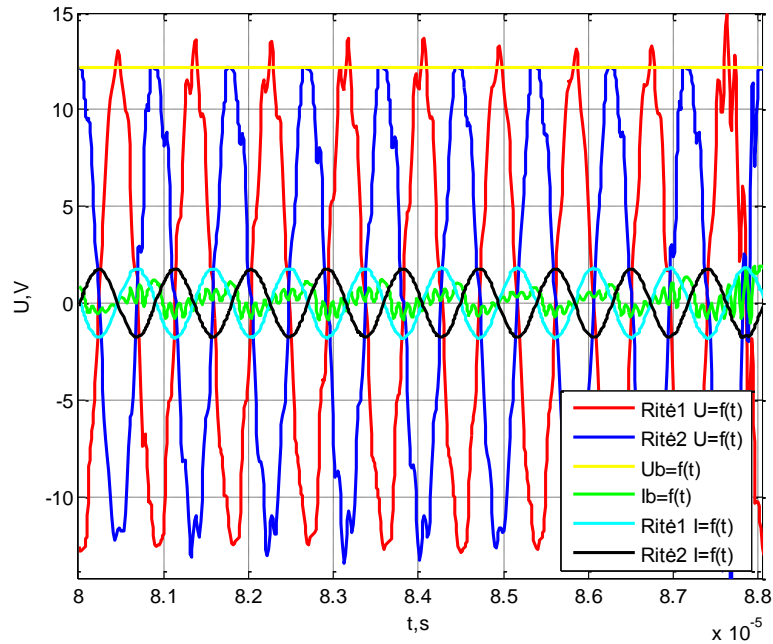
- nuolatinės įtampos maitinimo šaltinis $U = 12,20V$;
- varža $R_1 = 5.1k\Omega$;
- keramikiniai kondensatoriai $C_1 = 1nF, C_2 = 1nF, C_3 = 4.7nF$;
- tranzistorius $NPN, U = 60V, I = 0.1A, P = 0.25W$;
- siūstuvo ritė su vidurio tašku $L_{1,2} = 1\mu H$.



2.2 pav. Pereinamieji grandinės procesai, kai $C_3 = 1nF$



2.3 pav. Pereinamieji grandinės procesai, kai $C_3 = 4,7nF$



2.4 pav. Pereinamieji grandinės procesai, kai $C_3 = 10nF$

Gautuose grafikuose (2.2, 2.3, 2.4 pav.) matyti grandinės pereinamieji procesai:

- bendra grandinės įtampa $U_b = f(t)$;
- bendra grandinės srovė $I_b = f(t)$;
- įtampos ritėse_{1,2} $U = f(t)$;
- srovės ritėse_{1,2} $I = f(t)$.

Kaip matyti iš gautųjų kreivių (2.2, 2.3, 2.4 pav.), mažinant kondensatoriaus C_3 talpą dažnis didėja, didinant C_3 kondensatoriaus talpą dažnis mažėja. Didėjant dažniui kreivės tampa nevienodos, iškraipytos.

Gautuose grafikuose matosi, kaip siūstovo ritės grandinėje tranzistorius perjunginėja įtampas ritėje₁ ir ritėje₂. Įtampų kitimas laike sinusinio pobūdžio. Tai akivaizdžiai matosi sulyginus nuolatinę maitinimo įtampą U_b (geltona kreivė), kuri laikui bėgant nekinta. Ji yra pastovi ir teka grandine viena kryptimi.

Iš gautųjų kreivių (2.2, 2.3, 2.4 pav.), taip pat matyti siūstovo ritės₁ ir ritės₂ (mėlyna, juoda kreivės) srovės atsilieka nuo įtampos. Tai yra dėl saviindukcijos reiškinio ritėje, srovės kitimas grandinėje atsilieka nuo įtampos kitimo grandinės galuose: srovė pasiekia savo maksimalią vertę vėliau negu įtampa.

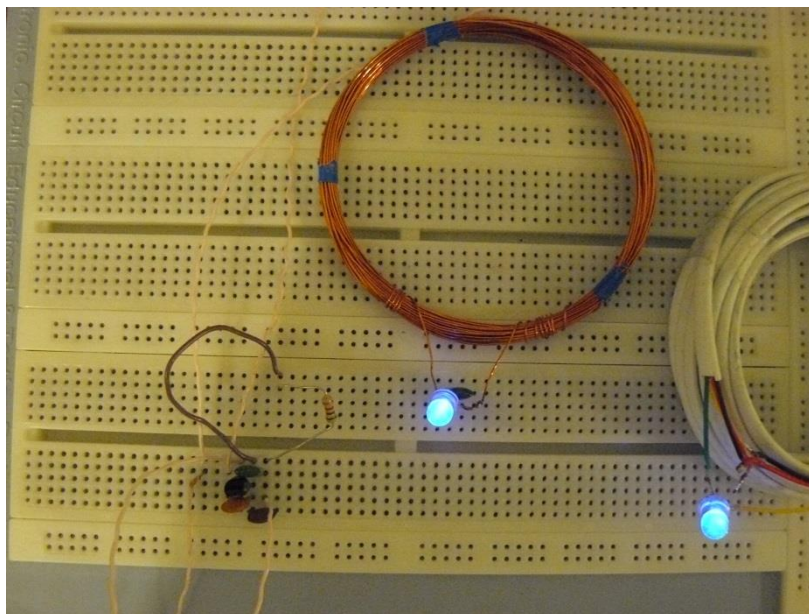
Išvada

Iš atliktų tyrimų matyti, kad siųstuvo kintamos įtampos generavimo dažnis priklauso nuo kondensatoriaus C_3 talpos.

Dėl saviindukcijos reiškinių ritėje, srovės kitimas grandinėje atsilieka nuo įtampos kitimo grandinės galuose: srovė pasiekia savo maksimalią vertę vėliau negu įtampa.

2.2 Bevielės energijos perdavimo realios grandinės praktiniai tyrimai

Grandinė nagrinėta sudarius realų grandinės modelį (2.5 pav.) bei tą pačią grandinę surinkus „Simscape“ aplinkoje (2.1 pav.). Bevielės energijos perdavimo sistemos tyrimai atliekami praktiškai, norint pateikti gautus realius tyrimo duomenis.

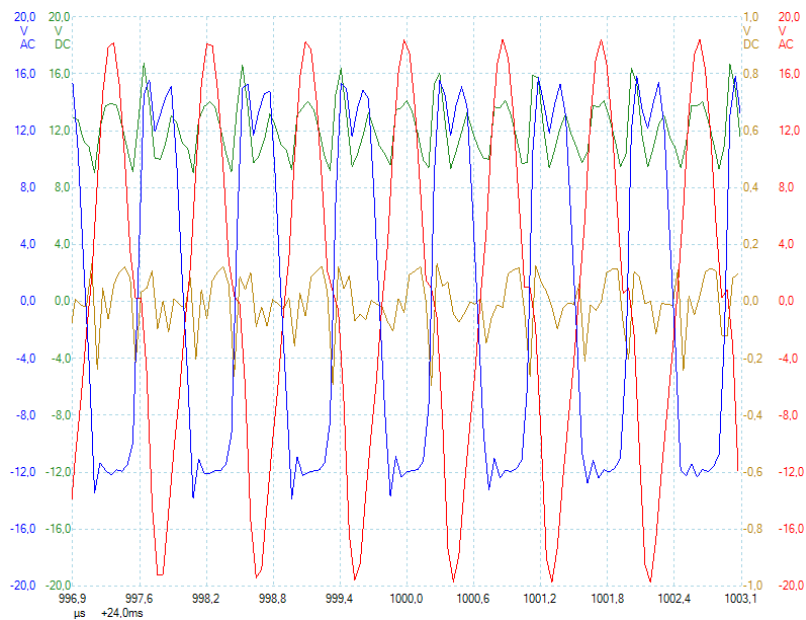


2.5 pav. Realus grandinės modelis sumaketuotas plokštėje

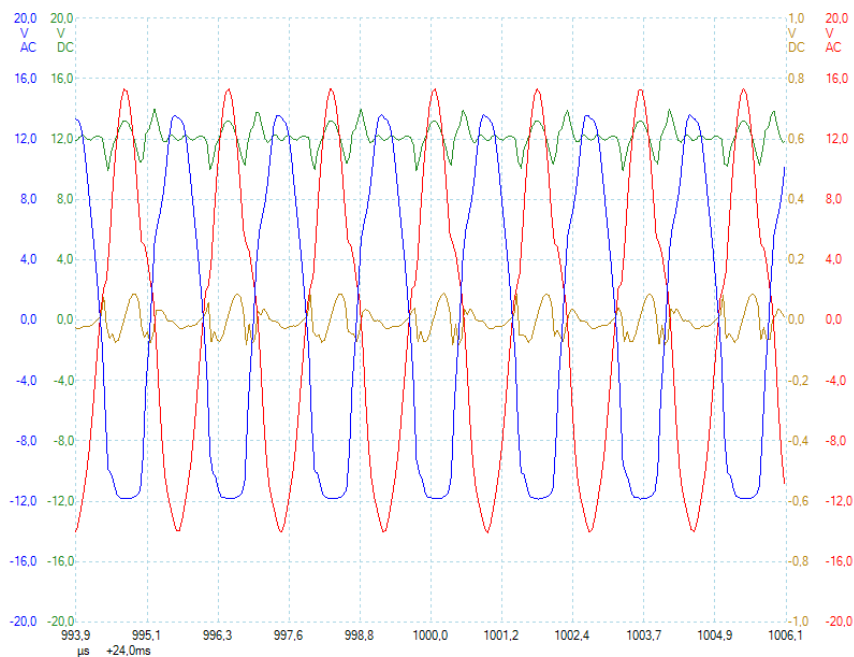
Realus grandinės modelis surinktas ant maketavimo plokštės. Elektrinės grandinės modelio duomenys:

- nuolatinės įtampos maitinimo šaltinis $U = 12,20V$, $I = 0,83A$;
- varža $R_1 = 5.1k\Omega$;
- keramikiniai kondensatoriai $C_1 = 1nF$, $C_2 = 1nF$, $C_3 = 4.7nF$;
- tranzistorius NPN , $U = 60V$, $I = 0.1A$, $P = 0.25W$;
- siųstuvo ritė su vidurio tašku $L_{1,2} = 2.6\mu H$.

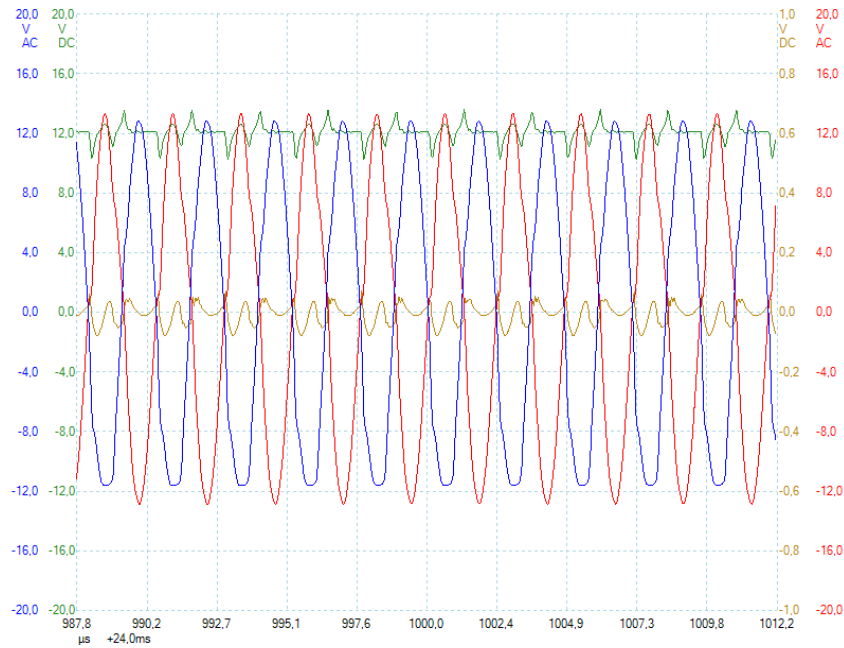
Pereinamieji procesai grandinėje išmatuoti su kompiuteriniu oscilografu. Srovė matuota su oscilografu pasidarius grandinėje šuntą per varžą. Varža panaudota 1 omo. Srovė apskaičiuojama pagal formulę $I = \frac{U}{R}$.



2.6 pav. Pereinamieji procesai grandinėje, kai $C_3 = 1nF$. **Mėlyna:** ritė-2; **Raudona:** ritė-1; **Žalia:** grandinės įtampa; **Ruda:** grandinės srovė



2.7 pav. Pereinamieji procesai grandinėje, kai $C_3 = 4,7nF$. **Mėlyna:** ritė-2; **Raudona:** ritė-1; **Žalia:** grandinės įtampa; **Ruda:** grandinės srovė



2.8 pav. Pereinamieji procesai grandinėje, kai $C_3 = 10nF$. **Mėlyna:** ritė-2; **Raudona:** ritė-1; **Žalia:** grandinės įtampa; **Ruda:** grandinės srovė

Lyginami gauti pereinamieji procesai „MATLAB Simscape“ aplinkoje (2.2 – 2.4 pav.) ir realioje grandinėje keičiant kondensatoriaus reikšmes: $C_3 = 1nF$, $C_3 = 4,7nF$, $C_3 = 10nF$. Realios grandinės gauti duomenys pateikti 2.6 – 2.8 paveiksluose.

Kaip matyti iš gautųjų kreivių (2.6 – 2.8 pav.), pereinamieji procesai siūstovo ritėje gana identiški lyginant su gautosiomis „MATLAB Simscape“ modeliavimo programoje.

Siūstovo generatoriaus darbas perjunginėjant įtampas ritėje₁ ir ritėje₂ (mėlyna, raudona kreivės) (2.6, 2.7, 2.8, 2.2, 2.3, 2.4 pav.) identiški savo perjungimo ciklais.

