

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Inžinerijos katedra

Dovydas Sakavičius

**BEVIELIO ENERGIJOS PERDAVIMO PER
FEROMAGNETINIŲ SAVYBIŲ TURINČIĄ KELIO
DANGĄ TYRIMAS**

Inovatyviųjų elektros ir automatikos sistemų studijų programos
magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas: doc. dr. Valdas Jankūnas

KLAIPĖDA, 2022

MAGISTRO BAIGIAMŲJŲ DARBŲ LYDRAŠTIS

Pildo magistro baigiamojo darbo autorius

Sakavičius Dovydas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Bevielio energijos perdavimo per feromagnetinių savybių turinčių kelio dangą tyrimas

(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

Sakavičius Dovydas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

Sakavičius Dovydas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

Pildo magistro baigiamojo darbo vadovas

Magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

doc. dr. Valdas Jankūnas

(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

(data)

Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje.....61JG-M-BD-I.....

A. Klemanskytė

(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

(data)

Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, vedėjas

Magistro baigiamąjį darbą ginti

doc. dr. Audrius Senulis

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

(data)

Recenzentu(-ais) skiriu

.....
(įrašyti recenzento(ų) vardą, pavardę)

doc. dr. Audrius Senulis

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

(data)

SANTRAUKA

Sakavičius D. Bevielio energijos perdavimo per feromagnetinių savybių turinčią kelio dangą tyrimas. Inovatyviųjų elektros ir automatikos sistemų studijų programos magistro baigiamasis darbas. Darbo vadovas: doc. dr. Valdas Jankūnas. Klaipėdos universitetas: Klaipėda, 2022.- 58p.

Darbe nagrinėjamos bevielio energijos perdavimo technologijos ir jų tobulinimo galimybės. Sukurtas bevielio energijos perdavimo stendas, kuris geba perduoti elektros energiją bevieliu būdu esant siųstuvo rezonansiniam dažniui. Literatūroje apžvelgiamos šios sistemos ir jų skirtingos technologijos energijos perdavimui. Aprašomi skirtingų technologijų privalumai ir trūkumai, bei kokios galios sistemos orientuotos technologijos. Darbe tiriamas feromagnetinės medžiagos gavimas iš antrinio panaudojimo elektronikos komponentų, bei aprašoma kaip gauti feromagnetinę medžiagą. Eksperimentų metu nustatyta, kad feromagnetinės medžiagos naudojimas tarp imtuvo ritės ir siųstuvo ritės neturi teigiamo energijos perdavimo efekto. Taip pat nustatyta, kad norint didinti atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo stipriai naudingumo faktorių pagerina aukštesnis rezonansinis dažnis.

Raktažodžiai: bevielis energijos perdavimas, feritai, feromagnetinės savybės, elektromobilis, rezonansas.

SUMMARY

Sakavičius D. Investigation of wireless energy transmission through road with ferromagnetic properties. Final thesis of Master degree Innovative electrical and automation systems study program. Thesis supervisor doc. Dr. Valdas Jankūnas. Klaipėda University: Klaipėda, 2022.- 58p.

This essay examines wireless energy transmission technologies and their development possibilities. A wireless power transmission stand has been developed that can transmit electricity wirelessly at the resonant frequency of the transmitter. The literature reviews these systems and their technologies for energy transmission. The advantages and disadvantages of different technologies and the power system-oriented technologies are described. The paper investigates the production of ferromagnetic material from secondary used electronic components and describes how to obtain ferromagnetic material. Experiments have shown that the use of ferromagnetic material between the receiver coil and the transmitter coil does not have a positive energy transfer effect. It has also been found that to increase the distance between the transmitter and the receiver, the higher the resonant frequency increases strongly.

Keywords: wireless energy transmission, ferrites, ferromagnetic properties, electric car, EV, resonance.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 Lentelė. Įkrovimo greitis ir efektyvumas.[2].....	12
2 Lentelė. Palyginimas "Plugless power", "Qualcomm Halo", "Witricity"[2].....	13
3 Lentelė. Elektromagnetinės indukcijos ir elektromagnetinio rezonanso technologijos [45].	17
4 Lentelė. Sistemos konfigūracijos.....	18
5 Lentelė. Konfigūracijų schemos.	20
6 Lentelė. Pagrindinės kompensavimo schemos[49].	22
7 Lentelė. Feritų tipai ir savybės.	25
8 Lentelė. Ričių parametrai prie 100-120Hz.	29
9 Lentelė. Ričių parametrai prie 1kHz.....	29
10 Lentelė. Ričių parametrai prie 10kHz.....	30
11 Lentelė. Ričių parametrai prie 100-120Hz.	30
12 Lentelė. Nr.5 ritės fiksuoti parametrai.....	38
13 Lentelė. Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai.	39
14 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos ant L1 ritės tyrimo matavimo rezultatai.....	39
15 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos po L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai.....	40
16 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos tarp ričių L1 ir L2 tyrimo matavimo rezultatai.....	41
17 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai.....	41
18 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos po L1 ritės tyrimo matavimo rezultatai.....	42
19 Lentelė. Nr.6, Nr.7 ritės fiksuoti parametrai.....	43
20 Lentelė. Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7... 43	
21 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos ant L1 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7. 44	
22 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos po L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.. 44	
23 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos tarp ričių L1 ir L2 tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.....	44
24 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7. 45	
25 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos po L1 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7. . 45	
26 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos 75g po L1 rite ir 75g medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.....	46
27 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos 75g ant L1 rites ir 75g medžiagos po L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.....	47
28 Lentelė. Nr.6, Nr.7 ritėmis fiksuoti parametrai padidinus atstumą tarp jų.....	48
29 Lentelė. Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7. Atstumas 15 cm.	48

30 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos 75g po L1 rite ir 75g medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.....	49
31 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos tarp ričių L1 ir L2 tyrimo matavimo rezultatai. Atstumas tarp ričių 15 cm.....	49
32 Lentelė. Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai padidintu rezonansiniu dažniu. Ritės Nr.6, Nr.7. Atstumas 15 cm.....	50
33 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos 75g po L1 rite ir 75g medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai padidintu rezonansiniu dažniu. Ritės Nr.6, Nr.7. Atstumas 15 cm.	50
34 Lentelė. Nr.6, Nr.7 ritėmis fiksuoti parametrai tyrimams su padidintu dažniu.....	51
35 Lentelė. Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai padidintu rezonansiniu dažniu. Ritės Nr.6, Nr.7. Atstumas 10 cm.....	51
36 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos 75g po L1 rite ir 75g medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai padidintu rezonansiniu dažniu. Ritės Nr.6, Nr.7. Atstumas 10 cm.	51

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 Pav. Dinaminės sistemos maitinimo schemas[2].	16
2 Pav. Krovimo pado XYZ tolerancija.	23
3 Pav. Tyrimo struktūra.	27
4 Pav. LCR Matuoklis Aim-TTi LCR400	28
5 Pav. Nr.1-Nr.5 ritės	29
6 Pav. Nr.6 ir Nr.7 ritės.	30
7 Pav. Matavimo schema.	30
8 Pav. SS topologijos schema. [58]	31
9 Pav. „UniTrain-I System SO4203-2A Interface“ eksperimentinė įranga.	31
10 Pav. Lucas-Nülle „LabSoft“ dažnio generatoriaus programa.	31
11 Pav. Primityvus stendo 3D modelis.	32
12 Pav. Realus standas.	33
13 Pav. Smulkinti feritai.	34
14 Pav. Feritai sumaišyti su šratais.	34
15 Pav. Malimo mašina GUNT Hamburg CE 245.	34
16 Pav. Gauti milteliai iš feritų.	34
17 Pav. Tyrimo schema.	35
18 Pav. Be įterptos feritinės medžiagos matavimas.	38
19 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas ant L1 ritės.	39
20 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas po L2 rite.	40
21 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas matuojant įterpus ją tarp ričių.	40
22 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas ant L2 ritės.	41
23 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas po L1 rite.	42
24 Pav. Nr.5 ričių tyrimu rezultatų stulpelinė diagrama.	42
25 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas po L1 rite ir ant L2 ritės.	46
26 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas ant L1 rites ir po L2 rite.	46
27 Pav. Nr.6-Nr.7 ričių tyrimu rezultatų stulpelinė diagrama. Atstumas 10cm.	47
28 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas po L1 rite ir ant L2 ritės 15cm atstumui.	48
29 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas įterpus ją tarp ričių 15cm atstumui.	49
30 Pav. Nr.6-Nr.7 ričių tyrimu rezultatų stulpelinė diagrama. Atstumas 15cm.	50
31 Pav. Nr.6-Nr.7 ričių tyrimu rezultatų stulpelinė diagrama.~70 kHz. Atstumas 10cm.	52

SANTRUMPU SĄRAŠAS

EV- (Angl. Electric Vehicle) Elektromobilis.

BEV- (Angl. Battery Electric Vehicle) Akumuliatorinė elektrinė transporto priemonė.

PHEV- (Angl. Plug-in hybrid electric vehicle) Įkraunama hibridinė elektrinė transporto priemonė.

V2H- (Angl. Vehicle-to-Home) Iš transporto priemonės i namus.

V2G- (Angl. Vehicle-to-Grid) Iš transporto priemonės i tinklą.

PTE- (Angl. Power Transfer Efficiency) Galios perdavimo efektyvumas.

WPT- (Angl. Wireless power transfer) Bevielis energijos perdavimas.

MRC- (Angl. Magnetic resonant coupling) Magnetinio rezonanso sąryšis

IPT- (Angl. Inductive Power Transfer) Indukcinis galios perdavimas.

TURINYS

ĮVADAS	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA	11
1.1 Bevielis elektromobilių krovimas	11
1.2 Bevielės energijos perdavimo technologijos.	16
1.3 MRC energijos perdavimo technologija	18
1.4 Tarptautiniai krovimo standartai.....	22
1.5 Feromagnetinės medžiagos ir savybės.....	24
2. BEVIELIO ENERGIJOS PERDAVIMO SISTEMOS KŪRIMAS IR FEROMAGNETINĖS MEDŽIAGOS GAVIMAS.....	27
2.1 Bevielio energijos perdavimo stendo kūrimas.....	28
2.2 Feromagnetinės medžiagos gavimas	33
3. ENERGIJOS PERDAVIMO TYRIMAS PER FEROMAGNETINIŲ DALELIŲ TURINČIAS MEDŽIAGAS.	35
IŠVADOS	53
LITERATŪROS SĄRAŠAS	54
PRIEDAI.....	59

IVADAS

Bevielis energijos perdavimas – inovatyvi technologija su įvairiomis panaudojimo galimybėmis, kai kurie smulkieji elektronikos prietaisai jau naudoja šią technologiją – mobilieji telefonų krovikliai, elektrinių dantų šepetėlių krovikliai, bevielės ausinės, bio-medicininiai implantai ir kita smulki technika. Šių dienų aktualija - pradėti naudoti šią technologiją didesnės galios perdavimo tikslais. Bevielio baterijų krovimo pagrindinė savybė, kad energijos perdavimas gali vykti oru, tai leidžia įrenginiui neturėti fizinių jungčių tarp kroviklio ir įrenginio. Ši technologija šiuo metu yra aktualiausia automobilių pramonės sektoriui – elektromobilių gamybai ir jų baterijų įkrovos įrangai. Didelės automobilių gamybos kompanijos skiria didelį finansavimą šių technologijų vystymui. Pasaulyje jau yra išrasta bevielio krovimo technologija ir pritaikyta automobilių krovimui, tačiau krovimo įrenginys pastatomas ant kelio paviršiaus, o automobilis turi tiksliai pozicionuoti imtuvo ritės padėtį virš siūstuvo ritės, efektyviausiam energijos perdavimui. Įdiegtas kroviklio siūstuvai ant kelio dangos trukdo pilnai ja naudotis, būtent dėl šios priežasties bus atliekas tyrimas per feromagnetinius medžiagas su tikslu montuoti siūstuvo ritės po kelio danga ar kelio dangoje pagerinant siūstuvo efektyvumą.

Darbo tikslas

Sukonstruoti bevielio energijos perdavimo ričių modelį, kuris perduotų energiją per atstumą, imituojant krovimą automobiliui ir iširti ar įmanoma technologiją pagerinti, kai tarp siūstuvo ir imtuvo turime tarpinę medžiagą - kelio dangą su feromagnetinėmis savybėmis. Technologiją panaudojant automobilių parkavimo vietose po kelio danga ar įmontuota kelio dangoje.

Darbo uždaviniai

1. Apžvelgti egzistuojančius mokslinių tyrimų ir eksperimentinių darbų rezultatus susijusius su bevielio baterijų krovimo technologija, išanalizuojant ričių sandarą, formą, struktūrą ir sistemos topologiją.
2. Atlikti bevielio krovimo sistemos realų tyrimą, įvertinant tarp siūstuvo ir imtuvo įterptos feromagnetinės medžiagos įtaką energijos perdavimui.
3. Sukurti bevielio energijos perdavimo laboratorinį tyrimo stendą.
4. Išgauti feromagnetinę medžiagą panaudojant perdirbimui skirtą elektroniką.
5. Sudaryti eksperimentų metodiką bei atlikti realius eksperimentus su maketu, siekiant nustatyti tarp siūstuvo ir imtuvo įterptos feromagnetinės medžiagos įtaką energijos perdavimui skirtingose pozicijose. Nustatyti energijos perdavimo naudingumo faktorių skirtingais atvejais.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Šiame skyriuje bus aptarti bevielio energijos perdavimo technologijos ir pateiktos skirtingų technologijų privalumai bei trūkumai. Atsižvelgiant į darbo temą, didesnis dėmesys bus skirtas elektromobilių krovimui ir feromagnetinėms medžiagoms ir sistemos sandarai.

1.1 Bevielis elektromobilių krovimas

Atsinaujinančios energijos gamyba ir elektrinių transporto priemonių (EV) technologija pastaraisiais dešimtmečiais pažengė į priekį dėl neatidėliotinių rūpesčių apie klimato kaitą, oro taršą ir energetinį saugumą. Pasaulyje naujų elektromobilių pardavimas viršijo milijoną vienetų 2017 m. pagal „McKinsey’s Electric Vehicle Index“ [1]. Pagal augimo trajektoriją elektromobilių gamintojai galėtų beveik keturis kartus padidinti iki 2020 m., pereinant prie 4,5 mln. vienetų, tai yra 5 proc. padidinti pasaulinę lengvųjų transporto priemonių rinką. Šiais laikais automobilių kompanijos kūrė įvairius elektromobilius, tokius kaip gryni BEV, hibridiniai elektromobiliai, PHEV. Hibridiniai elektromobiliai yra populiariausi pasaulinėse rinkose tarp visų EV. Tačiau dabartiniame etape neįmanoma sukurti elektros energijos kaupimo modulio (akumulatoriaus), kuris atitiktų visus reikalavimus EV, įskaitant didelį energijos ir galios tankį, mažas pradines išlaidas, aukštą saugumo lygį ir stabilumą. Iki šiol dauguma EV naudoja prijungiamus kabelių įkroviklius. Yra keletas tokio įkrovimo trūkumų, pvz., žmonės gali pamiršti prisijungti ir taip netikėtai pritrūkti energijos; įkrovimo kabeliai ant grindų gali padidinti traumų tikimybę; kabelių nusidėvėjimas laikui bėgant galėtų sukelti pavojų vartotojui [2]. Dar 2012 m. automobilių gamintojai planavo įtraukti belaidžio įkrovimo technologija būsimuose EV. Šiais laikais bevielis elektromobilių įkrovimas jau įmanomas pritaikant belaidžio įkrovimo padus ir adapterius tam tikriems įkraunamiems modeliams. 2014 m. „Plugless Power“ pradėjo siūlyti šiuos rinkinius „Chevy Volt“, „Nissan“ LEAF ir „Cadillac ELR“. Per tuos metus „Plugless Power“ išplėtė savo asortimentą, kad galėtų aptarnauti „BMW i3“, „Mercedes S550e“ ir „Tesla Model S.“ Du didžiausi rūpesčiai dėl belaidžių įkroviklių - greitis ir efektyvumas (1 Lentelė.).

1 Lentelė. Įkrovimo greitis ir efektyvumas.[2]

Modelis	Baterija	Krovimas iš tinklo	Greitasis krovimas	Bevielis krovimas
Peugeot e-208	50kWh	5h (11 kW)	30 min iki 80% (100kW)	
Mercedes EQC	80kWh	12h (7.4 kW)	40 min iki 80% (100kW)	
Audi e-tron	95kWh	9h (11 kW)	30 min iki 80% (150kW)	
BMW i3	42.2 kWh	4h (11 kW)	42 min iki 80% (50kW)	4-5h (11kW)
Jaguar I-Pace	90kWh	13h (7.4 kW)	45 min iki 80% (100kW)	
Kia e-Niro	64kWh	10h (7.2 kW)	45 min iki 80% (60kW)	
Nissan Leaf	40kWh	7h (6.6 kW)	40 min iki 80% (50kW)	6h (7.2kW)
Tesla Model 3	75kWh	5h (11 kW)	30 min iki 80% (120kW)	
Tesla Model S	100kWh	7h (16.5 kW)	40 min iki 80% (120kW)	10-11h (11kW)

Keletą belaidžio įkrovimo kūrimo įmonių pademonstravo 20 kW ar didesnę įkrovimo greitį bandymuose. Belaidžio įkrovimo prototipai sukurti sunkvežimiams ir miesto autobusams, kurie gali pasiekti net iki 250 kW. General Motors šiuo metu darbas su „WiTricity“ kuriant belaidžio įkrovimo sistemą 7.7 kW ir 11 kW (2 Lentelė.) [3]. „Volvo“ bendradarbiaudama su Švedijos transporto administracija dirbo dinamiškai belaidžio įkrovimo sistemą elektriniams autobusams nuo 2015 m. [4]. „Qualcomm“ sukūrė ir išbandė vieną iš pirmųjų pasaulyje dinaminių belaidžių tinkle EV įkrovimo bandymo takelius. Sistema gali įkrauti EV dinamiškai iki 20 kW važiuojant greitkelio (100 km/h). Atsiradus išmaniojo tinklo koncepcijai, elektromobiliai vaidina naują vaidmenį: energijos mainai su elektros tinklu. Šie EV yra pajėgūs ne tik semtis energijos iš elektros tinklo, bet ir tiekia energiją atgal į tinklą per dvikryptį įkroviklį [5]. Remiantis elektromobilių įkrovimo / iškrovimo galimybėmis ir energijos taupymo reikalavimais elektros tinklui, transporto priemonei iki namų (V2H) ir transporto priemonės į tinklą (V2G) koncepcijų tapo vis daugiau ir pastaraisiais metais patrauklesnis. 2019 metų sausį „Honda“ pristatė belaidę V2G sistemą, kuri sukurta naudojant „WiTricity“ [6]. Tai tikimasi, kad belaidis V2G, V2H ir transporto priemonės (V2V) sąvokos tikriausiai taps realybe artimiausiu metu.

2 Lentelė. Palyginimas "Plugless power", "Qualcomm Halo", "Witricity"[2]

	“Plugless Power”	“Qualcomm Halo”	“Witricity”
Technologija			
Normalus krovimo atstumas	10cm.	-	10cm-15cm 14cm-21cm 17cm-25cm
Standartas	NEC 625, SAE J1772, UL 2231, CSA 170.1	ISO, IEC , SAE	SAE TIR J2954, IEC ir ISO
Galios perdavimas	1-kartos sistema 3.3-7.2 kw 2-kartos sistema 7.2 kw	3.3kW-6.6 kW	WPT1: 3.6 kw WPT2: 7.7 kw WPT3: 11 kw
Naudingumo faktorius	3.3kw su 10cm atstumu: 88.8%	>90%	Iki 94 %
Testas	1-kartos sistema: Chery Volt Nissan LEAF 2-kartos sistema: Tesla model S BMW i3	3.3 kw ir 6.6 kw: Delta E-4 7 kw: Rolls Royce Phantom 102EX 20kw: Drayson B12/69	Delphi Automotive

1.1.1 Statinis belaidis EV įkrovimas. Pagrindinės statinių belaidžių EV įkrovimo sistemų tyrimų problemos galima apibendrinti taip:

Energijos perdavimo efektyvumas (PTE): Pagrindiniai belaidžio EV įkrovimo technologijos trūkumai yra mažesnis PTE ir maža paėmimo galia [7]. Naujausi tyrimai sutelkti į PTE tobulinimo belaidžių EV įkrovimo sistemose metodus. „Theodoropoulos“ ir kt. pasiūlė apkrovos balansavimo valdymo algoritmą belaidžiam EV įkrovimui, kad padidintų efektyvumą [8]. Kai kurie tyrimai ištyrė įvairių tipų pirminio maitinimo šaltinių struktūras belaidžių elektromobilių įkrovimui, kad būtų pasiektas maksimalus efektyvumas [9, 10]. T.Kan ir kt. pasiūlė belaidžio įkrovimo sistemą naudojant dvipusę LCC kompensavimo topologiją; kompensuojamą ritę į pagrindinę ritės konstrukciją, kad būtų pasiektas didelis efektyvumas [11]. C. Cai ir kt. pasiūlė dinaminę LCL/ LCL jungiklio topologiją belaidžio EV įkrovimo sistemoje, kuri gali pasiekti pastovią srovę perduodančioje ritėje ir nuolatinę įtampą [12]. Kai kurie tyrinėtojai daugiausia dėmesio skyrė naujoms medžiagoms, pavyzdžiui, Y.D.Chung ir kt., kurie pasiūlė aukštos temperatūros superlaidžią rezonansinę ritę, kad pagerintų PTE [13]. Ritės konstrukcija ir vieta taip pat paveiks belaidžio EV įkrovimo PTE [14–16]. Tiesioginė žemesnio PTE priežastis yra žemas sujungimo faktorius, kurį sukelia laisvai sujungtas transformatorius, pvz. nesutapimas tarp siūstuvo ir imtuvo ričių. Tuo tarpu, daugumos transporto priemonių parkavimo apribojimai riboja siūstuvo ir imtuvo ritės dydį [17], todėl apriboja WPT įgyvendinimą, nes esama WPT sistemos yra didelių gabaritų ir labai jautrios ašiniams ir kampiniams poveikiams ritės nesutapimams [18–23]. Naujausi tyrimai tiria švelninimo technologijas, tokias kaip adaptyvūs suderinimo tinklai [24] ir masyvinis siūstuvo ritės struktūros [25–27]. Y. Gao ir kt. pasiūlė derinimo jutiklio sistemą, pagrįsta magnetiniu jutimu, kuriame naudojamos kelios pagalbinės

nedidelės ritės antrinėje ritėje įkrovimui padui nustatyti [28]. L. Zhao ir kt. pristato hibridinę belaidę elektromobilių įkrovimo sistemą, kuri naudoja skirtingų rezonansinių tinklų derinį pataisyti pado nesutapimą [29].

Ritės konstrukcija: optimizavus ritės medžiagą galima pagerinti sistemos PTE. Buvo pasiūlyta aukšto Q plokščioji-Litz ritė, kuri gali padidinti efektyvumą iki 40%, kai yra perdavimo atstumas 0,5 cm [30]. Ritė suprojektuota padalijus platų plokštuminį laidininką išilgai į kelias sruogas, kad sumažintumėte aukštą dažnį laidumo nuostolius ir pagerinti Q faktorių. T. Mizuno ir kt. siūlo magnetu padengtą varinę vielą, kurios perimetras yra padengtas su plona magnetine plėvele, ir kuri padidina induktyvumą. Tuo tarpu, atsparumas dėl artumo efekto sumažėja, nes sūkurinės srovės nuostoliai yra sumažinti [31]. Ritės dydis yra vienas svarbus parametras MRC WPT sistemos dizaine. Pagrindinis ritės dizaino apribojimas yra erdvės apribojimas [32], pvz. Biomedicininiių implantų imtuvo ritės dydis turėtų būti mažas, o siųstuvo ritės dydis gali būti didelis. Tačiau EV įkrovimo ar pramonės reikmėms, tiek siųstuvo ritė, tiek imtuvo ritė gali užimti dideles erdves. Ritės skersmens santykis ir perdavimo atstumas (oro tarpas) taip pat gali turėti įtakos perdavimo efektyvumui. Darant prielaidą, kad Q faktorius yra pastovus, jei oro tarpas (L) yra mažesnis daugiau nei pusė ritės skersmens (R), t.y., $L/R < 0,5$, transmisijos efektyvumas viršys 80%. Be to, jei $L/R < 0,25$, perdavimo efektyvumas gali siekti 90 %. Ritės geometrija taip pat turi įtakos perdavimo efektyvumui. Turi solenoidinę ritę, plokščią (arba spiralinę) ritę, kvadratinę ritę ir apskritą ritę, skirtingas efektyvumas pagal literatūrą [33–35]. Plokščia ritė plačiai naudojama magnetinio rezonanso jungties WPT sistemoje. N.Guyen siūlo metodą parametrus koreguoti ir galiausiai optimizuoti spiralinės antenos konstrukciją, atsižvelgiant į lauko intensyvumą ir grandinės efektyvumą [36]. „Litz“ vielos skersmuo ir apsisukimų skaičius yra du parametrai ritės dizainui. Ferito šerdys yra plačiai naudojamos belaidžiuose tinkluose EV įkrovimo dizainas, siekiant padidinti PTE.