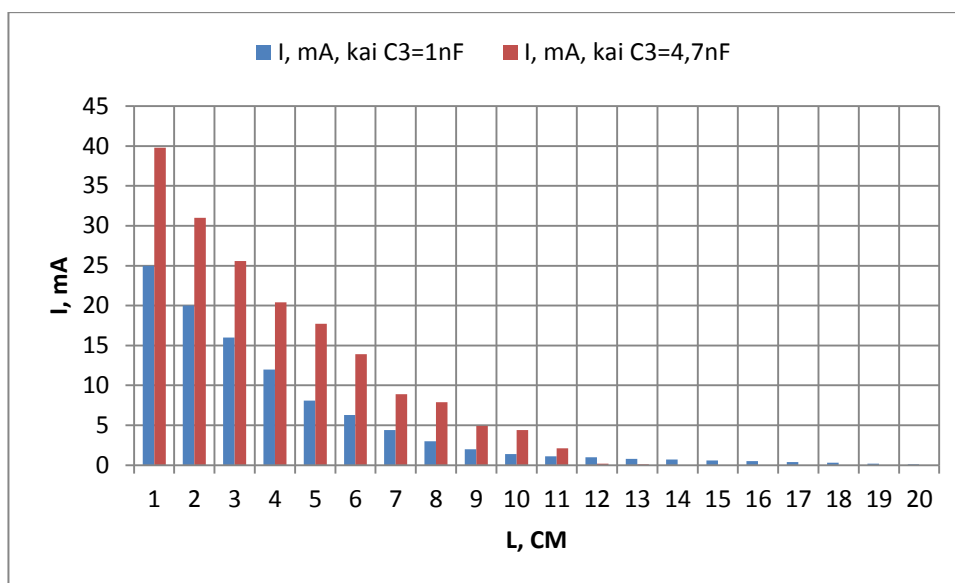
Realioje grandinėje grafike gauta generatoriaus nuolatinė maitinimo įtampa (2.6 – 2.8 pav.), (žalia kreivė) yra netiesiška, lyginant su modeliavimo programoje gautomis kreivėmis (2.2 – 2.5 pav.), (geltona kreivė). Tai yra dėl siūstovo ritės grandinėje gaunamų apkrovų kitimų, perjunginėjant įtampas ritėje₁ ir ritėje₂. Bei siūstovo grandinėje pajungto mažos galios maitinimo šaltinio, kuriame menkiausia apkrova virsta įtampos kritimų.

2.3 Tyrimas keičiant atstumą tarp siūstovo ir imtuvo ričių

Realios grandinės imtuvo ritės srovės matavimo priklausomybės keičiant atstumą nuo siūstovo ritės bei atstumo priklausomybės keičiant kondensatoriaus C_3 talpą. Matavimo duomenys pateikti 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Imtuvo ritės srovės priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo ričių

$l, cm, \text{ kai } C_3 = 1nF$	I_i, mA	$l, cm, \text{ kai } C_3 = 4,7nF$	I_i, mA
0,5	25	0,5	39,8
1	20	1	31
1,5	16	1,5	25,6
2	12	2	20,4
3	8,1	2,5	17,7
4	6,3	3	13,9
5	4,4	3,5	8,9
6	3	4	7,9
7	2	4,5	4,9
8	1,4	5,5	4,4
9	1,1	6	2,1
9,5	1	6,5	0,2
10	0,8	7	0,1
10,5	0,7	8	0
11	0,6	9	0
12	0,5	9,5	0
12,5	0,4	10	0
14,5	0,3	10,5	0
15	0,2	11	0
18	0,1	12	0



2.9 pav. Imtuvo ritės srovės priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo ričių bei kondensatoriaus C_3 talpą

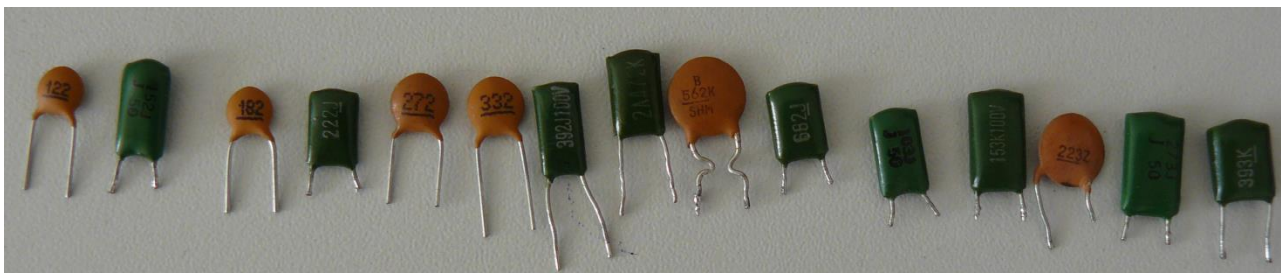
2.9 paveiksle pateikta imtuvo ritės srovės priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo ričių bei keičiant kondensatoriaus C_3 talpą grafikas.

Iš gauto grafiko matyti, kai kondensatoriaus talpa yra $C_3 = 1nF$, sumažėja siunčiamos energijos srovės stipris, bet pailgėja atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo ričių.

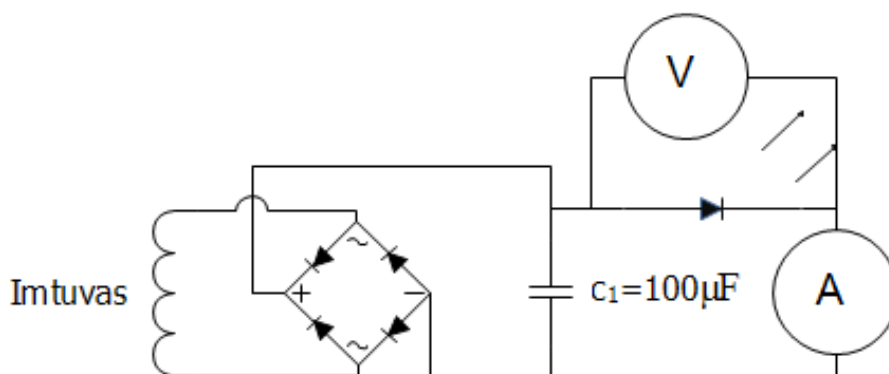
Didžiausia indukuojama srovė imtuvo ritėje, kai kondensatoriaus talpa yra $C_3 = 4,7nF$, bet prie mažesnio atstumo.

2.4 Tyrimas keičiant kondensatorius C_3 talpą siūstuvo grandinėje

Tyrimas atliekamas siūstuvo grandinėje keičiant kondensatoriaus C_3 talpą nuo 150 – 27000 pF (2.10 pav.). Matuojama siūstuvo bendra grandinės srovė (I_s), įtampa (U_s) bei imtuvo srovė (I_i), įtampa (U_i) ir dažnis (f_i). Atstumas tarp siūstuvo ir imtuvo $l = 1,5\text{cm}$. Imtuvo matavimo grandinės elektrinė principinė schema pateikta 2.11 paveiksle.



2.10 pav. Kondensatorių C_3 eilė



2.11 pav. Imtuvo elektrinė principinė schema

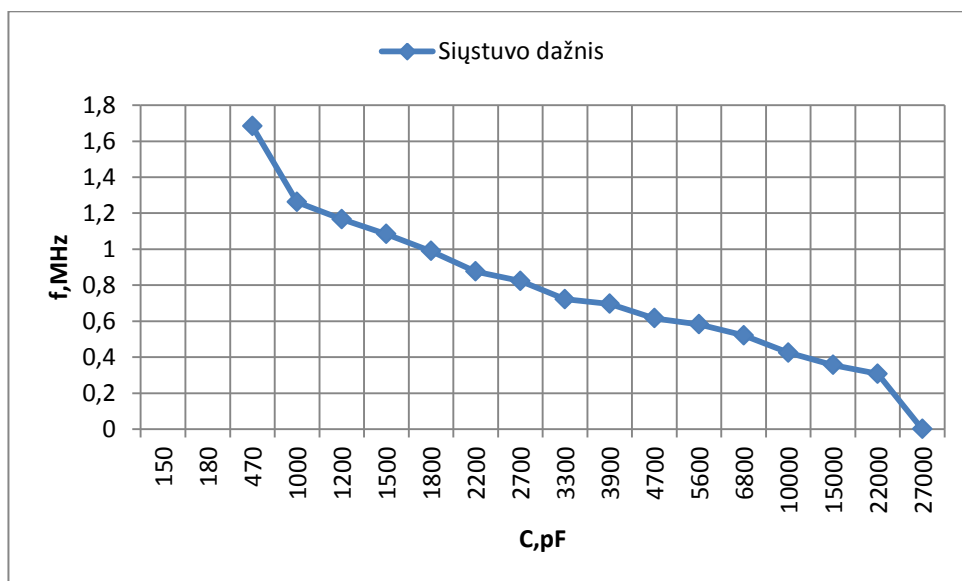
Matavimo rezultatai pateikti 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Matavimo rezultatai keičiant kondensatorius C_3 talpą

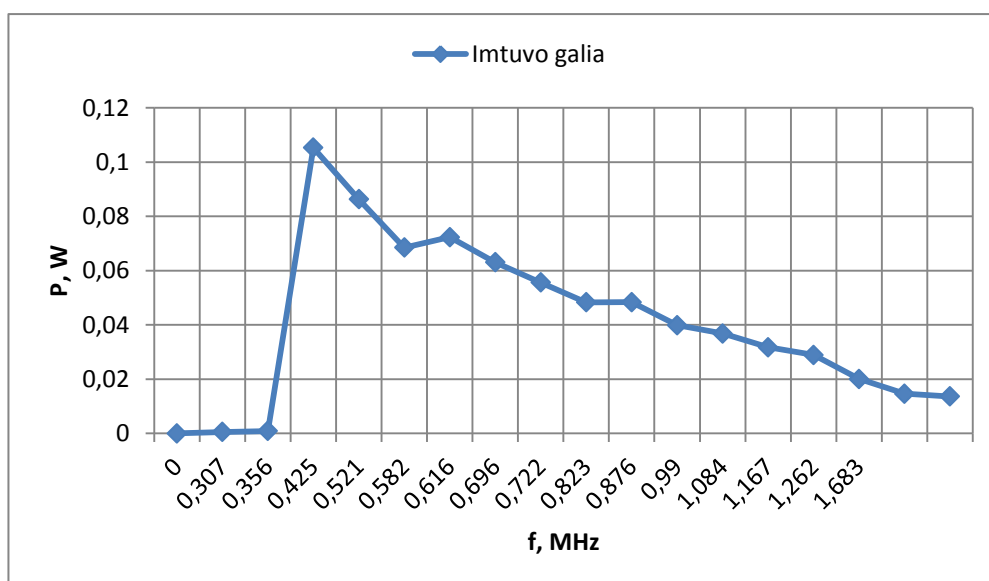
Eil.Nr.	C_3, pF	U_s, V	I_s, A	U_i, V	I_i, mA	f_i, MHz	P_s, W	P_i, W
1	150	12,2	0,1	1,917	7,1	-	1,22	0,0136107
2	180	12,2	0,09	1,92	7,6	-	1,098	0,014592
3	470	12,2	0,04	1,948	10,3	1,683	0,488	0,0200644
4	1000	12,2	0,04	1,992	14,5	1,262	0,488	0,028884
5	1200	12,2	0,06	1,995	15,9	1,167	0,732	0,0317205
6	1500	12,2	0,04	2,011	18,3	1,084	0,488	0,0368013
7	1800	12,2	0,06	2,024	19,7	0,99	0,732	0,0398728
8	2200	12,2	0,04	2,049	23,6	0,876	0,488	0,0483564
9	2700	12,2	0,07	2,048	23,6	0,823	0,854	0,0483328
10	3300	12,2	0,08	2,067	26,9	0,722	0,976	0,0556023
11	3900	12,2	0,05	2,088	30,2	0,696	0,61	0,0630576
12	4700	12,2	0,06	2,109	34,3	0,616	0,732	0,0723387

2.2 lentelės tęsinys

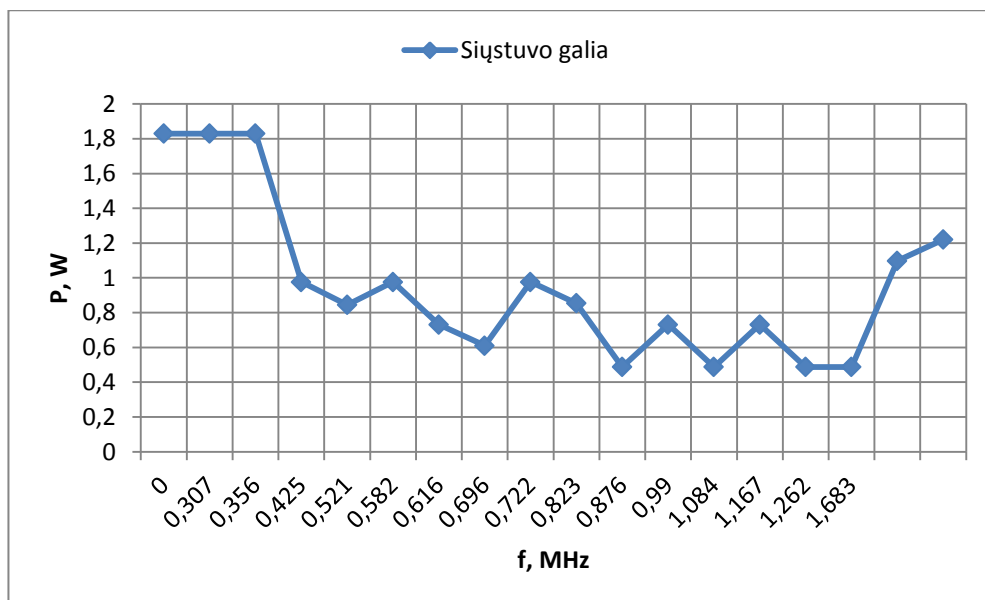
Eil.Nr.	C_3, pF	U_s, V	I_s, A	U_i, V	I_i, mA	f_i, MHz	P_s, W	P_i, W
13	5600	12,2	0,08	2,1	32,6	0,582	0,976	0,06846
14	6800	12,2	0,07	2,142	40,3	0,521	0,854	0,0863226
15	10000	12,2	0,08	2,18	48,3	0,425	0,976	0,105294
16	15000	12,2	0,15	1,793	0,5	0,356	1,83	0,0008965
17	22000	12,2	0,15	1,76	0,3	0,307	1,83	0,000528
18	27000	12,2	0,15	0	0	0	1,83	0