1.1.2 Dinaminis EV bevielis krovimas. Nors dinaminiai belaidžio įkrovimo elektromobilių įkrovimo prototipai yra nuolat siūlomi ir patobulinti siekiant didesnio efektyvumo ir mažesnių išlaidų, tačiau jie retai komercializuojami. Veikia tik elektriniai autobusai ir tramvajai mažu greičiu miesto vietovėse [37, 38]. Viena iš galimų priežasčių yra ta, kad tai yra sunku tiksliai numatyti ir greitai reaguoti į EV, ypač privataus EV, įkrovimo reikalavimus dinaminės belaidžio įkrovimo sistemos. Skirtingai nuo „kontroliuojamų“ viešieji miesto elektriniai autobusai, kurie turi fiksuotus maršrutus ir beveik pastovų greitį dėl tvarkaraščių. Privačių elektromobilių vairavimo elgesys yra nenuspėjamas, nes tam įtakos turi daug veiksnių, tokių kaip asmeniniai įpročiai, eismo sąlygos, klimatas ir nenumatyti atvejai. Dideli sistemos svyravimai nėra dėkingi sistemos projektavimui. Kita priežastis gali būti griežtesni eksploataavimo reikalavimai dinaminis belaidis elektromobilių įkrovimas. Taigi, dinamiškas bevielis įkrovimas reikalauja daug didesnės įkrovimo galios ir greitesnio balansavimo iš įkrovimo sistemos ir maitinimo šaltinio [39–41]. Be to, siekiant užtikrinti

efektyvumą ir išplėsti įkrovimo laiką, esami dinaminiai belaidžio EV įkrovimo prototipai yra apriboti fiksuotu lėtu greičiu. Vėliau energijos bus suvartota daugiau. Tai gali sukelti didelę apkrovą elektros tinklui jei perkama daugiau EV ir dinamiškesnis belaidis EV įkrovimas sistemos yra įdiegtos ir prijungtos prie jo, ypač piko metu pareikalaus laiko. Padėtis gali net pablogėti, jei iškastinis kuras vis dar yra naudojamas kaip pagrindinis energijos šaltinis, dėl kurio padidėja anglies dioksido emisijos. Dėl dinaminio belaidžio EV įkrovimo kyla keletas dizaino problemų kaip:

Segmentiniai maitinimo bėgiai: Segmentiniai maitinimo bėgiai yra optimalus dinamiškų belaidžių EV įkrovimo bėgių pasirinkimas. Kiekvienas segmentas turi būti įjungtas ir išjungtas atskirai, todėl reikia daug kompensavimo komponentų ir galios elektronikos keitiklių.

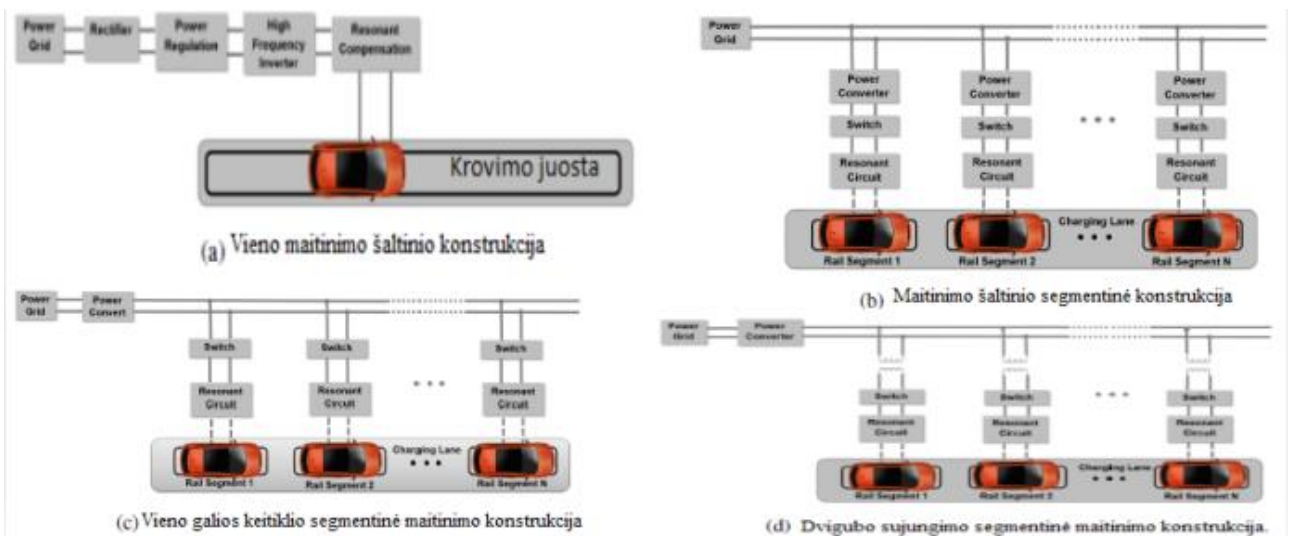
Galios pulsacijos reiškinys: vienas didelis iššūkis dinamikoje belaidė EV įkrovimo sistema yra išėjimo galios pulsacija. Jei dinamiška belaidė EV įkrovimo sistema yra segmentuota bėgio tipo, atstumas tarp gretimų segmentų ir automobilio ilgis turėtų būti atsižvelgiama į dinaminę belaidžio EV įkrovimo schemą. Atstumas tarp gretimų siūstuvų yra pakankamai didelis, galios pulsacija yra neišvengiama.

Kelio konstrukcija: statiniam belaidžiam EV įkrovimui įkroviklis gali būti suprojektuotas kaip trinkelė, pastatytas ant garažo grindų arba po juo automobilių stovėjimo aikštelėje be jokio poveikio aplinkai, tačiau dinamiškas belaidis EV įkrovimas turėtų prisitaikyti prie įvairių kelio sąlygų. Dauguma šių sąlygų yra nenuspėjamos ir nekontroliuojamos, pvz. išsibarstę nuolaužos, purvas, sniegas ir t.t. Todėl reikia į tai labai atsižvelgti kuriant sistemą. Padų formos dizainas ir maitinimo šaltinio dizainas yra esminiai dinaminės belaidžio EV įkrovimo sistemos projektavimo problemos.

Įkrovimo pado formos dizainas: belaidžiuose EV įkrovimo sistemose jungtis paprastai yra suprojektuota pagalvėlės pavidalu. Apskritos galios pagalvėlės buvo palyginti plonesnės palyginti su standartinėmis pagrindinėmis topologijomis, ir jos buvo lengvesnės nei įprastos apvalios jungties konstrukcijos, kuriose buvo naudojami kieti ferito diskai.

Maitinimo šaltinio konstrukcija: antžeminė kelio bėgių galios tiekimas yra pagrindinė dinaminės belaidžio EV įkrovimo sistemos dalis. Vieno maitinimo šaltinio konstrukcija yra novatoriška dinaminio belaidžio EV įkrovimo bėgelio konstrukcija, kaip parodyta 1a Pav. Bėgiais yra lengvai tiekama energija ir paprasta konstrukcija [42], tačiau tai sukelia papildomų energijos nuostolių ir elektromagnetinių laukų spinduliuotę, jei nėra EV įkrovimo. Segmentuoti bėgiai yra pagrindinis šių dienų dizainas [43]. Ši konfigūracija sumažina reikiamą maitinimo šaltinių skaičių, kad būtų galima įkrauti kelis EV ir išsprendžia vieno bėgio problemą. Keletas struktūrų segmentuoti takeliai buvo pateikti taip: 1b Pav. Parodyta paprasta sistema, veikiant maitinimo šaltiniui palei važiuojamąją dalį ir perduoda galią atskiroms atkarpoms per tiesioginius ryšius. Šio segmentinio bėgio privalumai yra sumažėję energijos nuostoliai dėl galimybės, kad skirtingi segmentai gali būti įjungti skirtingais laikotarpiais. Be to, šis dizainas turi didelį patikimumą, kai vienas iš segmentų

sugenda, kiti segmentai dar gali normaliai veikti. Šio dizaino trūkumai yra didelis reikalingas keitiklių skaičius, kuris gali padidinti sudėtingumą kontroliuoti ir padidinti techninę priežiūrą bei įrengimo išlaidas. 1c Pav. Yra panašus į 1b Pav., nes naudojamas tiesioginis ryšys tarp maitinimo šaltinio ir visų įkrovimo sekcijų. Skirtumas yra tai, kad centriniame maitinimo bloke naudojamas tik vienas galios keitiklis [44]. Ši konstrukcija sumažina galios keitiklių skaičių ir todėl ją lengviau prižiūrėti. Dizaino trūkumai – dideli kabelio nuostoliai, jungiančio maitinimo šaltinį su segmentiniu bėgiu; nutrūkus elektros tiekimui, visi segmentuoti bėgiai nustos veikti, todėl sumažės sistemos patikimumas. 1d Pav. parodytas dvigubai sujungtas konfigūracijos bėgelis, kuris perkelia maitinimą iš maitinimo šaltinio per magnetinę jungtį į kiekvieną įkrovimo skyrių, o ne tiesioginiu ryšiu.



1 Pav. Dinaminės sistemos maitinimo schemas[2].

1.2 Bevielės energijos perdavimo technologijos.

Bevielės energijos perdavimas yra viena iš perspektyviausių technologijų šiuo laikotarpiu. Belaidis energijos perdavimas yra patrauklus sprendimas daugeliui pramonės sričių, kurios kenčia nuo milžiniškų kiekių laidų, skirtų užmaitinti sistemoms. Pagrindinis technologijos privalumas, tai laidų kiekių sumažinimas, lengvas įkrovimas, mobilumas ir sklandus energijos perdavimas net nepalankioje aplinkoje ar ten kur pakrauti įrenginį kabeliu išoriškai nėra galimybės. Pirmoji belaidžio energijos perdavimo idėja buvo pristatyta Nicola Tesla XIX a. pabaigoje. Jis panaudojo apšvietimo lempuotę belaidžiui energijos perdavimui kaip imtuvą ir pademonstravo technologiją. „Tesla“ naudojo dvi metalines plokštes nedideliu atstumu viena prie kito. Aukšto dažnio kintamos srovės (AC) potencialai buvo perduoti tarp šių dviejų plokščių ir lempuotė įsižiebė. Tačiau tai atskleidė ir šios technologijos trūkumus. Viena iš pagrindinių problemų buvo minimalus galios perdavimo kiekis ir mažas perdavimo efektyvumas ypač didėjant atstumui tarp siųstuvo ir imtuvo. Šiandien bevielės energijos perdavimo technologija yra nuolat tobulinama. Didėjantys saugumo reikalavimai ir

nepatogumai krauti prietaisus per kabelius, paskatino išaugti belaidžio įkrovimo prietaisų paklausą skirtą elektroniniams prietaisams, pavyzdžiui, mobiliesiems telefonams, išmaniesiems laikrodžiams, elektriniams dantų šepetėliams ar elektrinėms transporto priemonėms (EV). Šiuo metu jau galime mėgautis belaidžio įkrovimo privalumais.

Bevielio energijos perdavimo (WPT) technologiją galima suskirstyti į skirtingas kategorijas:

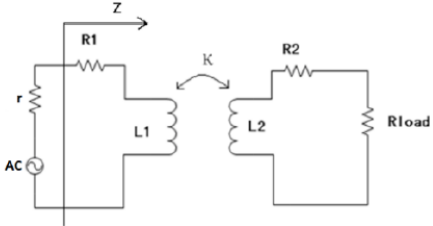
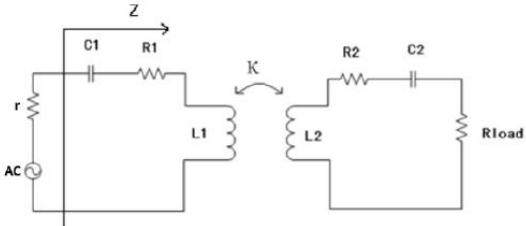
Pirmas WPT technologijos klasifikavimo metodas priklauso nuo energijos perdavimo atstumo: tolimojo lauko WPT technologija ir artimo lauko WPT technologija. Tolimojo lauko WPT technologija pagrįsta elektromagnetinės spinduliuotės technologija, naudojant mikrobangas, lazerį ar saulės energijos palydovus. Artimo lauko WPT technologija skirstoma į:

Indukcinės galios perdavimas - IPT.

Magnetinio rezonanso perdavimo jungtį – MRC.

Pagrindinis skirtumas tarp IPT ir MRC yra: MRC bevielis energijos perdavimas yra labai veiksmingas mažos arba vidutinės galios perdavimui taip pat pirminės bei antrinės ritės yra sureguliuotos rezonansiniu dažniu, pridėdant kompensacinius kondensatorius, tai leidžia energiją perduoti didesniu atstumu, nei IPT technologija. IPT technologija yra geresnė aukštos įtampos energijos perdavimui, nes nedalyvauja rezonansinė grandinė (3 Lentelė.).

3 Lentelė. Elektromagnetinės indukcijos ir elektromagnetinio rezonanso technologijos [45].

	IPT Technologija	MRC Technologija
Schema		
Pilnutinė varža [Z]	$Z = R_1 + j\omega L_1 + \frac{k^2 \omega^2 L_1 L_2}{j\omega L_2 + R_2 + R_{Load}}$	$Z = R_1 + \frac{k^2 \omega^2 L_1 L_2}{R_2 + R_{Load}}$
Privalumai	Paprasta, saugu, didelis energijos perdavimo efektyvumas esant mažam atstumui.	Didesnis perdavimo atstumas lyginant su IPT technologija.
Trūkumai	Trumpas perdavimo atstumas.	Sunku sureguliuoti rezonansinį dažnį keliems skirtingiems imtuvams.

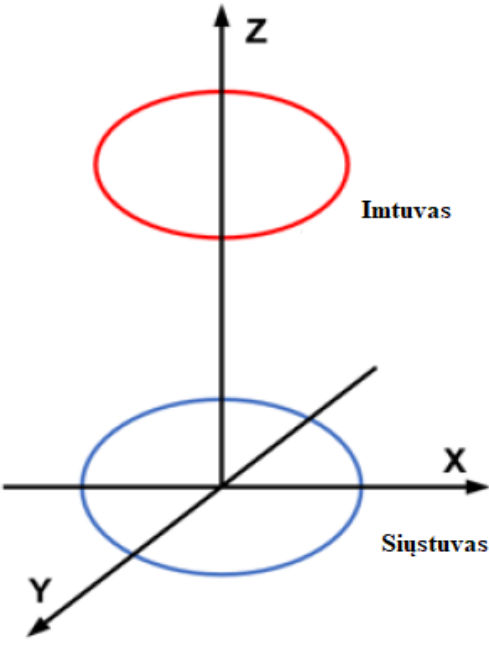
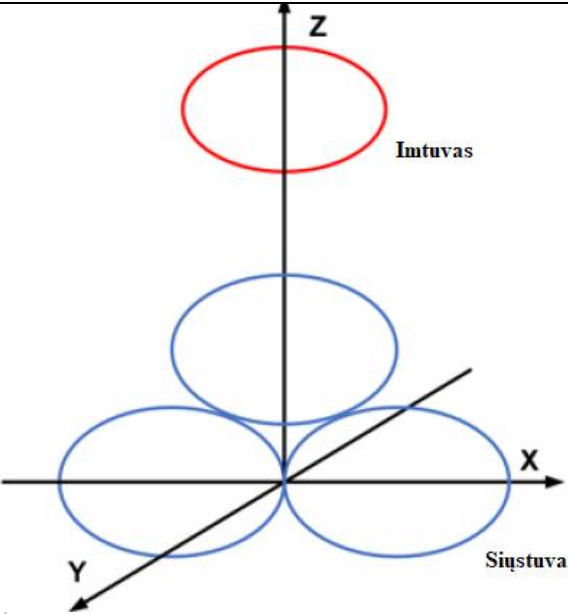
Belaidė elektromobilių įkrovimo technologija galėtų taupyti vairuotojo laiką nuo įkrovimo stotelės paieškos, prijungimo kabelių ir laiko praleisto laukiant baterijų įkrovimo pabaigos, taip pat išvengiame tokių problemų kaip kabelis yra pamestas, kabelio defektas ar vienam modeliui tinkantis

kabelis netinka kitam modeliui. Belaidis EV įkrovimas gali būti statinis arba dinaminis. Statinė belaidžio įkrovimo technologija, kai įkrovimo prievadai įrengti automobilių stovėjimo aikštelėje, taksi stovėjimo vietoje, autobusų sustojimo stotelėse. Dinaminė belaidžio įkrovimo technologija galėtų būti lankstesnė, EV gali būti maitinami vairuojant, netgi išsprendžiant problemą dėl baterijų, nuvažiuojamo atstumo ir automobilio masės, nes pakaktų nedidelės talpos baterijos, kadangi energijos šaltinis yra kelyje. Taip pat MRC technologija turi labai didelę perspektyvą EV įkrovimo įrenginių projektavimo ir modeliavimo atžvilgiu, nes MRC belaidžio EV įkrovimo ritės turi didelį perdavimo efektyvumą ir didelį atstumą, net ir esant plonomis ritėms, ir jos gali būti lengvai įmontuojamos tiek naujoje įrangoje tiek atnaujinant seną.

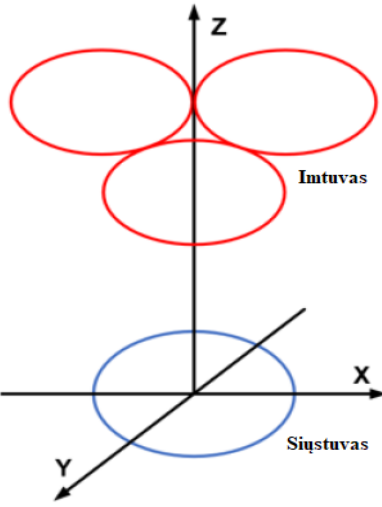
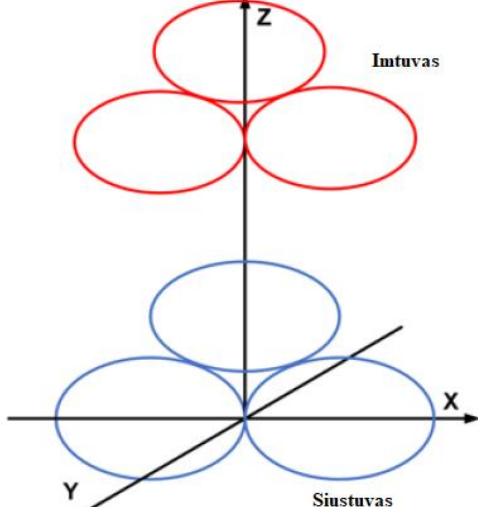
1.3 MRC energijos perdavimo technologija

MRC energijos perdavimo sistemos veikimas ir sistemos savybės skiriasi priklausomai nuo sistemos projektavimo dizaino. Pagal siūstuvų skaičių MRC sistemos gali būti klasifikuojamos kaip vieno siūstuvo ir vieno imtuvo (SISO), vieno siūstuvo - kelių imtuvų (SIMO), kelių siūstuvų - vieno imtuvo (MISO) arba kelių siūstuvų ir kelių imtuvų (MIMO) sistemos (4 Lentelė.).

4 Lentelė. Sistemos konfigūracijos.

SISO	MISO
	
<ul style="list-style-type: none"> • Paprastas dizainas 	<ul style="list-style-type: none"> • Lyginant su SISO kombinacija, aukštesnis perdavimo efektyvumas. • Mažesnis elektromagnetiniu bangu poveikis žmogui.

4 Lentelės tęsinys.

SIMO	MIMO
	
<ul style="list-style-type: none"> • Gali krauti keletą skirtingų įrenginių vienu metu. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efektyvesnis keletos įrenginių krovimas.

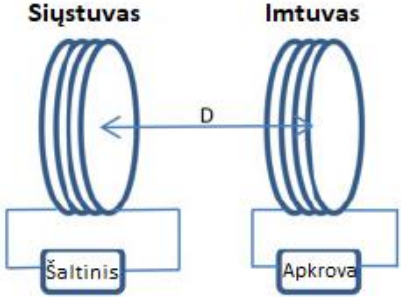
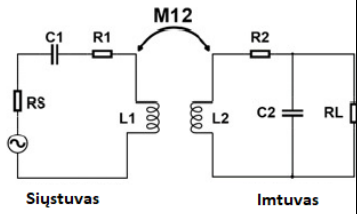
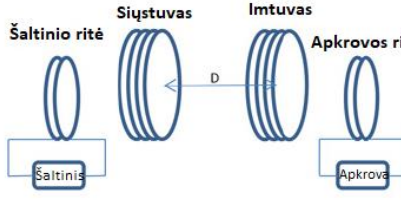
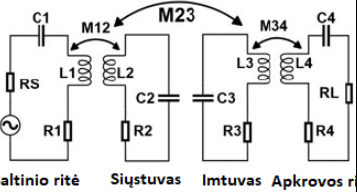
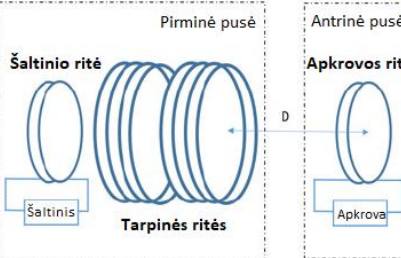
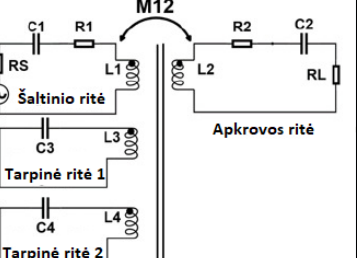
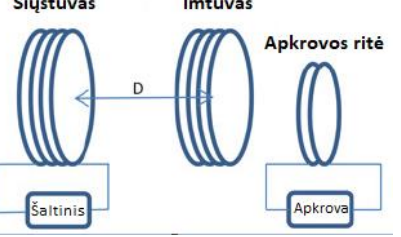
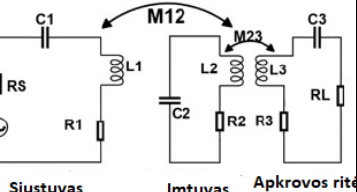
Tikslus rezonansinis dažnis tarp siųstuvo ir imtuvas yra būtinas, todėl MIMO sistemos nėra plačiai paplitusios ir naudojamos MRC bevielio energijos perdavimo technologijoje. Dėl beaidžio elektromobilių įkrovimo technologijos SISO ir MISO sistemos yra geriausios sistemos.

Dviejų ričių MRC WPT sistema susideda iš dviejų elektromagnetinių posistemių su tais pačiais rezonansiniais dažniais, ir tai yra originalus SISO MRC tipas WPT sistema. Norėdami pagerinti PTE esant didesniai perdavimo atstumui, buvo pasiūlyta keturių ričių sistema. (5 Lentelė.) Šioje sistemoje siųstuvas apima šaltinio ritę ir siunčiančią ritę (arba pirminę ritę), imtuvas apima priėmimo ritę (arba antrinę ritę) ir apkrovos ritę.

Įprasta keturių ričių sistema tinka vidutinio nuotolio atveju, o dviejų ričių sistema užtikrina geresnius rezultatus mažo nuotolio atveju. Asimetrinė keturių ričių sistema turi didesnę PTE, kuri leidžia palyginti ilgą atstumą tarp šaltinio ritės ir apkrovos ritės.