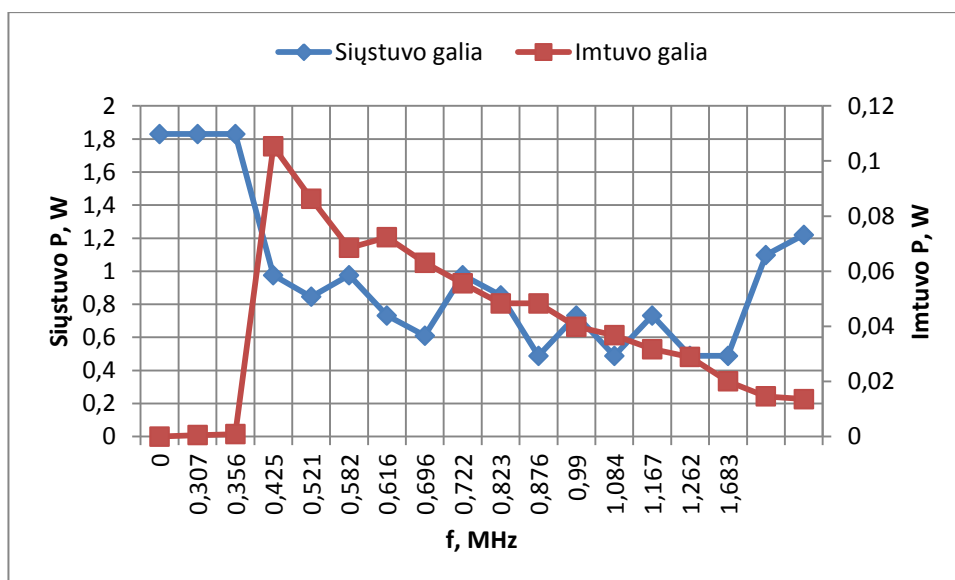
2.12 pav. Siųstuvo dažnio priklausomybė nuo kondensatoriaus C_3 talpos



2.13 pav. Imtuvo galios priklausomybė nuo dažnio



2.14 pav. Siųstuvo galios priklausomybė nuo dažnio



2.15 pav. Siųstuvo ir imtuvo galios priklausomybė nuo dažnio

2.12 paveiksle pateiktas siųstuvo dažnio priklausomybė nuo kondensatoriaus C_3 talpos. Kaip matyti iš gauto grafiko keičiant siųstuvo grandinėje kondensatoriaus C_3 talpą keičiasi ir siųstuvo generavimo dažnis. Mažinant kondensatoriaus C_3 talpą dažnis didėja, didinant C_3 kondensatoriaus talpą dažnis mažėja.

Grafike (2.12 pav.) ties 27000 pF žyma dažnis lygus nuliui. Parinkus didesnę kondensatoriaus talpą siųstuvo grandinėje nustoja veikti tranzistorius ir dirba atidarytu režimu, nes dėl siųstuvo ritės mažo vijų skaičiaus ritė turi mažą induktyvumą. Todėl siųstuvo generatorius nustoja veikti.

Gautas grafikas (2.12 pav.) prasideda nuo 470 pF todėl, kad prie aukšto dažnio laboratorinis multimetras nebeatvaizdavo duomenų.

Iš tyrimo matyti (2.13 pav.), kai atstumas tarp ričių pastovus (1,5cm) didėjant dažniui galia mažėja. Prie 425 kHz, kai atstumas tarp ričių (1,5cm) perduodama didžiausia galia.

Kai generavimo dažnis lygus 0 Hz, generatorius nedirba, siųstuvo grandinėje tranzistoriaus dirba atidarytu režimu ir iš maitinimo šaltinio pareikalauja daugiau galios kurią schemos elementai paverčia šiluma (2.15 pav.).

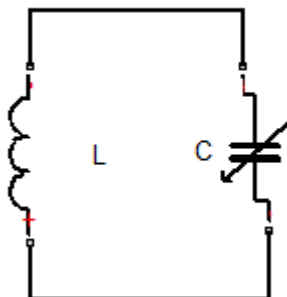
2.15 paveiksle matyti siųstuvo ir imtuvo galios kreivų palyginimai. Imtuvo kreivė tendencingai mažėja dažniui didėjant, o siųstuvo galios kreivė dantyta, matosi galios svyravimai dėl siųstuvo grandinės elementų nesuderinamumo. Dėl didelio dažnio siųstuvo grandinėje, grandinės elementai ritės ir jų sujungimai tampa talpuminio pobūdžio kurie savo ruožtu prie tam tikrų dažnių iššaukia rezonansus. Norint pasiekti imtuvo efektyviausią galią prie tokių aukštų dažnių reikia preciziškai suderinti ir surinkti siųstuvo ir imtuvo grandinės elementus.

2.5 Tyrimas panaudojant rezonansinę ritę tarp siųstuvo ir imtuvo ričių

Tyrimas atliekamas panaudojant rezonansinę ritę ir įterpiant tarp siųstuvo ir imtuvo ričių. Rezonansinė ritė susideda iš ritės ir paderinamo kondensatoriaus (2.16 pav.). Matuojama imtuvo srovė (I_i, mA). Matavimai atliekami tokia eile:

1. Matuojama pirma be rezonansinės ritės;
2. Matuojama su rezonansine rite.

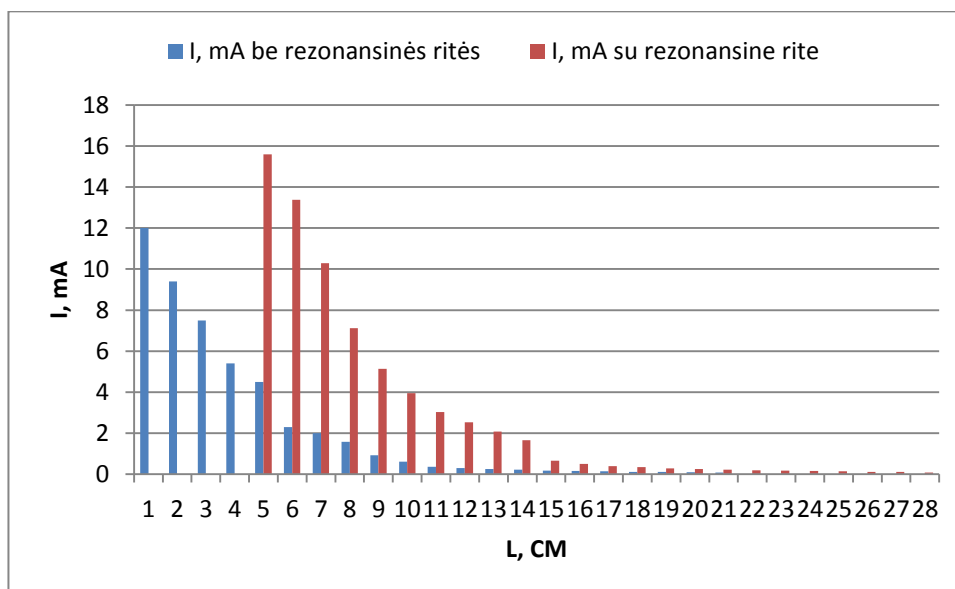
Matavimai pradedami, kai rezonansinė ritė suderinama su siųstuvo ritės dažniu. Suderinimas vyksta reguliuojant kondensatoriaus talpą ir atstumą tarp rezonansinės ir siųstuvo ričių. Matavimo rezultatai pateikti 2.3 lentelėje.



2.16 pav. Rezonansinės ritės elektrinė principinė schema

2.3 lentelė. Matavimo rezultatai be rezonansinės ritės ir su rezonansine rite

Atstumas tarp ričių be rezonansinės ritės $l, cm.$	I_i, mA	Atstumas tarp ričių su rezonansine rite $l, cm.$	I_i, mA
0	12	4cm atstumu nuo pirminės ritės pastatyta rezonansinė ritė	-
1	9,4	5	15,6
2	7,5	6	13,38
3	5,4	7	10,29
4	4,5	8	7,12
5	2,3	9	5,14
6	2	10	3,95
7	1,57	11	3,03
8	0,92	12	2,52
9	0,61	13	2,07
10	0,36	14	1,65
11	0,3	15	0,65
12	0,25	16	0,49
13	0,21	17	0,39
14	0,17	18	0,34
15	0,15	19	0,28
16	0,13	20	0,25
17	0,11	21	0,22
18	0,1	22	0,19
19	0,09	23	0,17
20	0,07	24	0,15
21	0	25	0,13
22	0	26	0,11
23	0	27	0,10
24	0	28	0,08



2.17 pav. Imtuvo ritės srovės priklausomybės keičiant atstumą be rezonansinės ritės ir su rezonansine rite

2.17 paveiksle matyti imtuvo ritės srovės priklausomybės keičiant atstumą be rezonansinės ritės ir su rezonansine rite. Iš atlikto tyrimo matyti, kad su įterpta rezonansine rite matomas žymus

srovės padidėjimas ir siunčiamos energijos atstumo pailgėjimas. Su įterpta rezonansine rite energijos perdavimas imtuvui yra efektyvesnis.

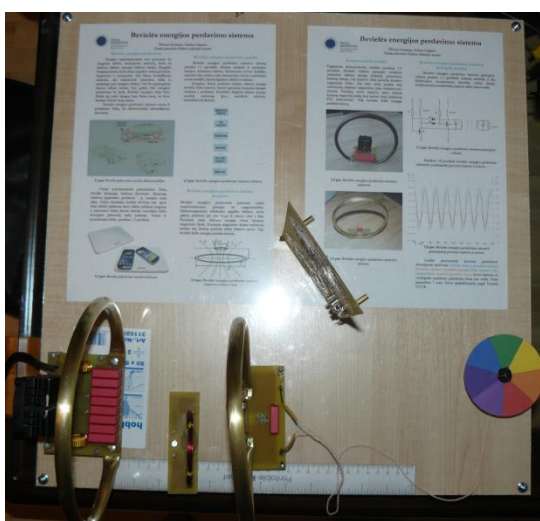
Skyriaus rezultatus apibendrinančios išvados:

1. Iš atliktų tyrimų matyti, kad siųstuvo kintamos įtampos generavimo dažnis priklauso nuo kondensatoriaus C_3 talpos.
2. Dėl saviindukcijos reiškinio ritėje, srovės kitimas grandinėje atsilieka nuo įtampos kitimo grandinės galuose: srovė pasiekia savo maksimalią vertę vėliau negu įtampa.
3. Realioje grandinėje grafike gauta generatoriaus nuolatinė maitinimo įtampa (2.6 – 2.8 pav.), (žalia kreivė) yra netiesiška, lyginant su modeliavimo programoje gautomis kreivėmis (2.2 – 2.5 pav.), (geltona kreivė). Tai yra dėl siųstuvo ritės grandinėje gaunamų apkrovų kitimų, perjunginėjant įtampas ritėje₁ ir ritėje₂, bei siųstuvo grandinėje pajungto mažos galios maitinimo šaltinio, kuriame menkiausia apkrova virsta įtampos kritimų.
4. Parinkus didesnę kondensatoriaus talpą siųstuvo grandinėje nustoja veikti tranzistorius ir dirba atidarytu režimu, nes dėl siųstuvo ritės mažo vijų skaičiaus ritė turi mažą induktyvumą ir siųstuvo generatorius nustoja veikti (2.12 pav.).
5. Dėl didelio dažnio siųstuvo grandinėje, grandinės elementai ritės ir jų sujungimai tampa talpuminio pobūdžio kurie savo ruožtu prie tam tikrų dažnių iššaukia rezonansus. Norint pasiekti imtuvo efektyviausią galią prie tokių aukštų dažnių reikia preciziškai suderinti ir surinkti siųstuvo ir imtuvo grandinės elementus.

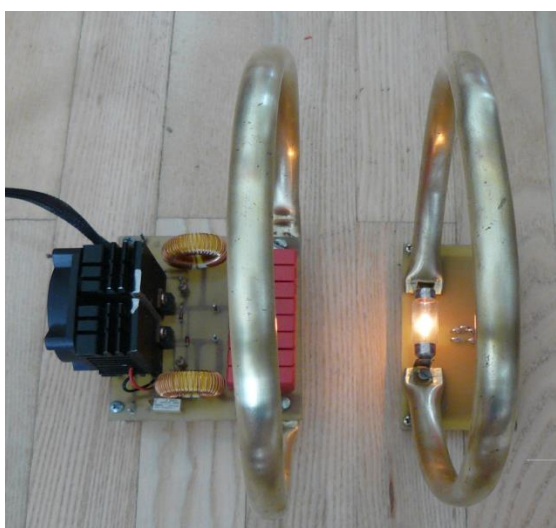
3. BEVIELĒS ENERGIJOS PERDAVIMO DEMONSTRACINIO MODELIO PRAKTINIAI TYRIMAI

3.1 Demonstracinio modelio siųstuvo ir imtuvo galios ir naudingumo koeficiento tyrimas

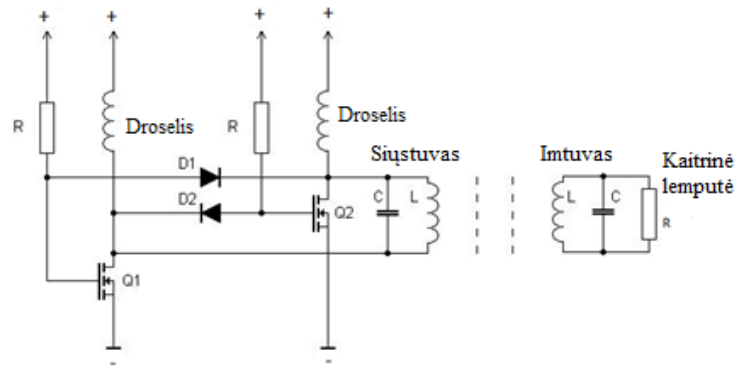
Bevielės energijos perdavimo tyrimui buvo pagamintas demonstracinis modelis (3.1 pav.). Šio modelio skirtumas nuo ankščiau tyrinėtų modelių (2 skyrius), kad siųstuvo ritė vientisa be vidurio taško ir šis modelis gali išspinduliuoti didesnę galią energijos. Pagrindinės sudedamosios dalys siųstuvas ir imtuvas (3.2 pav.). Siųstuvo ir imtuvo elektrinė principinė schema pateikta 3.3 paveiksle.