Energijos perdavimo faktorius ir tiekama galia yra du pagrindiniai parametrai bevielio energijos perdavimo technologijai, kuri turi įtakos energijos šaltinio specifikacijoms, šilumos išsklaidymams, galios perdavimo diapazonams ir trukdžiams su kitais prietaisais.

5 Lentelė. Konfigūracijų schemas.

	Schema	Grandinės modelis	Charakteristikos
2 Ričių			<ul style="list-style-type: none"> • Paprastas dizainas • Mažas perdavimo atstumas
4 Ričių (įprasta)			<p>Lyginant su 2 ričių sistema:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Didesnis perdavimo efektyvumas • Vidutinis perdavimo atstumas
4 Ričių (Asimetrinė)			<p>Lyginant su įprasta 4 ričių sistema:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Didesnis perdavimo atstumas ir geresnis efektyvumas.
3 Ričių			<p>Lyginant su 4 ričių asimetrine sistema:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Didesnis galios perdavimas

Kompensavimo schemas MRC sistemai :

Kompensavimo grandinė dažnai reikalinga tiek siųstuvui, tiek imtuvui MRC sistemoje, siekiant pagerinti energijos perdavimo galimybes. Yra keturios pagrindinės kompensavimo grandinės ir keletas hibridinių kompensavimo grandinių MRC WPT sistemoje.

Pagrindinė kompensavimo grandinė: be to, kad sistemos rezonansą, kompensavimo grandinės nauda apima iki minimumo sumažinant reikalingo maitinimo šaltinio galingumą (W), taip pat siųstuvo pradinėje grandinės dalyje yra didinamas sistemos efektyvumas. Keturi elementarūs kompensavimo sistemų išdėstymai literatūroje apibendrinami taip : nuoseklus - nuoseklus (angl. serial - serial) (S-S) kompensavimas, lygiagrečios - lygiagrečios (angl. Paralel- Paralel) (P-P) kompensavimas, nuoseklus - lygiagretus (S-P) kompensavimas ir lygiagretus - nuoseklus (P-S) kompensavimas, kaip parodyta (6 Lentelė.). Kompensavimo grandinių esminiai skirtumai slypi kompensavimo komponentų išdėstyme ir sujungimo tipe. Paprastai rezonansinis pagrindinės kompensacijos veikimo dažnis yra:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_p C_p}} = \frac{1}{\sqrt{L_s C_s}} \quad (1)$$

kur C_p yra kondensatoriaus talpa siųstuvo ritėje; C_s yra kondensatoriaus talpa imtuvo ritėje; ω kampinis dažnis; L_p yra siųstuvo ritės induktyvumas; L_s yra imtuvo ritės induktyvumas.

SS topologijos kompensavimo struktūra ir PS kompensacijos struktūra turi didžiausią perdavimo efektyvumą. Palyginimui, SS kompensavimo struktūra yra pranašesnė už kitas struktūras kai sistema rezonuoja, jos apkrovą gaunanti galia ir sistemos perdavimo efektyvumas yra geresnis, todėl naudojama SS topologija dažniausiai naudojama MCR WPT [47] (6 lentelė). Parodyta tipiška SS kompensavimo schema [48].

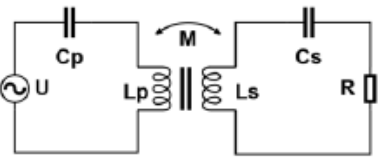
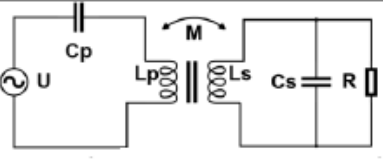
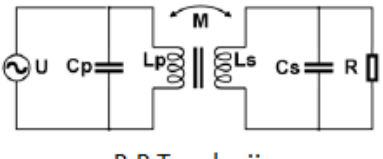
$$C_p = \frac{1}{\omega L_p}; C_s = \frac{1}{\omega L_s} \quad (2)$$

kur C_p yra kondensatoriaus talpa siųstuvo ritėje; C_s yra kondensatoriaus talpa imtuvo ritėje; ω kampinis dažnis; L_p yra siųstuvo ritės induktyvumas; L_s yra imtuvo ritės induktyvumas.

$$M = \frac{\pi \mu_0 r_1^2 r_2^2 N_1 N_2}{2d^3} \quad (3)$$

kur μ_0 yra magnetinė konstanta; r_1 ir r_2 yra siūstovo ritės ir imtuvo ritės spindulys; N_1 ir N_2 yra siūstovo ritės ir imtuvo ritės vijų skaičius; a yra vielos skersmuo, o d - atstumas tarp siūstovo ritės ir imtuvo ritės.

6 Lentelė. Pagrindinės kompensavimo schemas[49].

Schema	Pirminės ritės elektrinė talpa	Pirminės ritės kokybės faktorius	Antrinės ritės kokybės faktorius
 <p>S-S Topologija</p>	$C_p = \frac{1}{\omega_0^2 L_p}$	$Q_p = \frac{R L_p}{\omega_0 M^2}$	$Q_s = \frac{\omega_0 L_s}{R}$
 <p>S-P,P-S Topologija</p>	$C_p = \frac{L_p}{\left(\frac{\omega_0^2 M^2}{R}\right)^2 + \omega_0^2 L_p^2}$	$Q_p = \frac{\omega_0 L_p L_s^2}{M^2 R}$	$Q_s = \frac{R}{\omega_0 L_s}$
 <p>P-P Topologija</p>	$C_p = \frac{1}{\omega_0^2 \left(L_p - \frac{M^2}{L_s}\right)}$ $C_p = \frac{(L_p - \frac{M^2}{L_s})}{\left(\frac{M^2 R}{L_s^2}\right)^2 + \omega_0^2 \left(L_p - \frac{M^2}{L_s}\right)^2}$	$Q_p = \frac{R L_p}{\omega_0 M^2}$ $Q_p = \frac{\omega_0 L_p L_s^2}{M^2 R}$	$Q_s = \frac{\omega_0 L_s}{R}$ $Q_s = \frac{R}{\omega_0 L_s}$

1.4 Tarptautiniai krovimo standartai

Istoriškai lėtas belaidžio įkrovimo sistemų kūrimas iki šiol stabdė praktinių pritaikymų diegimą, kur didieji gamintojai pradėjo ją integruoti į elektronikos produktus. Didžiausia kliūtis su kuria šiuo metu susiduriama, yra tai, kad jų yra kelios standartinės technologijos versijos, todėl sunku pasiūlyti įkroviklius suderinamus įvairiuose įrenginiuose. Pagrindiniai standartai šiai technologijai yra:

1.4.1 A4WP standartas: Belaidžio maitinimo aljansas (A4WP) yra nepriklausoma pramonės institucija, kuri buvo sukurta plėtoti ir išlaikyti leidžiamus belaidžio maitinimo standartus bei palyginti su jau egzistuojančiais standartais. A4WP magnetiniam laukui naudoja didelį plotą ir įrenginio padėties nustatymo reikalavimai turi būti ne tokie kritiški, o taip pat leidžia vienu galios siūstovu įkrauti kelis įrenginius, bet kuriuo metu vieną kartą. [50]. Yra keletas skirtumų tarp A4WP standartų ir kitų belaidžio įkrovimo standartų.

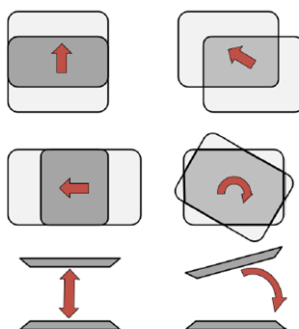
Dažnis: tarptautiniu mastu pasiekiamas aukštas 6,78 dažnis MHz yra naudojamas siekiant išvengti indukcinio šildymo problemų, kurios dažniausiai pasitaiko matyti su sandariai sujungtomis indukcinėmis sistemomis žemesnius dažnius.

Kontrolės ir valdymo protokolas: Kontrolės dažnis ir valdymas yra 2,4 GHz ISM grupė. Jis yra prieinamas tarptautiniu mastu ir idealiai tinka smulkiajai elektronikai tokiai kaip išmanieji telefonai ir kiti elektroniniai daiktai.

A4WP belaidžiuose įkrovikliuose yra du pagrindiniai elementai:

- Maitinimo siųstuvas : tai vienetas, kuris perduoda įrenginiui energiją, kuri reikia įkrauti. Maitinimo siųstuvo dvi pagrindinės dalys, viena apima sritis naudojamas galiai perduoti ir kitas yra komunikavimui su kraunamu įrenginiu.
- Maitinimo imtuvas : Yra keletas maitinimo imtuvo klasių ir priklauso nuo numatomos programos. Į imtuvą patenka elektros srovė per rezonatorių ir išlyginama, kad būtų sukurta nuolatinė įtampa. Lygintuvas turi sugebėti efektyviai ištaisyti 6 MHz dažniu bangas. Ištaisius, galia paverčiama reikiama įtampa naudojant DC-DC įtampos keitiklį. Lygintuvas DC-DC konverteris gali būti valdomas per 2,4 GHz ryšį prie įkroviklio, kad įjungtumėte ir įkroviklį, ir A4WP priėmimo įrenginį, kad energijos perdavimas būtų kuo efektyvesnis ir saugesnis.

1.4.2 SAE standartas: 2016 m. Gegužės 17 d. SAE international patvirtintas PH/EV belaidžio įkrovimo TIR J2954 standartas. SAE „International“ yra pasaulinė asociacija, įsipareigojusi būti galutine inžinieriaus profesijos žinių šaltinis. Raktas J2954 metodai nustato minimalius veiklos kriterijus krovimui. SAE TIR J2954 nustato bendrą dažnių juostą naudodamas 85 kHz visoms lengvųjų transporto priemonių sistemoms. Papildomai pateikiamos keturios WPT lygių PH/EV klasės: 3,7 kW (WPT 1), 7,7 kW (WPT 2), 11 kW (WPT 3) ir 22 kW (WPT 4). Pataisos gali apimti dar didesnius galios lygius [51]: Viena iš pagrindinių TIR J2954 standarto ypatybių yra padėties nustatymas. Tai apima XYZ toleranciją, sukimąsi, pakreipimą ir tarpą nuo krovimo pado, parodytos kaip (2 Pav.) Šiuo metu yra daug belaidžio ryšio tiekėjų ir kompanijų, dalyvauja belaidžiu įkrovimu naudojant J2954, pvz., „Qualcomm“, „WiTricity“ ir Evatranas ir kt.



2 Pav. Krovimo pado XYZ tolerancija[51].

1.4.3 IEC standartas: Tarptautinė elektrotechnikos komisija (IEC) paskelbė IEC 62827-1; 2016 m., standartas belaidis energijos perdavimas. IEC 61980-1: 2015, pirmasis paskelbtas standartas serijoje apima bendruosius EV bevielio energijos perdavimo reikalavimus sistemos, įskaitant bendrą pagrindą ir apibrėžimus, pavyzdžiui: efektyvumas, elektros sauga, elektromagnetinis suderinamumas, apsauga nuo elektromagnetinio lauko ir pan. IEC 61980- 2, 2 serijos dalis, apima konkrečią ryšių tarp elektrinių kelių transporto priemonių ir bevielio energijos perdavimo sistemos, įskaitant bendrą foną ir apibrėžimus. IEC 61980-3 apima specialius EV magnetinio lauko reikalavimus belaidės energijos perdavimo sistemos [52]. IEC 62827-1: 2016 m. nurodomi bendri valdymo komponentai kelių šaltinių ir įrenginių belaidžio energijos perdavimo sistemą ir pateisina įvairias WPT funkcijas. Ši IEC dalis 62827 apibrėžia galimų konfigūracijų pavyzdinius modelius. Modeliai išsamiau nurodyti papildomose dalyse. Šis standartas taikomas bevielio energijos perdavimo technologijos taikyme garso, vaizdo ir multimedijos įrangai [53].

1.5 Feromagnetinės medžiagos ir savybės.

Feritas yra keraminė medžiaga, gaminta sumaišant geležies (III) oksido (Fe_2O_3 , rūdžių) proporcijas su mažomis dalimis vieno ar daugiau papildomų metalinių elementų, tokių kaip stroncis, baris, manganas, nikelis ir cinkas. [54] Jie yra feromagnetiniai, tai reiškia, kad jie gali būti įmagnetinti arba pritraukti prie magneto. Skirtingai nuo kitų feromagnetinių medžiagų, dauguma feritų nėra laidūs elektrai, todėl jie yra naudingi tokiose srityse kaip transformatorių magnetinės šerdys, skirtos sukurtinėms srovėms slopinti.[55] Pagal jų magnetines savybes skirtingi feritai dažnai klasifikuojami kaip „minkštieji“, „pusiau kieti“ arba „kieti“, o tai reiškia mažą arba didelę jų magnetinę koerciskumą. Koerciskumas (Coercivity) arba koercine jėga, yra feromagnetinės medžiagos savybė priešintis išmagnetinimui matas. Koerciskumas paprastai matuojama amperais/metro vienetais ir žymima HC.

Koerciskumas feromagnetinėje medžiagoje yra taikomo magnetinio lauko (H lauko), kurio reikia šiai medžiagai išmagnetinti, intensyvumas po to, kai mėginio įmagnetinimas buvo prisotintas stipriu lauku. Šis išmagnetinantis laukas taikomas priešingai, nei pradinis prisotinamasis laukas.

7 Lentelė. Feritų tipai ir savybės.

Tipas	Minkšti feritai	Pusiau kieti feritai	Kietieji feritai
Stiprumas	Mažas koerciškumas	Vidutinis koerciškumas	Didelis koerciškumas
Medžiagos	Mangano-cinko feritas $Mn_aZn_{(1-a)}Fe_2O_4$ (<5 MHz) Nikelio-cinko feritas $Ni_aZn_{(1-a)}Fe_2O_4$	Kobalto feritas ($CoFe_2O_4$)	Stroncio feritas ($SrFe_{12}O_{19}$) Bario feritas ($BaFe_{12}O_{19}$)
Panaudojimas	Transformatorių ir induktorių šerdyse	Jutikliams ir aktuatoriams.	Storciš- elektros varikliuose Baris- Garsiakalbių magnetai ir kaip magnetinio įrašymo terpė

Minkšti feritai : Ferituose, kurie naudojami transformatoriuje arba elektromagnetinėse šerdyse, yra nikelio, cinko ir (arba) mangano [56] junginių. Jie turi mažą koerciškumą ir vadinami minkštaisiais feritais. Mažas koerciškumas reiškia, kad medžiagos įmagnetinimas gali lengvai pakeisti kryptį neišsklaidant daug energijos (histerezės nuostoliai), o didelė medžiagos savitoji varža apsaugo nuo sūkurinių srovių šerdyje, dar vieno energijos praradimo šaltinio. Dėl palyginti mažų nuostolių esant dideliems dažniams, jie plačiai naudojami RF transformatorių ir induktorių šerdyse tokiose srityse kaip komutuojamojo režimo maitinimo šaltiniai ir kilpinės antenos, naudojamos AM radijo imtuvuose.

Labiausiai paplitę minkštieji feritai yra:

Mangano-cinko feritas ($MnZn$, formulė $Mn_aZn_{(1-a)}Fe_2O_4$). $MnZn$ turi didesnę pralaidumą ir prisotinimo indukciją nei $NiZn$. [57]

Nikelio-cinko feritas ($NiZn$, formulė $Ni_aZn_{(1-a)}Fe_2O_4$). $NiZn$ feritai pasižymi didesne varža nei $MnZn$, todėl yra tinkamesni didesniems nei 1 MHz dažniams.

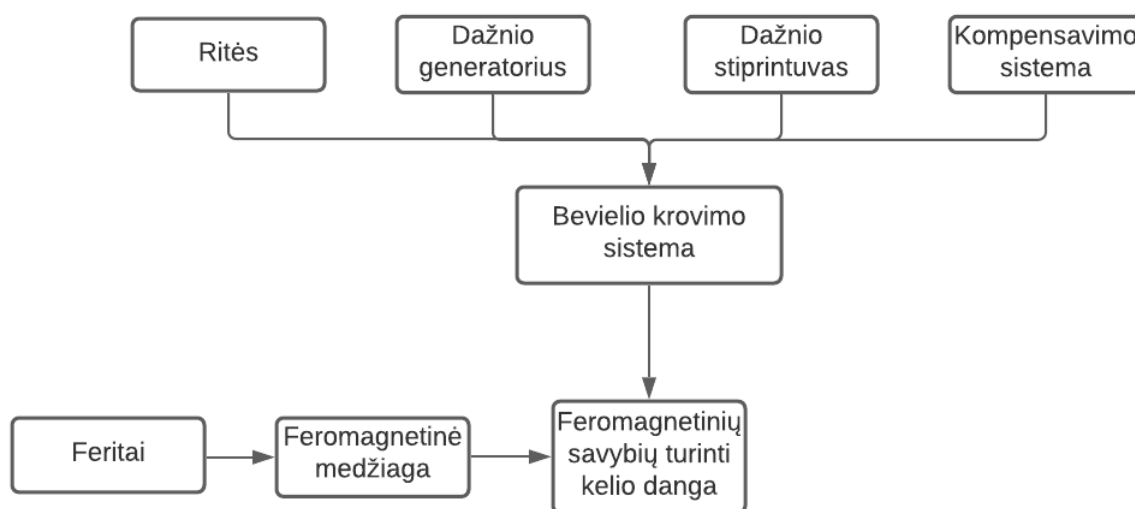
Mažesniems nei 5 MHz dažniams naudojami $MnZn$ feritai; Virš 5 MHz dažnio $NiZn$ yra įprastas pasirinkimas.

Apžvelgdamas mokslinius straipsnius savo tyrimui nusprendžiau naudoti magnetinio rezonanso sąryšio technologiją (MRC), nes palyginti su kitais WPT metodais, MRC WPT turi didesnę galios perdavimo efektyvumą esant didesniam perdavimo atstumui. Išnagrinėjus literatūrą paaiškėjo, kad MRC WPT turi keletą problemų, tokių kaip parametrų neatitikimas tarp imtuvo ir siųstuvo dėl kurių gali būti efektyvumo sumažėjimas. Energijos perdavimo efektyvumas yra įprastas dalykas visų WPT metodų tikslas. Tobulindami dizainą ritę ir grandinę, galios perdavimo efektyvumas gali būti

pagerintas. Ieškant informacijos nepavyko rasti, kad būtų bandyta iširti per kelio dangą bevielio energijos perdavimo efektyvumą sumažėjimo tyrimo ir parametrų gerinimo panaudojant feromagnetinių savybių turinčias medžiagas. Vienas iš svarbių MRC WPT technologijos pritaikymų yra belaidis EV įkrovimas. Yra du pagrindiniai belaidžio EV įkrovimai, būtent statinis belaidis EV įkrovimas ir dinaminis belaidis ryšys elektromobilių įkrovimui. Belaidžio EV įkrovimo technologija gali patobulinti elektromobilių naudotojų patirtį ir suteikia daugiau lankstumo. Dinamiškas belaidis EV įkrovimas gali sumažinti akumulatoriaus talpos poreikį, išplėsti elektromobilio važiavimo diapazoną.

2. BEVELIO ENERGIJOS PERDAVIMO SISTEMOS KŪRIMAS IR FEROMAGNETINĖS MEDŽIAGOS GAVIMAS.

Atlikus literatūros apžvalgą ir išnagrinėjus bevelio energijos perdavimo technologijas ir jų pritaikymą, šiuo eksperimentiniu tyrimu bus siekiama išsiaiškinti feromagnetinių medžiagų panaudojimą kelio dangai, norint pagerinti energijos perdavimo efektyvumą kuris orientuotas į transporto priemonių krovimą. Tyrimui atlikti reikia sukurti bevelio energijos perdavimo sistemą pritaikant elektromagnetinės indukcijos rezonanso technologiją. Sistemos funkcija realiai įvertinti, kokią naudą bevelio energijos perdavimui turi feromagnetinių savybių turinčios medžiagos (3 Pav.).



3 Pav. Tyrimo struktūra.

Sistemos kūrimo eiga:

1. Išmatuoti išardytų ričių induktyvumą ir varžą.
2. Išmatavus induktyvumą, parinkus kompensavimo schemą sujungti sistemą.
3. Panaudojant garso stiprintuvą kaip signalo stiprintuvą. Sustiprinti generuojamo dažnio amplitudę.
4. Sukonstruoti stendą.
5. Feritų medžiagos smulkinimas ir feromagnetinės medžiagos miltelių ruošimas.

2.1 Bevielio energijos perdavimo stendo kūrimas.

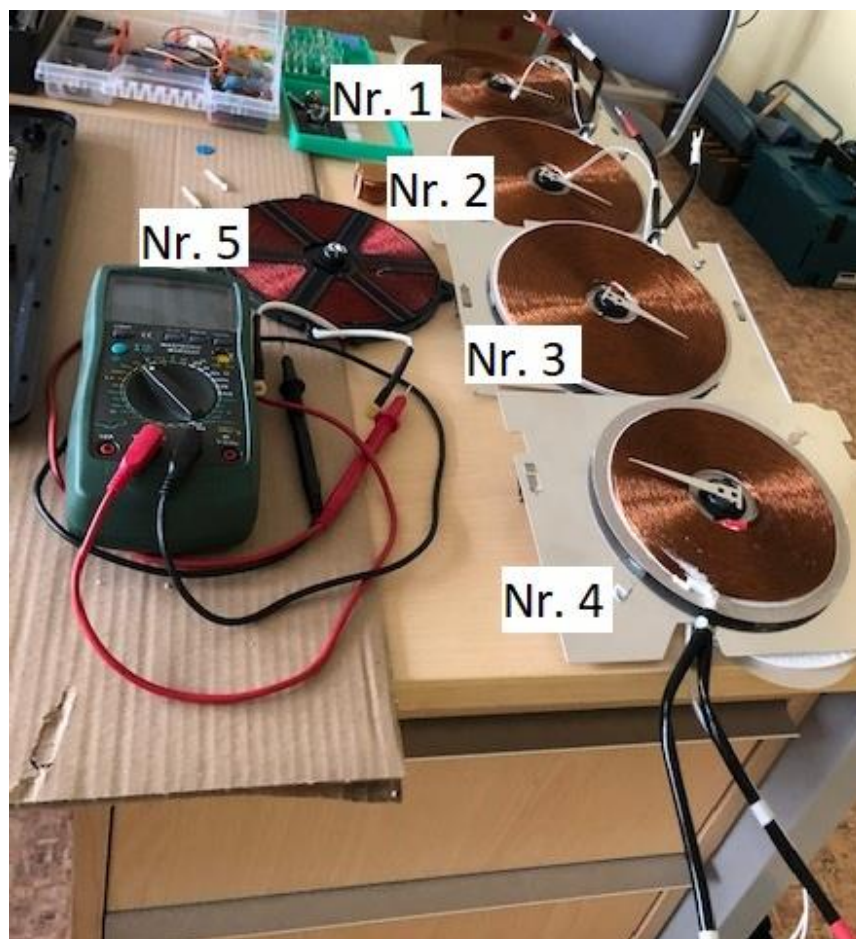
Kuriant energijos perdavimo sistemą reikia atkreipti dėmesį, kad šios sistemos gali turėti skirtingas technologijas atsižvelgiant į tai kokiai funkcijai yra kuriama sistema. Literatūros šaltiniuose galima lengvai rasti skirtingus MRC technologijos bandymus, bet kaip transporto priemonėms pagerinti efektyvumą ir padidinti efektyvumą panaudojant tarpinę grandį tarp siūstuvo ir imtuvo feromagnetinėmis savybėmis turinčią kelio dangą, tokio tyrimo nepavyko rasti. Tyrimui svarbu pasidaryti tinkamą energijos perdavimo standą, kuriuo galėtume išmatuoti skirtingus parametrus įterpus feromagnetų į tarpinę kelio dangą. Kuriant sistemą vienas iš pagrindinių elementų yra ritės. Naudojamos ritės turi turėti kuo didesnę induktyvumą ir kuo mažesnę varžą, šių dviejų parametru priklausomybė taip pat yra išreiškiama Q faktoriumi. Ritės panaudotos iš indukcinės viryklės, kuriuose yra naudojama „Litz“ viela, remiantis literatūra 40% pagerina induktyvumą lyginant su paprasta viela. „Litz“ vielos esminis skirtumas, kad ji daugiagyslė varinė viela, taip padidinamas laido paviršiaus plotas.