3.1 pav. Bevielės energijos perdavimo demonstracinis standas



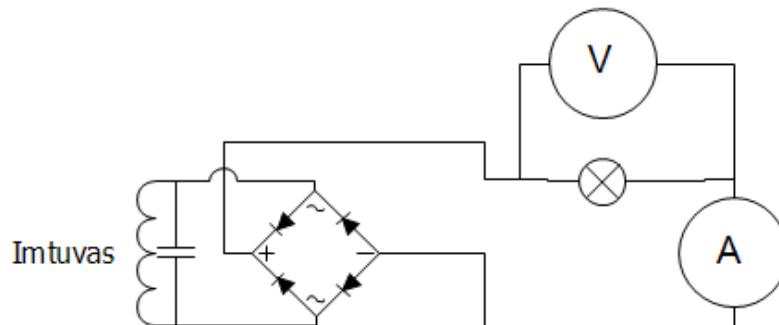
3.2 pav. Bevielės energijos perdavimo siųstuvas ir imtuvas



3.3 pav. Siųstuvo kintamos įtampos keitiklio ir imtuvo elektrinė principinė schema

Pirmiausia tyrimas atliekamas norint sužinoti demonstracinio modelio bevielės energijos perdavimo naudingumo koeficientą ir galių pasiskirstymą siųstuvo ir imtuvo grandinėje.

Tyrimas atliekamas keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo. Matuojama siųstuvo bendra grandinės srovė (I_s), įtampa (U_s) bei imtuvo srovė (I_i), įtampa (U_s). Matavimo duomenys pateikti 3.1 lentelėje. Imtuvo grandinėje įtampos ir srovės matuojamos nuolatinėje įtampos pusėje po lyginimo diodų. Imtuvo matavimo grandinės elektrinė principinė schema pateikta 3.4 paveiksle.



3.4 pav. Imtuvo matavimo grandinės elektrinė principinė schema

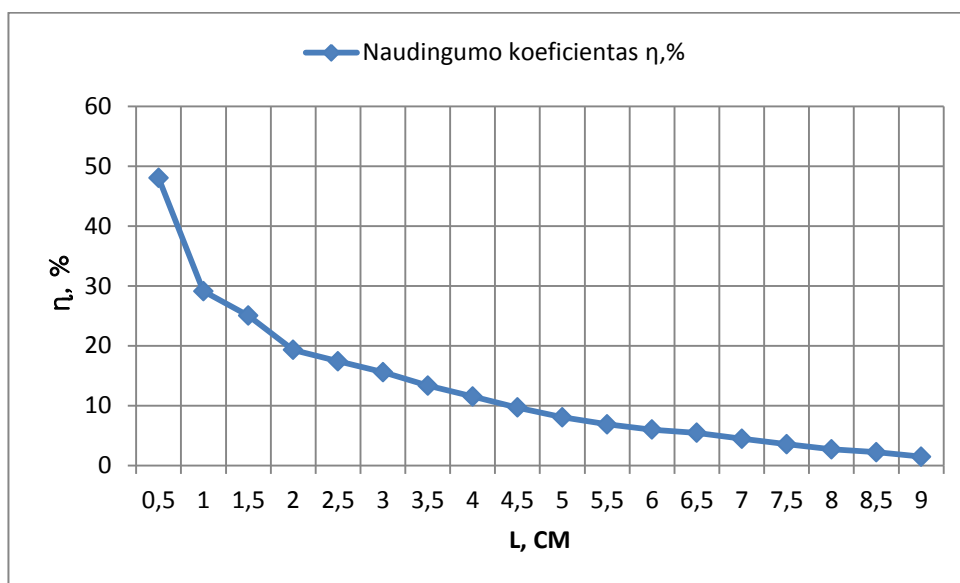
Siųstuvas prijungtas prie 12V maitinimo šaltinio. Imtuvo apkrova 12V ir 0,7 A kaitrinė lemputė. Lyginimo diodai 1 A, 30 ns. Siųstuvo rėmybės srovė 0,58 A, kai nėra šalia imtuvo.

3.1 lentelė. Matavimo priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo ričių

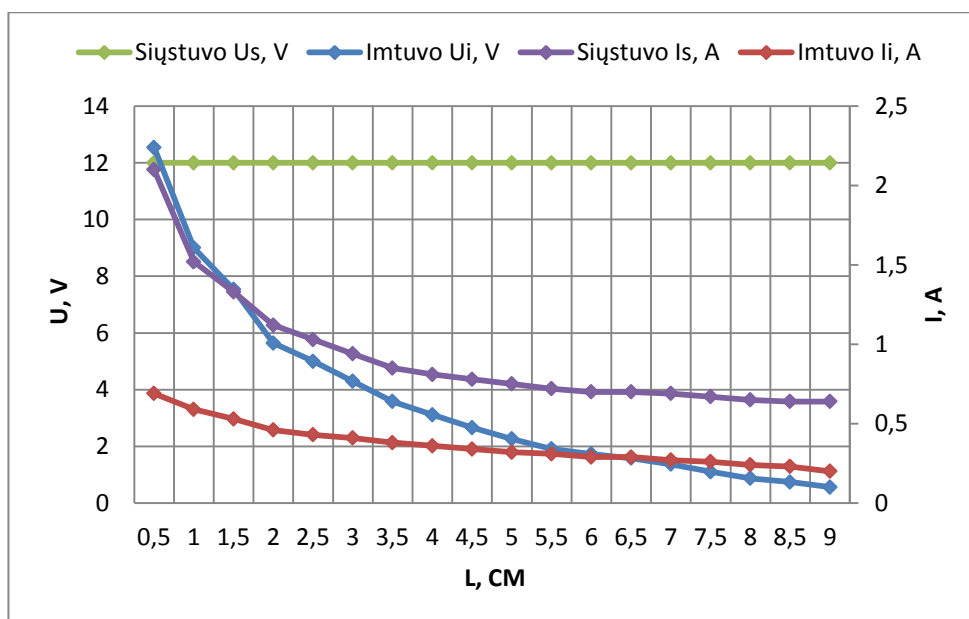
l, cm	U_s, V	I_s, A	U_i, V	I_i, A	P_s, W	P_i, W	$\eta, \%$
0,5	12	2,1	12,54	0,69	25,2	8,6526	34,33571
1	12	1,52	9	0,59	18,24	5,31	29,11184
1,5	12	1,33	7,54	0,53	15,96	3,9962	25,03885
2	12	1,12	5,64	0,46	13,44	2,5944	19,30357
2,5	12	1,03	5	0,43	12,36	2,15	17,39482
3	12	0,94	4,29	0,41	11,28	1,7589	15,59309
3,5	12	0,85	3,58	0,38	10,2	1,3604	13,33725
4	12	0,81	3,11	0,36	9,72	1,1196	11,51852

3.1 lentelės tęsinys

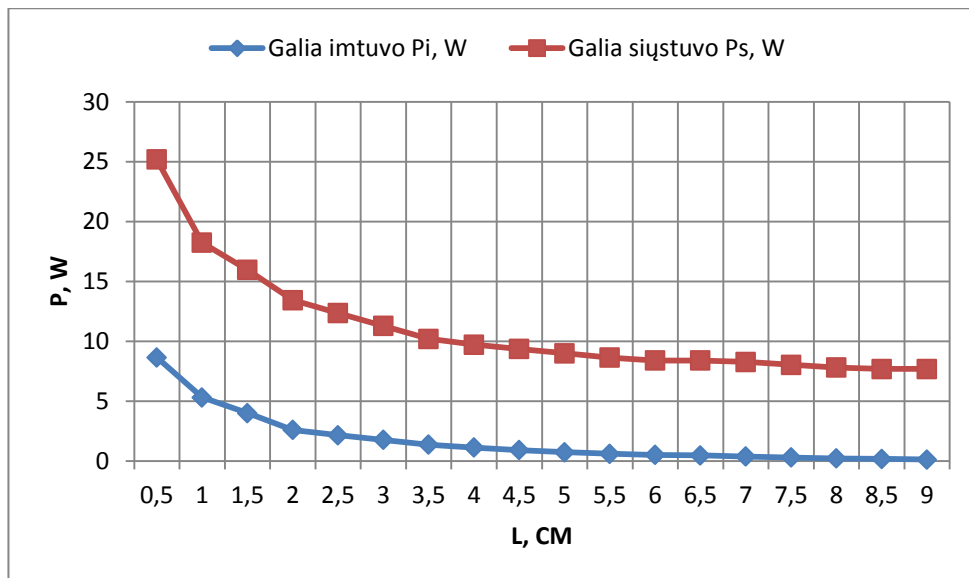
l, cm	U_s, V	I_s, A	U_i, V	I_i, A	P_s, W	P_i, W	$\eta, \%$
4,5	12	0,78	2,66	0,34	9,36	0,9044	9,662393
5	12	0,75	2,26	0,32	9	0,7232	8,035556
5,5	12	0,72	1,91	0,31	8,64	0,5921	6,853009
6	12	0,7	1,73	0,29	8,4	0,5017	5,972619
6,5	12	0,7	1,58	0,29	8,4	0,4582	5,454762
7	12	0,69	1,37	0,27	8,28	0,3699	4,467391
7,5	12	0,67	1,1	0,26	8,04	0,286	3,557214
8	12	0,65	0,87	0,24	7,8	0,2088	2,676923
8,5	12	0,64	0,74	0,23	7,68	0,1702	2,216146
9	12	0,64	0,56	0,2	7,68	0,112	1,458333



3.5 pav. Naudingumo koeficiento priklausomybės keičiant atstumą tarp siūstuvo ir imtuvo



3.6 pav. Siūstuvo ir imtuvo įtampų, srovių priklausomybės keičiant atstumą tarp siūstuvo ir imtuvo



3.7 pav. Siųstuvo ir imtuvo galios priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo

3.5 paveiksle pateiktas demonstracinio modelio bevielės energijos perdavimo naudingumo koeficientas. Iš grafiko matyti žemas 34,44% naudingumo koeficientas. Tai yra dėl siųstuvo vartojamos 6,96W (0,72W vartoja aušinimo ventiliatorius) galios kurią išspinduliuoja į šilumą siųstuvo grandinėje šylantys elementai.

Naudingumo koeficientas tendencingai mažėja atstumui tarp ričių didėjant (3.5 pav.). Grafikas prasideda ne nuo nulinės reikšmės, nes matavimai pradėti nuo 0,5 cm atstumo tarp siųstuvo ir imtuvo ričių dėl techninių kliūčių.

3.6 paveiksle pateiktas siųstuvo ir imtuvo įtampų, srovių priklausomybės keičiant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo. Galima palyginti siųstuvo ir imtuvo srovių priklausomybės didėjat atstumui tarp ričių, kurios didėjant atstumui mažėja nevienodai. Tai yra dėl siųstuvo skleidžiamo kintamo magnetinio lauko, kuris atstumui didėjant kinta, mažėja ir mažiau indukuoja imtuvo ritės vijoje EVJ elektrovarą.

3.7 paveiksle matyti siųstuvo ir imtuvo dideli galios perdavimo nuostoliai. Jie susideda iš magnetinių nuostolių siunčiamu per orą, nes kintamas magnetinis laukas yra nesukoncentruotas į imtuvą ir sklinda į visas puses. Nuostoliai dar susideda iš siųstuvo grandinėje šylančių elementų, bei imtuve šilumą spinduliuojančių lyginimo diodų.

3.2 Lyginimo diodų tyrimas (1)

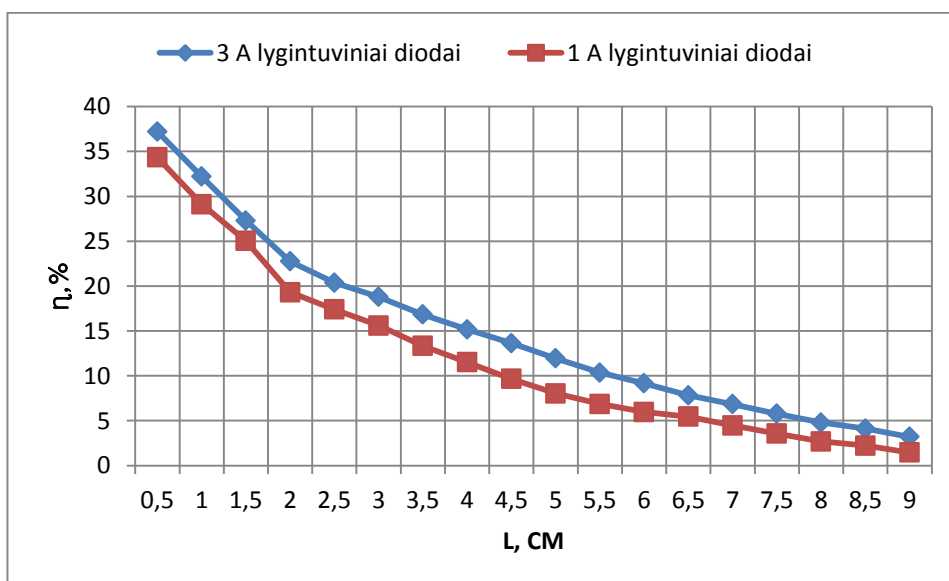
Matuojant imtuve įtampas ir srovės pastebėti galios nuostoliai pasireiškiantys lyginimo diodų dideliu šilumos spinduliuavimu. Imtuvo grandinėje panaudoti lyginimo diodai 1 A, 30 ns, imtuvo maksimali srovė 0,69 A, o diodų kaitimas pasireiškia ir prie mažesnių imtuvo grandinės apkrovų.

Tyrimas buvo atliktas su kitais lyginimo diodais. Tyrimui panaudoti 3 A, 75 ns lyginimo diodai. Šie diodai yra didesnių gabaritų (geresnės aušinimo sąlygos) ir turi didesnę laidininko skerspjūvio plotą.

Tyrimas atliekamas keičiant atstumą tarp siūstovo ir imtuvo. Matuojama siūstovo bendra grandinės srovė (I_s), įtampa (U_s) bei imtuvo srovė (I_i), įtampa (U_i). Matavimo duomenys pateikti 3.2 lentelėje. Imtuvo grandinėje įtampos ir srovės matuojamos nuolatinėje įtampos pusėje po lyginimo diodų. Imtuvo matavimo grandinės elektrinė principinė schema pateikta 3.4 paveiksle.