Ričių techniniai parametrai. Sistemos kūrimui labai svarbus sistemos komponentas yra siūstuvo ir imtuvo ritės. Tam, kad ištirti ritės parametrus buvo panaudotas LCR matuoklis. Mano tyrimo metu buvo panaudotas šis matuoklio modelis (4 Pav.).



4 Pav. LCR Matuoklis Aim-TTi LCR400

Išmatuoti ričių parametrai: L- Ritės induktyvumas [H] , R-varža [Ω]. Prie skirtingo dažnio 100Hz/120Hz, 1kHz, 10kHz, tam kad įvertinti ričių induktyvumo skirtumus esant aukštesniam dažniui. Šiuos duomenis panaudosiu apskaičiuojant rezonansą tarp siūstuvo ir imtuvo.



5 Pav. Nr.1-Nr.5 ritės

8 Lentelė. Ričių parametrai prie 100-120Hz.

Rites Nr.	Nr.1	Nr.2	Nr.3	Nr.4	Nr.5
Diametras, mm	224	180	180	138	154
Induktyvumas, μH	76,1	75,1	74,7	85,1	93,8
Varža, Ω	0,05	0,056	0,057	0,065	0,15

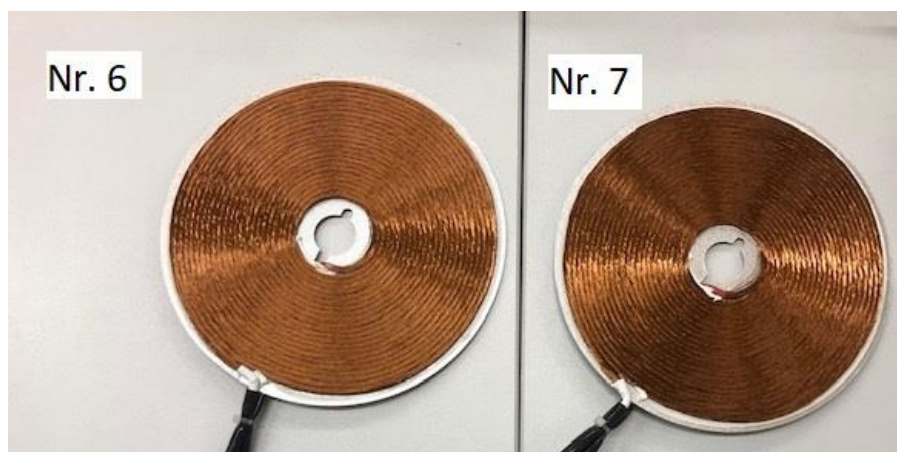
9 Lentelė. Ričių parametrai prie 1kHz.

Rites Nr.	Nr.1	Nr.2	Nr.3	Nr.4	Nr.5
Diametras, mm	224	180	180	138	154
Induktyvumas, μH	66,1	67,45	67,15	77,03	93,6
Varža, Ω	0,07	0,072	0,073	0,083	0,16

10 Lentelė. Ričių parametrai prie 10kHz.

Rites Nr.	Nr.1	Nr.2	Nr.3	Nr.4	Nr.5
Diametras, mm	224	180	180	138	154
Induktyvumas, μH	63,85	65,6	65,27	75,00	93,5
Varža, Ω	0,105	0,105	0,10	0,118	0,16

Papildomas matavimas modifikavus rites Nr.2 ir Nr.3 nuimant feritus nuo ričių.

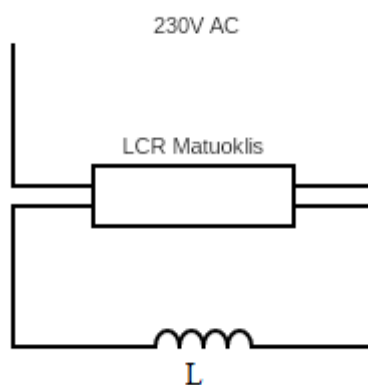


6 Pav. Nr.6 ir Nr.7 ritės.

11 Lentelė. Ričių parametrai prie 100-120Hz.

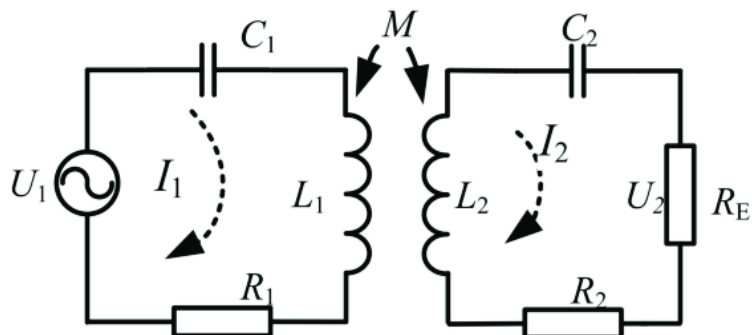
Rites Nr.	Nr.6	Nr.7
Diametras, mm	180	180
Induktyvumas, μH	51,8	51,8
Varža, Ω	0,059	0,059

Naudojantis LCR Matuokliu ir rezultatams gauti jungimo schema nurodyta (7 Pav.).



7 Pav. Matavimo schema

Kompensavimo sistema. Remiantis literatūra buvo išsiaiškinta, kai siųstuvo ir imtuvo ritės yra tokių pat parametrų, nereikia prie skirtingų ričių priderinti skirtingų kondensatorių ir tokiu atveju geriausia topologija yra : SS-topologija (8 Pav.).



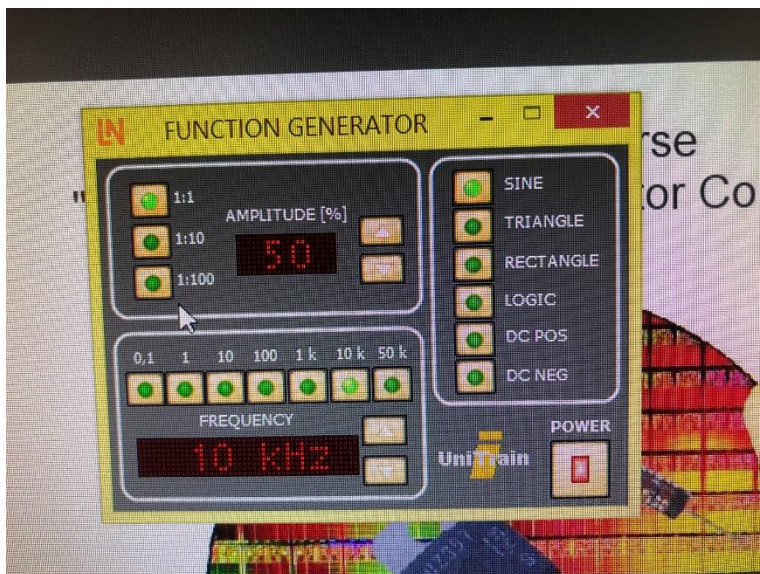
8 Pav. SS topologijos schema. [58]

U_1 - Generatorius. C_1, C_2 - Kondensatoriai. L_1, L_2 – ritės
 R_E apkrova. R_1, R_2 ričių varža.

Dažnio generatorius. Dažnio keitimui ir signalo formos parinkimui naudojama eksperimentinė įranga, kuri turi dažnio generatoriaus funkciją (9 Pav.). Dažnio generatorius jungiamas per kompiuterio USB jungtį, naudojant programą leidžia keisti dažnio diapazoną amplitudę bei signalo formą (10 Pav.). Savo tyrimui naudosisi sinusinę dažnio formą. Toks dažnio generatorius leidžia lengvai keisti dažnio diapazoną nedarant didelių modifikacijų sistemoje.



9 Pav. „UniTrain-I System SO4203-2A Interface“ eksperimentinė įranga.



10 Pav. Lucas-Nülle „LabSoft“ dažnio generatoriaus programa.

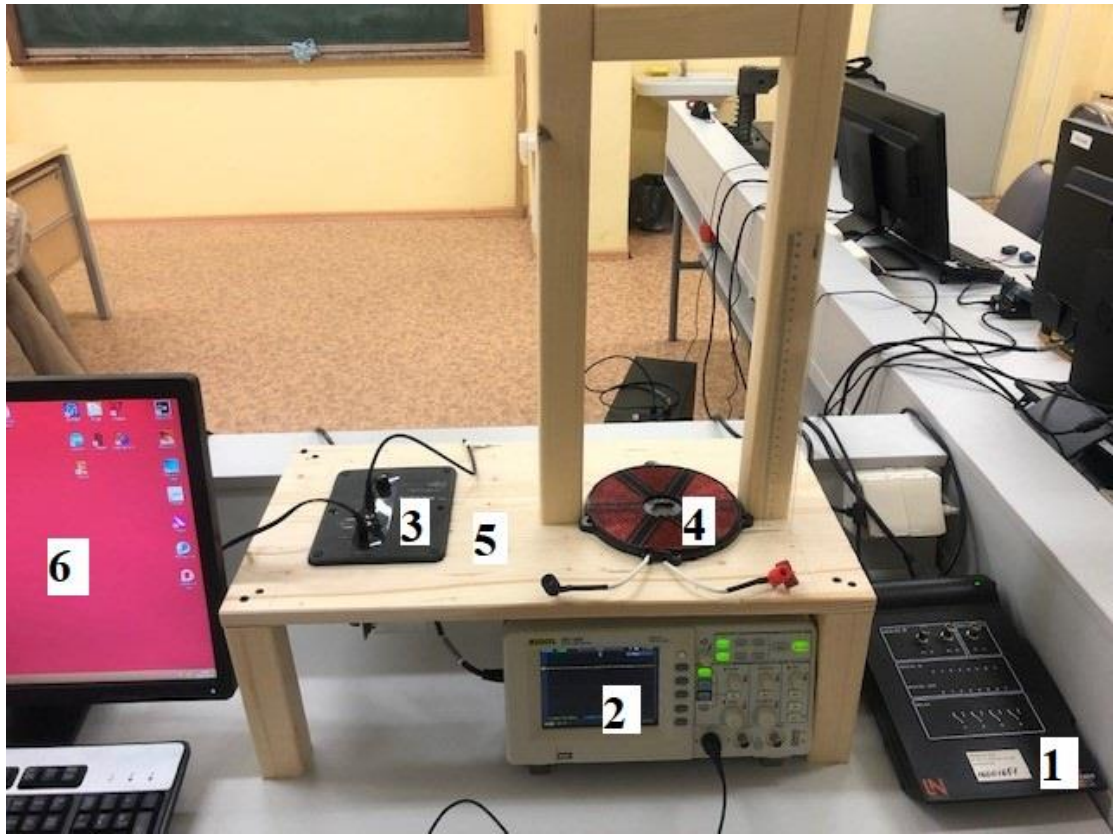
Dažnio stiprintuvas. Galios padidinimui, kad padidinti signalo amplitudę panaudojau buitinį garso stiprintuvą Modelis: Creative Inspire P380, kurio techninės specifikacijos stiprina signalą nuo 40Hz iki 20000Hz, panaudojus abu kanalus iš viso galia turėtų būti 12W (RMS), bet kadangi tai yra tik B klasės stiprintuvas daug energijos yra išvaistoma į šilumą ir naudingumo faktorius $\eta \approx 78.5\%$ dėl to tikėtis, kad stiprintuvas gebės perduoti 12W į siųstuvo ritę nereikėtų. Padidintos galios signalą paduodame į kompensavimo sistemą. Tyrimo metu paaiškėjo, kad stiprintuvui galima ir duoti aukštesnius dažnius sukonstravus papildomą aušinimą, kuris ir buvo įmontuotas aušinti stiprintuvo radiatoriumi.

Pilnam sistemos surinkimui reikia pasidaryti stendą, kad apsiskaičiuoti kokių reikės medžiagų, bei atitinkamai pasirinkti medieną : tašeliai ir plokštė (11 Pav.).