3.2 lentelė. Matavimo priklausomybės keičiant atstumą tarp siūstovo ir imtuvo ričių

l, cm	U_s, V	I_s, A	U_i, V	I_i, A	P_s, W	P_i, W	$\eta, \%$
0,5	12	0,73	13,58	2,22	9,9134	26,64	37,21246246
1	12	0,6	10,82	1,68	6,492	20,16	32,20238095
1,5	12	0,53	7,91	1,28	4,1923	15,36	27,29361979
2	12	0,51	6,21	1,16	3,1671	13,92	22,75215517
2,5	12	0,48	5,5	1,08	2,64	12,96	20,37037037
3	12	0,46	4,95	1,01	2,277	12,12	18,78712871
3,5	12	0,44	4,5	0,98	1,98	11,76	16,83673469
4	12	0,42	3,99	0,92	1,6758	11,04	15,17934783
4,5	12	0,4	3,52	0,86	1,408	10,32	13,64341085
5	12	0,38	3,13	0,83	1,1894	9,96	11,94176707
5,5	12	0,36	2,76	0,8	0,9936	9,6	10,35
6	12	0,35	2,45	0,78	0,8575	9,36	9,161324786
6,5	12	0,33	2,16	0,76	0,7128	9,12	7,815789474
7	12	0,32	1,9	0,74	0,608	8,88	6,846846847
7,5	12	0,3	1,66	0,72	0,498	8,64	5,763888889
8	12	0,29	1,39	0,7	0,4031	8,4	4,798809524
8,5	12	0,28	1,2	0,68	0,336	8,16	4,117647059
9	12	0,26	0,99	0,67	0,2574	8,04	3,201492537



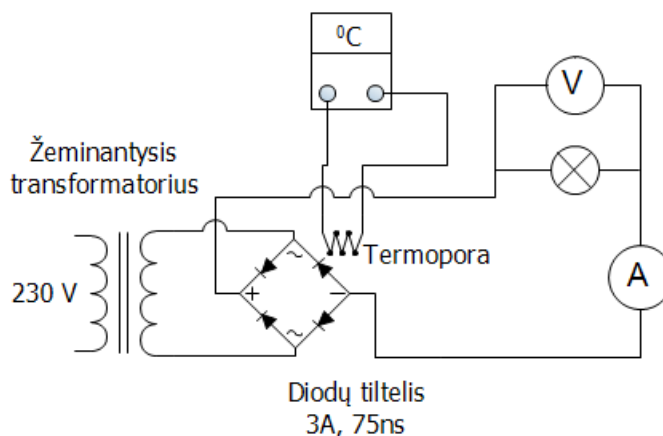
3.8 pav. Naudingumo koeficiento priklausomybės su skirtingais lyginimo diodais

3.8 paveiksle pateiktas didėjant atstumui tarp ričių naudingumo koeficiento priklausomybės su skirtingais lyginimo diodais. Pakeitus lyginimo diodus į didesnės galios ir didesnio laidininko skerspjūvio ploto, naudingumo koeficientas pagerėjo. Taigi didesnės galios ir didesnio skerspjūvio ploto diodas praleidžia daugiau galios su mažesniais nuostoliais.

3.3 Lyginimo diodų tyrimas (2)

Pakeitus lyginimo diodus į didesnės galios ir didesnio skerspjūvio ploto galios nuostoliai pagerėjo, bet pastebėtas tas pats didelis šilumos spinduliavimo kiekis nuo lyginimo diodų paviršiaus. Šilumos spinduliavimas nuo lyginimo diodų iššaukia nuostolius ir prastina sistemos naudingumo koeficientą.

Tyrimų tikslas patikrinti prie skirtingų dažnių apkrautų diodų spinduliuojama temperatūrą. Tyrimas buvo atliktas prie žeminančio transformatoriaus (50 Hz) prijungus lyginimo diodus su apkrova. Transformatoriaus išėjimo įtampa 12 V , srovė $0,84\text{ A}$. Prijungta apkrova 12 V ir $0,7\text{ A}$ kaitrinė lemputė. Tyrimui panaudoti 3 A , 75 ns lyginimo diodai. Matuojama bendra grandinės srovė (I_a), įtampa (U_a) bei lyginimo diodų temperatūra ($^{\circ}\text{C}$), grandinės galia (P_a, W). Matavimo duomenys pateikti 3.3 lentelėje. Imtuvo grandinėje įtampos ir srovės matuojamos nuolatinėje įtampos pusėje po lyginimo diodų. Imtuvo matavimo grandinės elektrinė principinė schema pateikta 3.9 paveiksle.



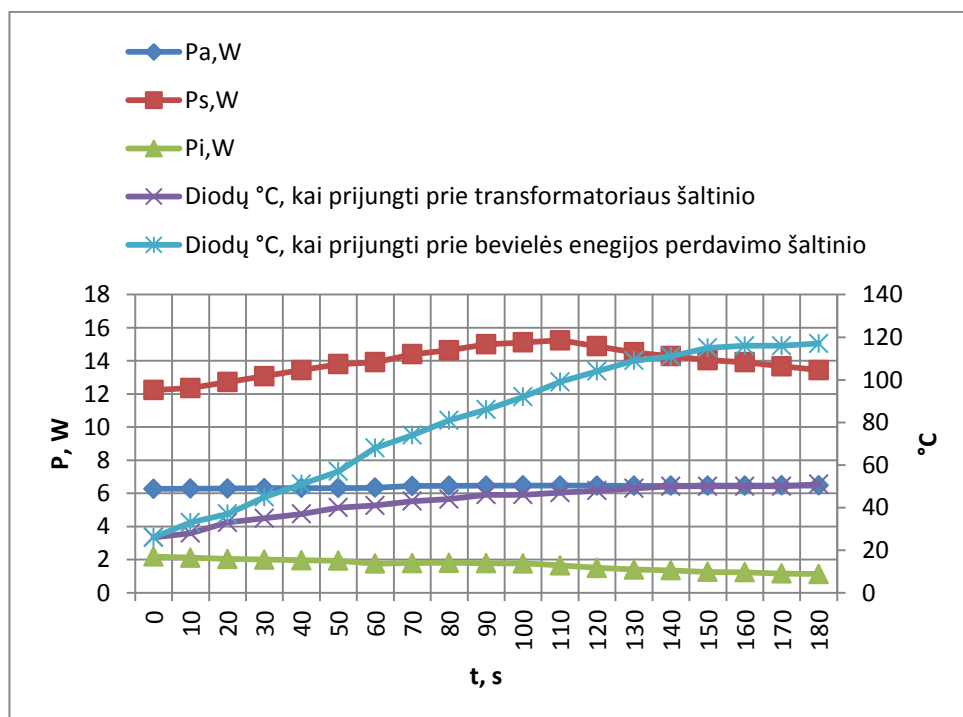
3.9 pav. Matavimo grandinės elektrinė principinė schema

Tai pat tyrimas buvo atliktas prie bevielės energijos perdavimo imtuvo ($1,156\text{ MHz}$) prijungus lyginimo diodus su apkrova. Imtuvo įtampa $4,86\text{ V}$, srovė $0,45\text{ A}$. Prijungta apkrova 12 V ir $0,7\text{ A}$ kaitrinė lemputė. Tarpas tarp siūstuvo ir imtuvo 5 cm . Tyrimui panaudoti 3 A , 75 ns lyginimo diodai. Matuojama siūstuvo bendra grandinės srovė (I_s), įtampa (U_s) bei imtuvo srovė (I_i),

įtampa (U_s) ir lyginimo diodų temperatūra ($^{\circ}C$). Matavimo duomenys pateikti 3.3 lentelėje. Imtuvo grandinėje įtampos ir srovės matuojamos nuolatinėje įtampos pusėje po lyginimo diodų. Imtuvo matavimo grandinės elektrinė principinė schema pateikta 3.4 paveiksle.

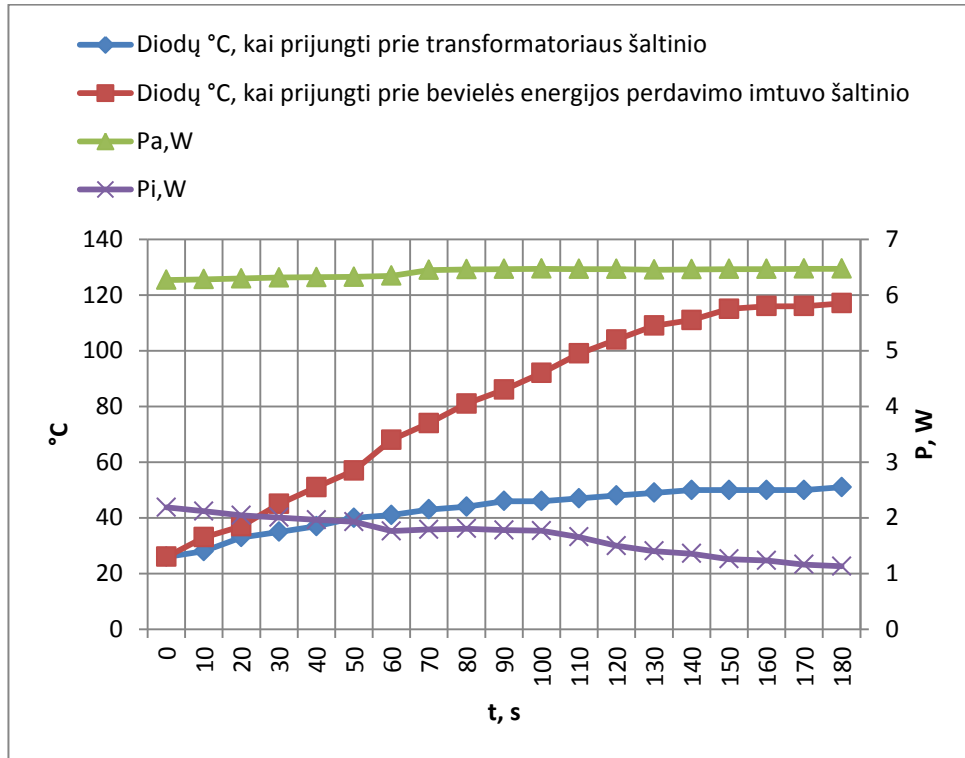
3.3 lentelė. Diodų temperatūrų ir galių priklausomybės nuo laiko

Diodų matavimas panaudojant transformatoriaus šaltinį					Diodų matavimas panaudojant bevielę energijos perdavimo imtuvo šaltinį						
t, s	U_a, V	I_a, A	$^{\circ}C$	P_a, W	U_s, V	I_s, A	U_i, V	I_i, A	$^{\circ}C$	P_s, W	P_i, W
0	10,28	0,61	26	6,2708	12	1,02	4,86	0,45	26	12,24	2,187
10	10,3	0,61	28	6,283	12	1,03	4,71	0,45	33	12,36	2,1195
20	10,32	0,61	33	6,2952	12	1,06	4,65	0,44	37	12,72	2,046
30	10,35	0,61	35	6,3135	12	1,09	4,56	0,44	45	13,08	2,0064
40	10,36	0,61	37	6,3196	12	1,12	4,57	0,43	51	13,44	1,9651
50	10,37	0,61	40	6,3257	12	1,15	4,49	0,43	57	13,8	1,9307
60	10,4	0,61	41	6,344	12	1,16	4,2	0,42	68	13,92	1,764
70	10,4	0,62	43	6,448	12	1,2	4,27	0,42	74	14,4	1,7934
80	10,42	0,62	44	6,4604	12	1,22	4,3	0,42	81	14,64	1,806
90	10,43	0,62	46	6,4666	12	1,25	4,24	0,42	86	15	1,7808
100	10,44	0,62	46	6,4728	12	1,26	4,21	0,42	92	15,12	1,7682
110	10,43	0,62	47	6,4666	12	1,27	4,04	0,41	99	15,24	1,6564
120	10,43	0,62	48	6,4666	12	1,24	3,75	0,4	104	14,88	1,5
130	10,41	0,62	49	6,4542	12	1,21	3,6	0,39	109	14,52	1,404
140	10,42	0,62	50	6,4604	12	1,19	3,48	0,39	111	14,28	1,3572
150	10,43	0,62	50	6,4666	12	1,17	3,32	0,38	115	14,04	1,2616
160	10,43	0,62	50	6,4666	12	1,16	3,25	0,38	116	13,92	1,235
170	10,44	0,62	50	6,4728	12	1,14	3,14	0,37	116	13,68	1,1618
180	10,44	0,62	51	6,4728	12	1,12	3,06	0,37	117	13,44	1,1322

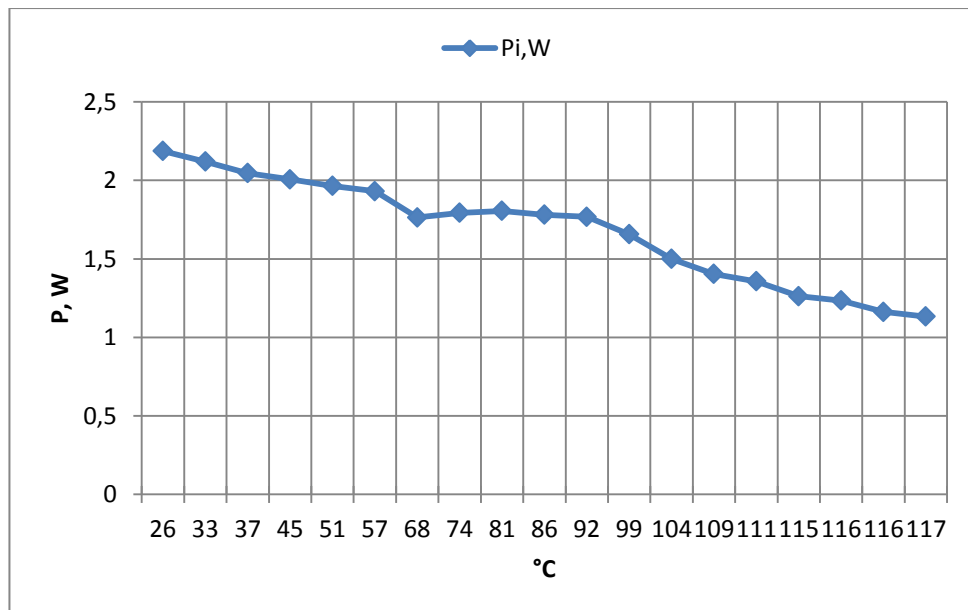


3.10 pav. Transformatoriaus, siųstuvo ir imtuvo galių priklausomybės nuo laiko ir temperatūros

3.10 paveiksle matyti siųstuvo galios (P_s, W) auganti ir po to mažėjanti priklausomybė nuo laiko ir lyginimo diodų temperatūros. Šitokia priklausomybė apsunkina tolesnių tyrimų matavimų registravimą kintant laikui.



3.11 pav. Lyginimo diodų temperatūros priklausomybės nuo laiko su skirtingais maitinimo šaltiniais



3.12 pav. Imtuvo galios priklausomybė nuo temperatūros

3.11 paveiksle matyti, kad prie 50 Hz dažnio įtampos šaltinio prijungti diodai su didesne apkrovos galia kaista daug mažiau negu prie $1,156\text{ MHz}$ dažnio beveik visą energijos perdavimo imtuvo įtampos šaltinio prijungti diodai su mažesne galia kaista dvigubai daugiau. Iš to galima teigti, kad lyginimo diodų temperatūra yra didelė todėl, kad didelis dažnis iššaukia paviršinį efektą. Šis efektas pasireiškia, kai kuo aukštesnio dažnio kintama srovė, tuo plonesniu laidininko paviršiaus sluoksniu ji teka. Todėl srovė tekėdama plono laidininko šiuo atveju lyginimo diodų paviršiumi jį šildo.

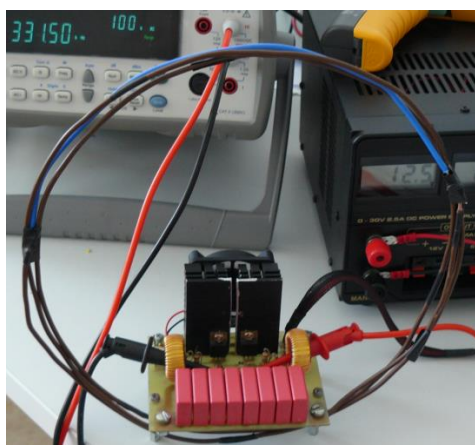
3.12 paveiksle matyti, kad šylant lyginimo diodams laikui bėgant jų varža didėja, todėl imtuvo galia mažėja.

3.4 Siųstuvo ričių parinkimas ir dažnio įtaka su skirtingomis ritėmis tyrimas

Tyrimo tikslas nustatyti siųstuvo geriausią ritę prie demonstracinio modelio imtuvo standartinės ritės bei išnagrinėti ritės įtaka siųstuvo generuojamam dažniui.

Tyrimui pasirinkti variniai monolitiniai kabeliai: $1,5\text{ mm}^2$, $2,5\text{ mm}^2$, 4 mm^2 ir 6 mm^2 minkštas daugiagyslis kabelis. Siųstuvo ritės buvo vyniojamos įvairių skerspjūvių, skersmenų ir skirtingų vijų skaičių (3.13 pav.). Imtuvo standartinės ritės skersmuo yra 20 cm , vijos skerspjūvio plotas 113 cm . Atliekant matavimus siųstuvo ir imtuvo ritės sustatytos viena priešais kita 5 cm atstumu.

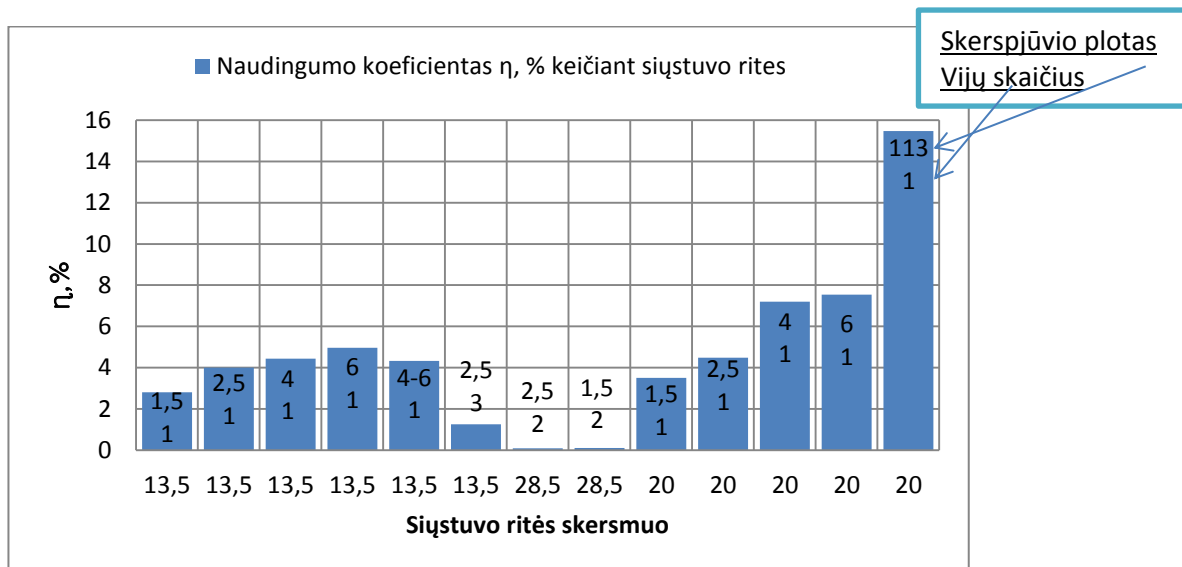
Matuojama siųstuvo bendra grandinės srovė (I_s), įtampa (U_s), imtuvo srovė (I_i), įtampa (U_i) bei siųstuvo dažnis (f_s) ir siųstuvo ramybės srovė (I_r) kai šalia nėra imtuvo. Matavimo duomenys pateikti 3.4 lentelėje.



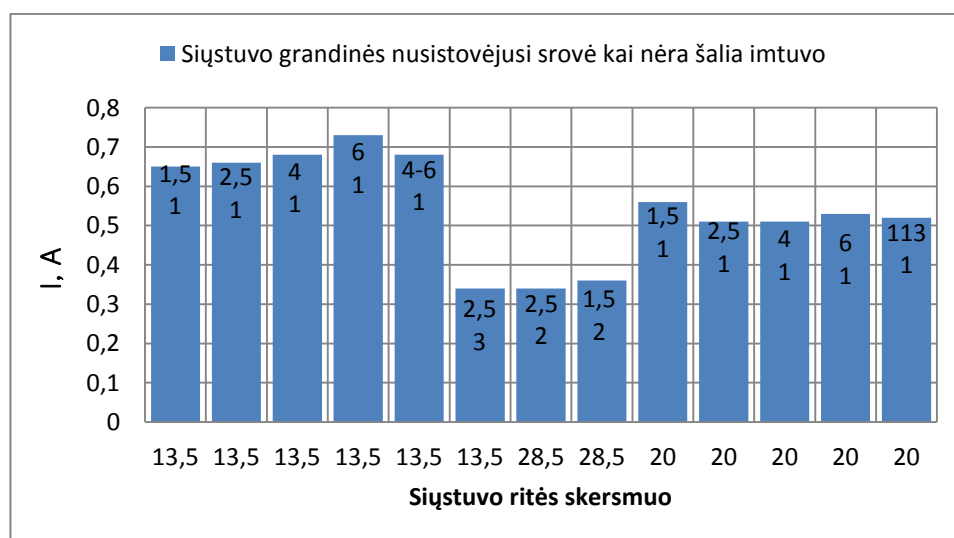
3.13 pav. Siųstuvas su pakeista rite

3.4 lentelė. Matavimo priklausomybės su skirtingomis siūstovo ritėmis

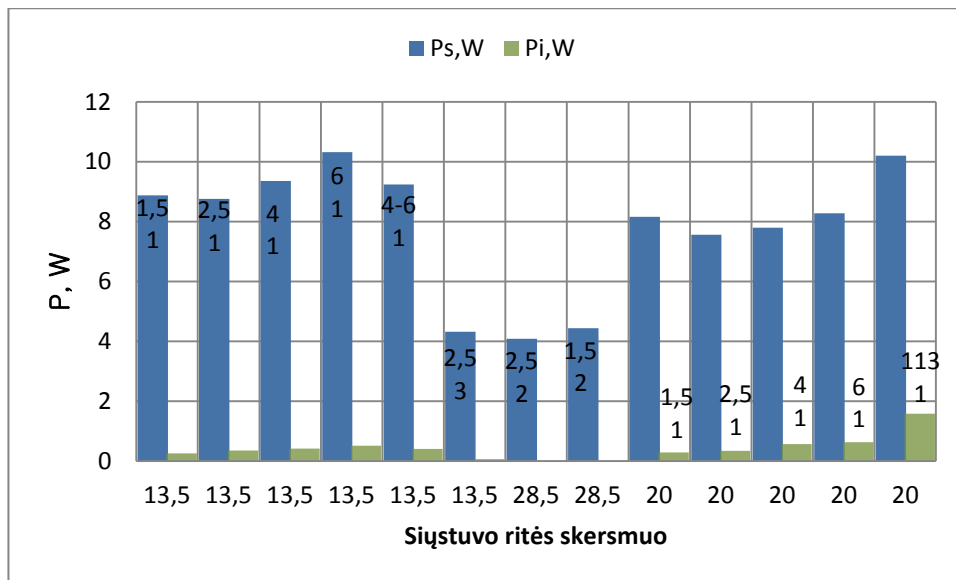
Eil. Nr.	U_s, V	I_s, A	U_i, V	I_i, A	d, cm	mm^2	N_s, sk	f_i, MHz	I_r, A	Ps, W	P_i, W	$\eta, \%$
1	12	0,74	0,96	0,26	13,5	1,5	1	1,06007	0,65	8,88	0,249	2,81081
2	12	0,73	1,25	0,28	13,5	2,5	1	1,08781	0,66	8,76	0,35	3,99543
3	12	0,78	1,43	0,29	13,5	4	1	1,12085	0,68	9,36	0,414	4,43055
4	12	0,86	1,65	0,31	13,5	6	1	1,18665	0,73	10,32	0,511	4,95639
5	12	0,77	1,38	0,29	13,5	4ir6	1	1,12085	0,68	9,24	0,400	4,33116
6	12	0,36	0,32	0,17	13,5	2,5	3	0,476	0,34	4,32	0,054	1,25925
7	12	0,34	0,07	0,05	28,5	2,5	2	0,398	0,34	4,08	0,003	0,08578
8	12	0,37	0,08	0,06	28,5	1,5	2	0,400	0,36	4,44	0,004	0,10810
9	12	0,68	1,06	0,27	20	1,5	1	0,875	0,56	8,16	0,286	3,50735
10	12	0,63	1,21	0,28	20	2,5	1	0,895	0,51	7,56	0,338	4,48148
11	12	0,65	1,81	0,31	20	4	1	0,921	0,51	7,8	0,561	7,19359
12	12	0,69	1,95	0,32	20	6	1	0,955	0,53	8,28	0,624	7,53623
13	12	0,85	3,85	0,41	20	113	1	1,16366	0,52	10,2	1,578	15,4754



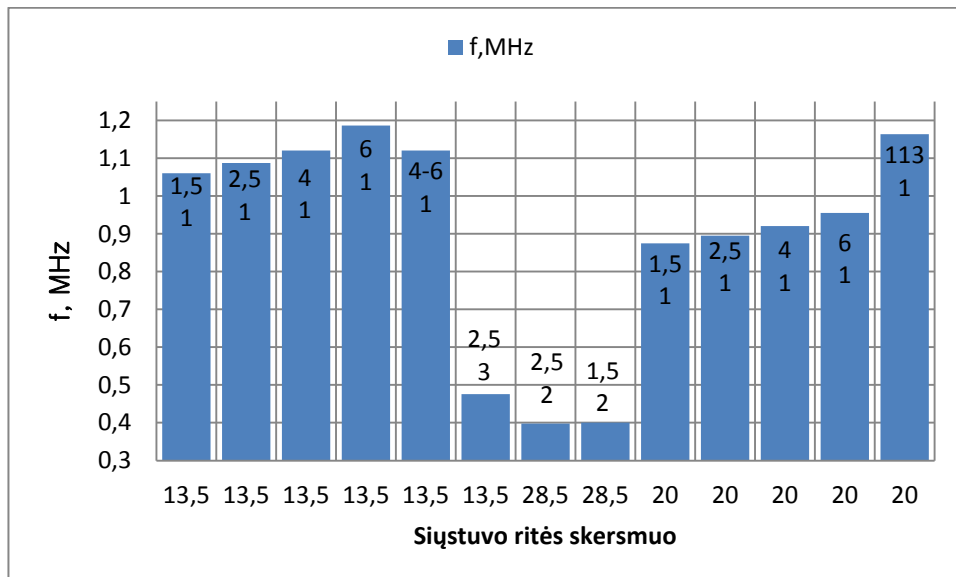
3.14 pav. Bevielės energijos perdavimo sistemos naudingumo koeficientas prie skirtingų siūstovo ričių



3.15 pav. Siūstovo grandinės ramybės srovė prie skirtingų siūstovo ričių



3.16 pav. Siųstuvo ir imtuvo galių skirtumai prie skirtingų siųstuvo ričių



3.17 pav. Dažnio priklausomybė nuo skirtingų siųstuvo ričių

3.14 paveiksle matyti bevielės energijos perdavimo sistemos naudingumo koeficientas keičiant siųstuvo rites. Prie vienodų ričių skersmenų ir vijų skaičiaus keičiant vijos skerspjūvio plotą nuo $1,5\text{ mm}^2$ iki 6 mm^2 galios perdavimo efektyvumas didėja. Didinant ritės vijų skaičių energijos efektyvumas žymiai sumažėja, dėl ritės padidėjusio induktyvumo. Prie didesnio ritės induktyvumo ir dažnio, ritės induktyvinė varža didėja ($X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$). Grafike matyti efektyviausias energijos perdavimas, kai ritė yra tokio pat diametro (20 cm) ir skerspjūvio (113 mm^2) ploto kaip imtuvo ritė.

Iš 3.15 paveikslo matyti, kad prie mažų ričių skersmenų ir didelių laidininko skerspjūvio plotų, siūstovo grandinės rėmybės srovė didėja. Tai yra dėl ritės didelio laidininko skerspjūvio ploto, trumpo ilgio ir mažos aktyviosios varžos.

3.16 paveiksle matyti, kad esant tarp siūstovo ir imtuvo 5 cm tarpui siūstovo galios perdavimas imtuvui yra labai menkas. Reikia nepamiršti nuostoliai dar susideda iš siūstovo grandinėje šylančių elementų, imtuvo grandinėje šylančių lyginimo diodų, bei esančio 5 cm oro tarpo tarp siūstovo ir imtuvo.

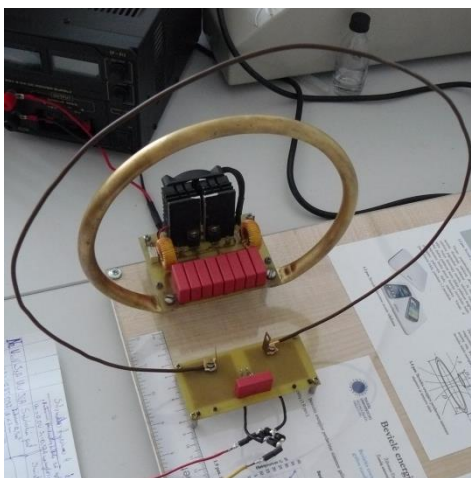
Iš 3.17 paveikslo matyti, kad prie skirtingų ričių keičiasi siūstovo dažnis. Didinat siūstovo ritės vijų skaičių dažnis mažėja. Dažnis didėja prie mažesnio ritės skersmens, tai yra prie trumpesnio ritės laidininko ilgio.

3.5 Imtuvo ričių parinkimo tyrimas

Tyrimo tikslas nustatyti imtuvo geriausią ritę prie demonstracinio modelio siūstovo standartinės ritės.

Tyrimui pasirinkti variniai monolitiniai kabeliai: $1,5\text{ mm}^2$, $2,5\text{ mm}^2$, 4 mm^2 ir 6 mm^2 minkštas daugiagyslis kabelis. Siūstovo ritės buvo vyniojamos įvairių skerspjūvių, skersmenų ir skirtingų vijų skaičių (3.18 pav.). Siūstovo standartinės ritės skersmuo yra 20 cm , vijos skerspjūvio plotas 113 cm . Atliekant matavimus siūstovo ritė ir imtuvo ritė sustatytos viena priešais kita 5 cm atstumu.

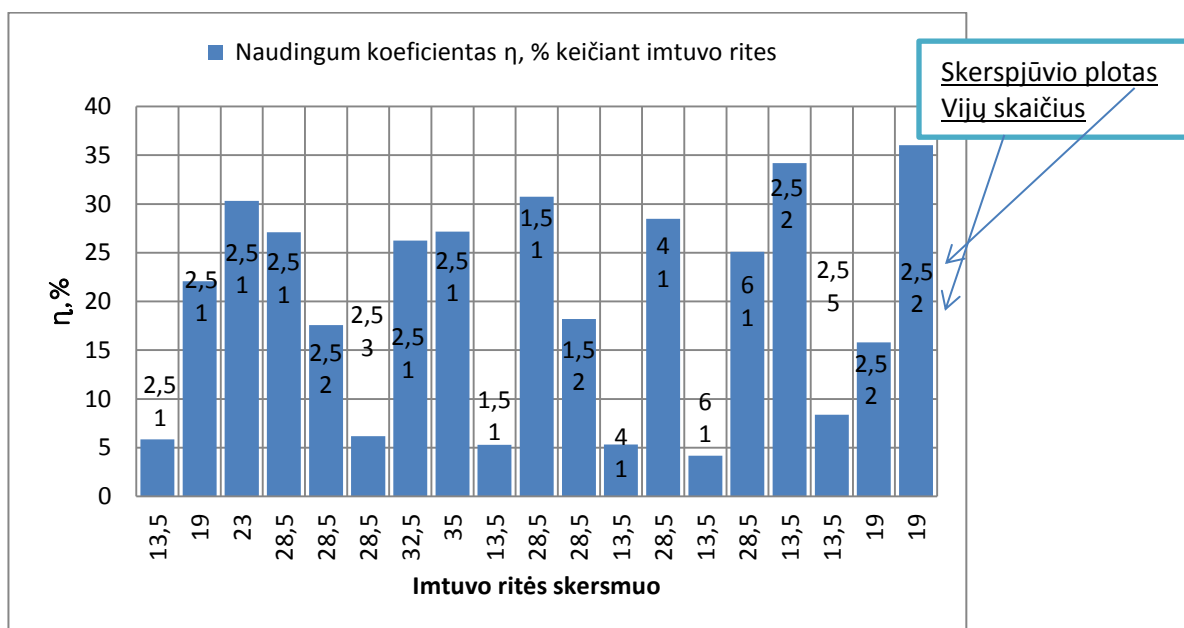
Matuojama siūstovo bendra grandinės srovė (I_s), įtampa (U_s), imtuvo srovė (I_i), įtampa (U_i) bei siūstovo dažnis (f_s) ir siūstovo rėmybės srovė (I_r) kai šalia nėra imtuvo. Matavimo duomenys pateikti 3.5 lentelėje.



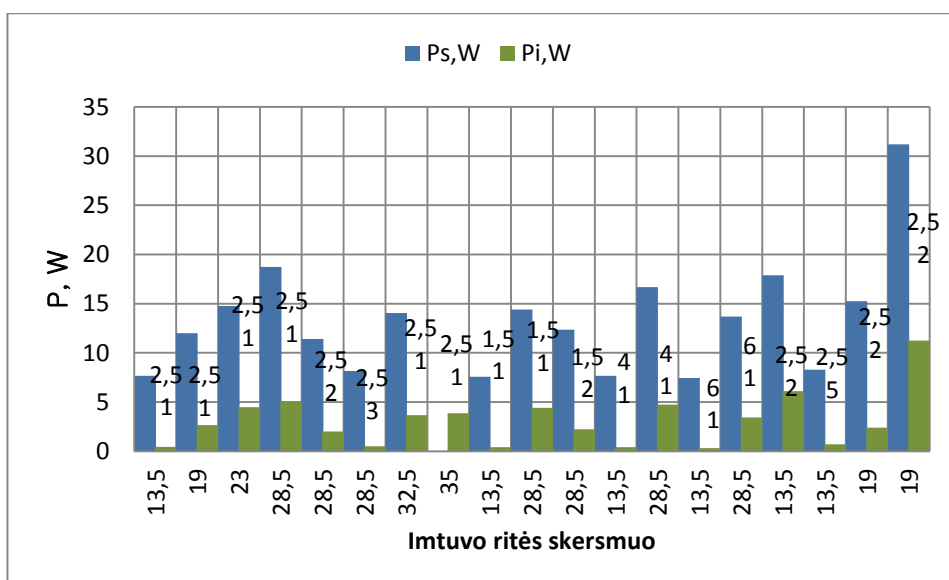
3.18 pav. Imtuvas su pakeista rite prie standartinės siūstovo ritės

3.5 lentelė. Matavimo priklausomybės su skirtingomis imtuvo ritėmis

Eil. Nr.	U_s, V	I_s, A	U_i, V	I_i, A	d, cm	mm^2	N_i, sk	P_s, W	P_i, W	$\eta, \%$
1	12	0,64	1,5	0,3	13,5	2,5	1	7,68	0,45	5,859375
2	12	1	5,52	0,48	19	2,5	1	12	2,6496	22,08
3	12	1,23	7,85	0,57	23	2,5	1	14,76	4,4745	30,31504
4	12	1,56	8,6	0,59	28,5	2,5	1	18,72	5,074	27,1047
5	12	0,95	4,55	0,44	28,5	2,5	2	11,4	2,002	17,5614
6	12	0,68	1,68	0,3	28,5	2,5	3	8,16	0,504	6,176471
7	12	1,17	6,95	0,53	32,5	2,5	1	14,04	3,6835	26,23575
8	12	1,19	7,18	0,54	35	2,5	1	14,28	3,8772	27,15126
9	12	0,63	1,38	0,29	13,5	1,5	1	7,56	0,4002	5,293651
10	12	1,2	7,77	0,57	28,5	1,5	1	14,4	4,4289	30,75625
11	12	1,03	5	0,45	28,5	1,5	2	12,36	2,25	18,20388
12	12	0,64	1,41	0,29	13,5	4	1	7,68	0,4089	5,324219
13	12	1,39	8,19	0,58	28,5	4	1	16,68	4,7502	28,47842
14	12	0,62	1,15	0,27	13,5	6	1	7,44	0,3105	4,173387
15	12	1,14	6,6	0,52	28,5	6	1	13,68	3,432	25,08772
16	12	1,49	9,7	0,63	13,5	2,5	2	17,88	6,111	34,17785
17	12	0,69	2,1	0,33	13,5	2,5	5	8,28	0,693	8,369565
18	12	1,27	5,24	0,46	19	2,5	2	15,24	2,4104	15,81627
19	12	2,6	14,6	0,77	19	2,5	2	31,2	11,242	36,03205



3.19 pav. Bevielės energijos perdavimo sistemos naudingumo koeficientas prie skirtingų imtuvo ričių



3.20 pav. Siųstuvo ir imtuvo galių skirtumai prie skirtingų imtuvo ričių

3.19 paveiksle pateiktas bevielės energijos perdavimo sistemos naudingumo koeficientas keičiant imtuvo rites. Iš grafiko paskutinių dviejų ričių, kurių skersmuo 19 cm , skerspjūvio plotas $2,5\text{ mm}^2$ ir dvi vijos buvo atliktas bandymas. Imtuvo ritė efektyviausia, kai lygiagrečiai imtuvo ritės prijungtas $4,6\text{ nF}$ kondensatorius. Imtuvo ritės skersmuo 19 cm , skerspjūvio plotas $2,5\text{ mm}^2$ ir dvi vijos. Imtuvo išėjimo galia padidėjo dėl rezonanso, kurį įšaukė atitikusio siųstuvo dažnis ir ritės induktyvumas.

3.20 paveiksle matyti, kad esant tarp siųstuvo ir imtuvo 5 cm tarpui siųstuvo galios perdavimas imtuvui yra labai menkas. Reikia nepamiršti nuostoliai dar susideda iš siųstuvo grandinėje šylančių elementų, imtuvo grandinėje šylančių lyginimo diodų, bei esančio 5 cm oro tarpo tarp siųstuvo ir imtuvo.

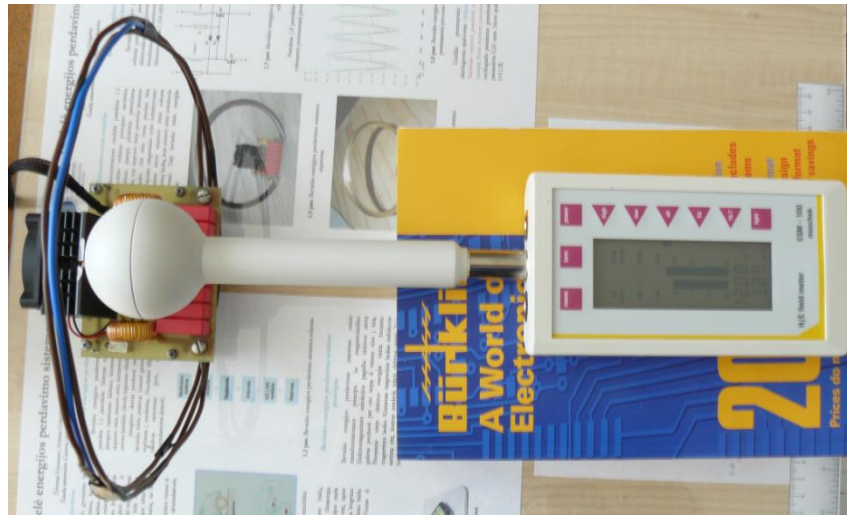
3.6 Siųstuvo magnetinio ir elektrinio lauko stiprio tyrimas

Tyrimo tikslas išmatuoti magnetinio ir elektrinio lauko stiprio pokyti esant skirtingai siųstuvo maitinimo įtampai (3.21 pav.). Taip pat išmatuoti magnetinio ir elektrinio lauko stiprio pokyti esant skirtingam matuoklio atstumui nuo siųstuvo.

Magnetinio ir elektrinio lauko matuoklis kintamą magnetinį lauką matuoja nuo 5 Hz - 400 kHz , o bevielės energijos perdavimo siųstuvo dažnis yra $1,156\text{ MHz}$. Tenka siųstuvo dažni pakeisti į žemesnį, kad prietaisas matuotų teisingai. Demonstracinio modelio siųstuvo dažnis nereguliuojamas. Dažnį galima sumažinti keičiant siųstuvo ritę.

Siųstuvo ritė pagaminta iš $2,5\text{ mm}^2$, 3 vijų ir 20 cm skersmens varinio monolitinio kabelio. Siųstuvo dažnis prie tokios ritės 331 kHz .

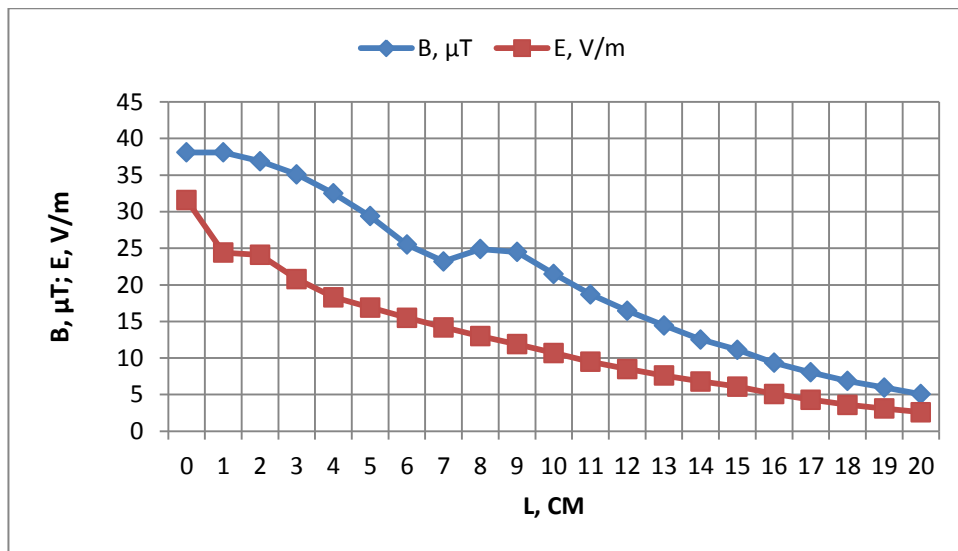
Matuojama siųstuvo bendra grandinės srovė (I_s), įtampa (U_s), magnetinis laukas (B) ir elektrinis (E). Matavimo duomenys pateikti 3.6 lentelėje.



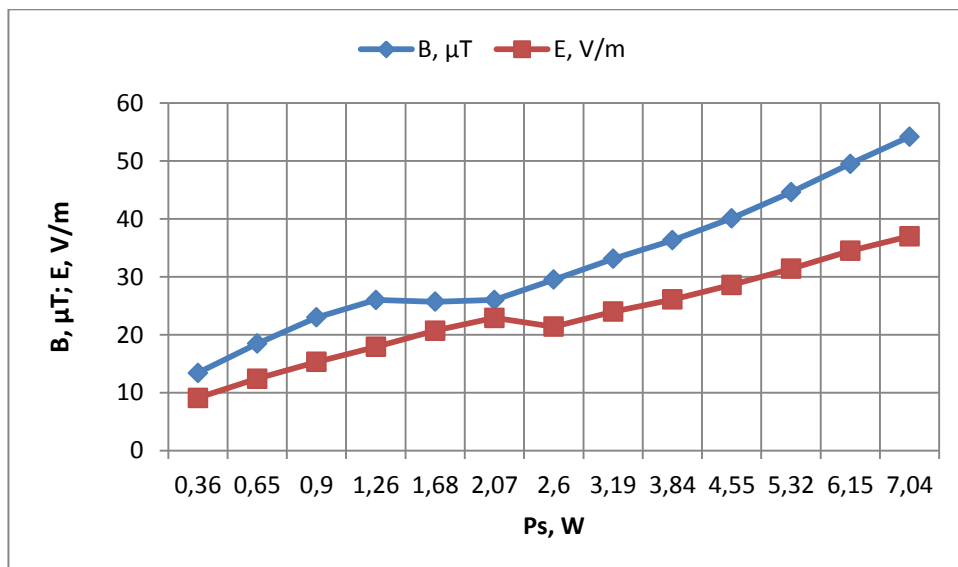
3.21 pav. Elektrinio lauko stiprio matavimas

3.6 lentelė. Elektrinio lauko stiprio priklausomybės nuo siųstuvo galios ir atstumo

Priklausomybės keičiant maitinimo šaltinio įtampą					Priklausomybės keičiant siųstuvo atstumą		
U_s, V	I_s, A	P_s, W	$B, \mu T$	$E, V / m$	l, cm	$B, \mu T$	$E, V / m$
4	0,09	13,41	9,1	0,36	0	38,1	31,6
5	0,13	18,45	12,4	0,65	1	38,1	24,4
6	0,15	23	15,3	0,9	2	36,9	24,1
7	0,18	26	17,9	1,26	3	35,1	20,8
8	0,21	25,7	20,7	1,68	4	32,5	18,3
9	0,23	26	22,9	2,07	5	29,4	16,9
10	0,26	29,5	21,4	2,6	6	25,5	15,5
11	0,29	33,1	24	3,19	7	23,2	14,2
12	0,32	36,3	26,1	3,84	8	24,9	13
13	0,35	40,1	28,6	4,55	9	24,5	11,9
14	0,38	44,6	31,4	5,32	10	21,5	10,7
15	0,41	49,5	34,5	6,15	11	18,71	9,5
16	0,44	54,2	37	7,04	12	16,47	8,5



3.22 pav. Magnetinio ir elektrinio lauko stiprio priklausomybė nuo atstumo



3.23 pav. Magnetinio ir elektrinio lauko stiprio priklausomybė nuo siūstovo galios

3.22 paveiksle matyti, kad atstumui didėjant tarp siūstovo ir matuoklio, elektrinio ir magnetinio lauko stipris mažėja. Ties 8 cm grafike matomas magnetinės indukcijos netiesiškumas, kurį galėjo įtakoti magnetinio lauko baigiančios verti linijos arba aplinkos elektrinio lauko pokytis, kurį galėjo įnešti pvz. mobiliojo telefono elektrinis laukas.

3.23 paveiksle pateikta magnetinio ir elektrinio lauko stiprio priklausomybė nuo siūstovo maitinimo šaltinio galios. Šaltinio galiai didėjant siūstovo ritėje kuriamas didesnis kintamas magnetinis laukas, todėl didėja kintamo magnetinio lauko stipris. Magnetinio ir elektrinio lauko stiprio priklausomybė yra tiesinė.

Skystiaus rezultatus apibendrinančios išvados:

1. Pagaminto bevielės energijos perdavimo demonstracinio modelio naudingumo koeficientas yra $\eta = 34,44\%$.
2. Demonstracinio modelio siunčiamos energijos žemą naudingumo koeficientą lėmė:
 - siųstuvo grandinė ramybės režime vartoja $6,96W$ galią kurią išspinduliuoja į šilumą siųstuvo grandinėje šylantys elementai;
 - dėl magnetinių nuostolių siunčiamu per orą, nes kintamas magnetinis laukas yra nesukoncentruotas į imtuvą ir sklinda į visas puses;
 - dėl imtuve šilumą spinduliuojančių lyginimo diodų.
3. Ištyrus lyginimo diodų didelį kaitimą paaiškėjo, kad aukštas siųstuvo generuojamas dažnis iššaukia paviršinį efektą. Šis efektas pasireiškia, kai kuo aukštesnio dažnio kintama srovė, tuo plonesniu laidininko paviršiaus sluoksniu ji teka. Todėl didelė srovė tekėdama plonu laidininku šiuo atveju lyginimo diodų paviršiumi jį šildo. Šylant lyginimo diodams jų varža didėja, taip siųstuvo grandinėje didindama galios nuostolius.
4. Tiriant bevielės energijos perdavimo galią su skirtingomis siųstuvo ir imtuvo ritėmis paaiškėjo, kad efektyviausias energijos perdavimas, kai siųstuvo ritė yra tokio pat diametro (20 cm) ir skerspjūvio (113 mm^2) ploto kaip imtuvo ritė. Imtuvo ritė efektyviausia, kai lygiagrečiai imtuvo ritės prijungtas $4,6\text{ nF}$ kondensatorius. Imtuvo ritės skersmuo 19 cm , skerspjūvio plotas $2,5\text{ mm}^2$ ir dvi vijos.
5. Didėjant siųstuvo kintamam magnetiniu laukui, magnetinio ir elektrinio lauko stiprio matuoklio priklausomybė didėja tiesiškai.

4. IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Bevielės energijos perdavimas paremtas orinio transformatoriaus principu be magnetolaidžio. Elektromagnetinės indukcijos pagalba elektros srovę galima perduoti per oro tarpą iš vienos ritės į kitą. Siųstuvo ir imtuvo ritės suformuoja abipusio magnetinio ryšio induktyvumo sistemą. Kintama srovė siųstuvo ritėje sukuria kintamą magnetinį lauką, kuri imtuvo ritėje indukuoja EVJ (elektrovara). Taip bevieliu būdu energija pasiekia imtuvą.

Tiriamąjį darbo tikslas ištirti bevielio energijos perdavimo veikimą ir siunčiamos energijos efektyvumą. Išnagrinėti išskylančius sunkumus tiriant ir matuojant bevielės energijos perdavimą.

Bevielės energijos perdavimo realios grandinės ir „MATLAB Simscape“ aplinkoje sumodeliuotos grandinės modelio praktiniai tyrimai. Rezultatai:

1. Iš atliktų tyrimų matyti, kad siųstuvo kintamos įtampos generavimo dažnis priklauso nuo kondensatoriaus C_3 talpos. Mažinant kondensatoriaus C_3 talpą dažnis didėja, didinant C_3 kondensatoriaus talpą dažnis mažėja.
2. Dėl saviindukcijos reiškinio ritėje, srovės kitimas grandinėje atsilieka nuo įtampos kitimo grandinės galuose: srovė pasiekia savo maksimalią vertę vėliau negu įtampa.
3. Realioje grandinėje grafike gauta generatoriaus nuolatinė maitinimo įtampa (2.6 – 2.8 pav.), (žalia kreivė) yra netiesiška, lyginant su modeliavimo programoje gautomis kreivėmis (2.2 – 2.5 pav.), (geltona kreivė). Tai yra dėl siųstuvo ritės grandinėje gaunamų apkrovų kitimų, perjunginėjant įtampas ritėje₁ ir ritėje₂. Bei siųstuvo grandinėje pajungto mažos galios maitinimo šaltinio, kuriame menkiausia apkrova virsta įtampos kritimų.
4. Su įterpta rezonansine rite matomas žymus srovės ir siunčiamos energijos atstumo padidėjimas. Toks energijos perdavimas imtuvui yra efektyvesnis.

Bevielės energijos perdavimo demonstracinio modelio praktiniai tyrimai. Rezultatai:

1. Pagaminto bevielės energijos perdavimo demonstracinio modelio naudingumo koeficientas yra $\eta = 34,44\%$.
2. Demonstracinio modelio siunčiamos energijos žemą naudingumo koeficientą lėmė:
 - siųstuvo grandinė ramybės režime vartoja 6,96W galią kurią išspinduliuoja į šilumą siųstuvo grandinėje šylantys elementai;
 - dėl magnetinių nuostolių siunčiamu per orą, nes kintamas magnetinis laukas yra nesukoncentruotas į imtuvą ir sklinda į visas puses;
 - dėl imtuve šilumą spinduliuojančių lyginimo diodų.
3. Ištyrus lyginimo diodų didelį kaitimą paaiškėjo, kad aukštas siųstuvo generuojamas dažnis iššaukia paviršinį efektą, kuo aukštesnio dažnio kintama srovė, tuo plonesniu laidininko paviršiaus sluoksniu

ji teka. Šylant lyginimo diodams jų varža didėja, taip siūstovo grandinėje didindama galios nuostolius.

4. Tiriant bevielės energijos perdavimo galią su skirtingomis siūstovo ir imtuvo ritėmis paaiškėjo, kad efektyviausias energijos perdavimas, kai siūstovo ritė yra tokio pat diametro (20 cm) ir skerspjūvio (113 mm^2) ploto kaip imtuvo ritė. Imtuvo ritė efektyviausia, kai lygiagrečiai imtuvo ritės prijungtas $4,6\text{ nF}$ kondensatorius. Imtuvo ritės skersmuo 19 cm , skerspjūvio plotas $2,5\text{ mm}^2$ ir dvi vijos.

Pasiūlymai:

Bevielės energijos perdavimas aktuali tema šiuolaikiniame mobiliame gyvenimo būde.

Kitų tyrimų sekantis uždavinys labiau panagrinėti ir ištirti bevielės energijos perdavimo rezonansinius reiškinius, siekiant padidinti perduodamos energijos efektyvumą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Bevielė energija [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-04-20]. Prieiga per internetą: <193.219.81.80/~s0925032/temos/wirelesspower.doc>.
2. PLESKAS, Stanislovas. *Antriniai elektros maitinimo šaltiniai* [interaktyvus]. Vilnius, 2007 [žiūrėta 2013-04-22]. Prieiga per internetą: <http://eif.viko.lt/uploads/file/destytoju_darbai/s_pleskas/Pleskas%20S.%20Maitinimo%20saltiniai.pdf>.
3. Reguliuojamas maitinimo šaltinis [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-03-04]. Prieiga per internetą: <http://lemona.lt/index.php?page=item&i_id=46448>.
4. Miniature wireless power demonstrator [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-03-02]. Prieiga per internetą <<http://markobakula.wordpress.com/wireless-power/miniature-wireless-power-demonstrator/>>.
5. Bridge rectifiers [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-03-02]. Prieiga per internetą: <<http://electronicsclub.info/diodes.htm>>.
6. Wireless Power Consortium, Creating the Standard for Wireless Charging, March 15, 2011 [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-04-20]. Prieiga per internetą: <<http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/basic-principle-of-inductive-power-transmission.html>>.
7. MASIOKAS, Stanislovas. *Elektrotechnika*. Vilnius, 1989. 259p. ISBN 5-420-00145-4.
8. Proxi smartphone solution [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-02-15]. Prieiga per internetą: <<http://www.powerbyproxi.com/innovations/consumer/proxi-smartphone-solution/>>.
9. Elektromobiliai ir jų infrastruktūra [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-03-10]. Prieiga per internetą: <http://www.sumin.lt/lt/veikla/veiklos_sritys/kita_veikla/pletra_ir_inovacijos/ev>.
10. Automotive electrical firms developing wireless charging systems for electric and plug-in [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-02-15]. Prieiga per internetą: <<http://www.ecofriend.com/automotive-electrical-firms-developing-wireless-charging-systems-for-electric-and-plug-in.html>>.
11. RICCARDO, Carta; J. Thone; RUSSELL, Puers. A wireless power supply system for robotic capsular endoscopes. *Sensors and Actuators* [interaktyvus]. 2010 January, vol. 162, Issue 13, p.178 [žiūrėta 2012 m. sausio 23 d.]. Prieiga per Science Direct.
12. Pietų Korėjoje paleistas elektrinis traukinukas, energiją gaunantis nekontaktiniu būdu [interaktyvus]. [žiūrėta 2012-02-23]. Prieiga per internetą: <http://www.technologijos.lt/n/technologijos/automobiliai_ir_motociklai/S-12229/straipsnis/Pietu-Korejoje-paleistas-elektrinis-traukinukas-energija-gaunantis-nekontaktiniu-bdu?l=2&p=1>.

13. Non-invasive battery recharger and energy feeder for electronic implants [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-02-02]. Prieiga per internetą: < <http://www.mitportugal.org/press-releases/a-portuguese-fast-transcutaneous-non-invasive-battery-recharger-and-energy-feeder-for-electronic-implants.html>>.