11 Pav. Primityvus stendo 3D modelis.

Preliminarus 3D modeliavimas leidžia susidėlioti įrangą kaip turi stovėti, įvertinti ar standas bus patogus ir tarpusavyje komponentai nemaišys vienas kitam. Pasinaudojant 3D modeliu galima tiksliai sužinoti kiek medžiagų prireiks ir išanksto pasiruošti dalis, kas pagreitina stendo gamybos laiką.



12 Pav. Realus stendas.

1- Dažnio generatorius; 2- Osciloskopas; 3- Dažnio stiprintuvas; 4- Ritė; 5- Stendo korpusas; 6- Kompiuteris skirtas dažnio generatoriaus reguliavimui.

Surinkus stendą tyrimo eigoje jis buvo minimaliai modifikuojamas - pridėjami ritės laikikliai, sumontuotas papildomas aušinimas dažnio stiprintuvo radiatoriumi, nes buvo pastebėta, kad stiprintuvas dirbdamas aukštesniu nei 20kHz dažniu stipriai kaista, norint išsaugoti stiprintuvo ilgaamžiškumą įmontuotas aušinimo ventiliatorius pasiteisino.

2.2 Feromagnetinės medžiagos gavimas

Bevielio energijos perdavimo pagerinimui, atsižvelgiant į literatūrą tyrime bus naudojami „minkštieji feritai“. Mangano-cinko minkštieji feritai dažnai yra transformatorių šerdyse. Tyrime naudosisu perdirbimui skirtus mažos galios transformatorius, kurie randami elektronikoje, ir taip nebenaudojamą elektroniką ir jos komponentus panaudosisu antriniam naudojimui. Dėl to cheminė sudėtis gali kisti dėl skirtingų komponentų kiekio ferituose. Gauti feritų gabaliukai buvo mechaniškai sutrupinti iki smulkesnės frakcijos (13 Pav.).



13 Pav. Smulkinti feritai.



14 Pav. Feritai sumaišyti su šratais.

Pasmulkinti gabaliukai buvo smulkinami malūnu. Po 2-jų kartų po 30 min. malūno darbo su didžiausios frakcijos šratais (14 Pav.). Gauti milteliai buvo pasverti buitinėmis svarstyklėmis „Kitchenartist“ Modelis: DOM351W. Pasvėrus paaiškėjo, kad buvo gauta 150g feritų miltelių medžiagos. (16 Pav.)



15 Pav. Malimo mašina GUNT Hamburg CE 245.



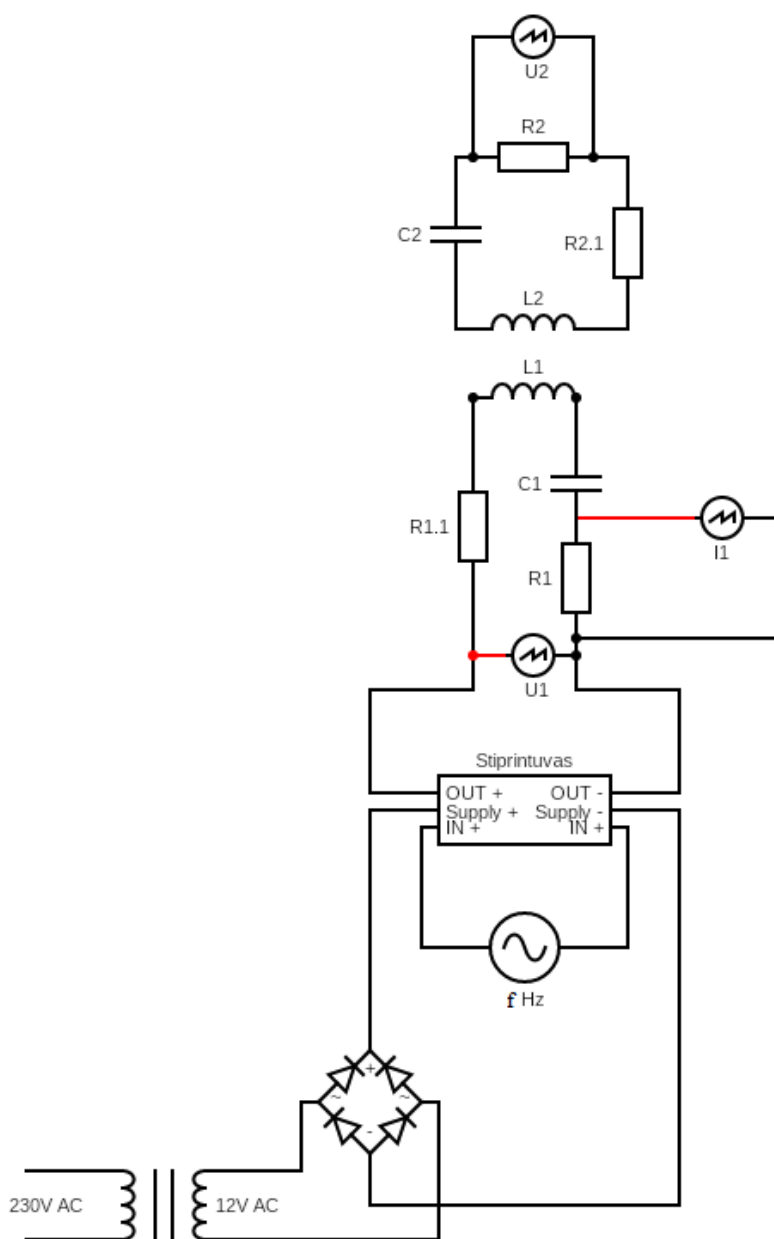
16 Pav. Gauti milteliai iš feritų.

Išmatavus ričių induktyvumą išsiaiškinta su kuriomis ritėmis bus geriausia atlikti tyrimą. Parinkus sistemos topologiją surinkta sistema su kuria bus tęsiamas tyrimas per feromagnetines medžiagas kurios buvo gautos sumalant feritus.

3. ENERGIJOS PERDAVIMO TYRIMAS PER FEROMAGNETINIŲ DALELIŲ TURINČIAS MEDŽIAGAS.

Šiame skyriuje bus atliemas energijos perdavimo per feromagnetines medžiagas tyrimas, kurio esminis tikslas išsiaiškinti ar įterpus tarp siųstuvo ir imtuvo ričių feromagnetines medžiagas yra pagerinamas perdavimo naudingumo faktorius.

Tyrimui atlikti buvo sukonstruotas ir paruoštas naudoti bevielio energijos perdavimo stendas. Tyrimo eigoje buvo keičiamos ritės, kondensatoriai, kaip apkrova buvo naudojama varža. Tyrimo atlikimo schema pavaizduota (17 Pav.).



17 Pav. Tyrimo schema.

Pagal tyrimo schemą dažnio stiprintuvas maitinamas 230V AC įtampa, kuri per transformatorių yra sumažinama iki 12V AC įtampos paduodamą į stiprintuvo plokštę, kurioje iš 4

diodų padarytas diodų tiltelis iš kintamos įtampos padaro į nuolatinę. Į stiprintuvą paduodamas signalas iš dažnio generatoriaus f signalas yra susistiprinamas ir paduodamas į siūstuvo ritę. Tarp stiprintuvo ir siūstuvo ritės $L1$ turime įterptą nuosekliai šuntą $R1$, su kuriuo bus matuojama efektinė siūstuvo ritės srovė panaudojant osciloskopą. Duomenims nuskaityti naudojami 2 vnt. RIGOL DS1102E Skaitmeniniai osciloskopai. Pirmu kanalu matuojama efektinė srovė $I1$, antru kanalu yra matuojama efektinė įtampa $U1$. Raudona linija žymi „aktyvųjį“ osciloskopo zondo jungimą. Taip pat į grandinę yra įterpiamas kondensatorius $C1$, o $R1.1$ žymi ritės bendrąją varžą. Tarp imtuvo ritės $L2$ ir apkrovos varžos $R2$ taip pat turime įterptą kondensatorių $C2$. $R2.1$ žymi ritės bendrąją varžą. Norint apskaičiuoti į imtuvą perduotos galios kiekį buvo pasinaudota identišku antru osciloskopu ir matuotas potencialų skirtumas prieš ir po varžos.

Tyrimo pradžioje buvo nutarta naudoti ritės Nr.5, nes pagal išmatuotą induktyvumą LCR matuokliu šių ričių induktyvumas buvo didžiausias (8 Lentelė). Tyrimo metu buvo keičiamos kondensatorių talpos, kad išmatuoti prie skirtingo rezonansinio dažnio naudingumo faktorių. Tyrimo tikslumui pagerinti buvo papildomai išmatuotos varžos ir kondensatorių talpos LCR matuokliu. Taip pat apskaičiuojamas preliminarus rezonansinis dažnis pagal šia formule:

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

čia, L - Ritės induktyvumas, H
 C - Kondensatoriaus talpa, F
 f_0 – Dažnis, Hz

Kadangi siūstuvo pusėje srovės matavimui buvo panaudotas 1Ω nominalo iš siūstuvo panaudotos galios reikia atimti šuntui sunaudota energiją kuri paverčiama šilumą. Žinant potencialų skirtumą prieš ir po varžos, bei žinant varžą galima apskaičiuoti srovę pagal formule:

$$I_{ef} = \frac{U_{ef}}{R} \quad (5)$$

čia, U_{1ef} – Siūstuvo efektinė įtampa, V
 I_{1ef} - Siūstuvo efektinė srovė, A
 R - Šunto varža, Ω

Apskaičiavus siūstuvo šunto efektingą srovę galima suskaičiuoti šunto aktyviąją galią, kuri buvo paversta šiluma, o ne naudingu darbu pagal šią formulę:

$$P_{\xi} = I_{ef}^2 \cdot R_1 \quad (6)$$

čia, P_{ξ} - Šunto sunaudota aktyvioji galia, W
 I_{1ef} - Siūstuvo efektingė srovė, A
 R_1 - Šunto varža, Ω

Apskaičiavus šunto sunaudotą galią, kuri buvo paversta šiluma apskaičiuojame bendrą siūstuvo suvartotą energiją ir atimame P_{ξ} šunto suvartotą galią, taip gauname perdavimui skirtą galią pagal šią formulę:

$$P_1 = I_{1ef} \cdot U_{1ef} - P_{\xi} \quad (7)$$

čia, P_1 - Siūstuvo ritės perdavimo aktyvioji galia, W
 P_{ξ} - Šunto sunaudota aktyvioji galia, W
 I_{1ef} - Siūstuvo efektingė srovė, A
 U_{1ef} – Siūstuvo efektingė įtampa, V

Apskaičiavus iš siūstuvo perduodamą galią reikia apskaičiuoti į imtuvą gaunamą aktyviąją galią pagal šią formulę:

$$P_2 = \frac{U_{2ef}^2}{R_2} \quad (8)$$

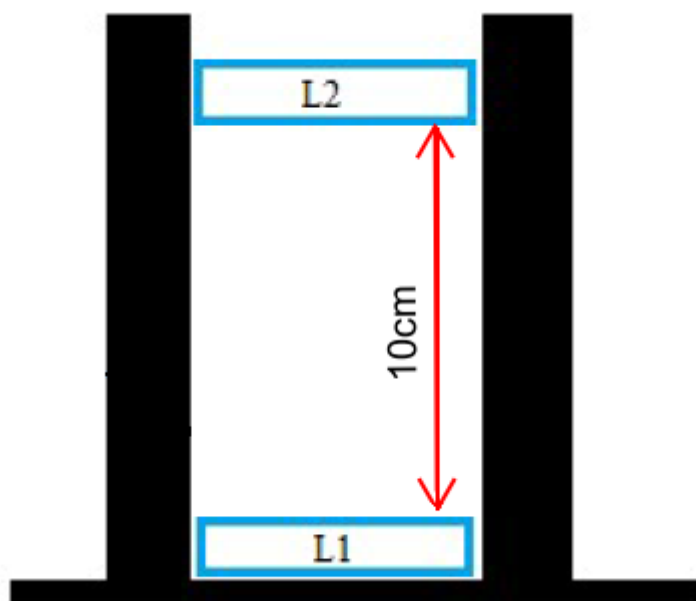
čia, P_2 - Imtuvo ritės gaunama aktyvioji galia, W
 R_2 - Apkrovos varža, Ω
 U_{2ef} – Imtuvo efektingė įtampa, V

Suskaičiavus P_1 ir P_2 galima paskaičiuoti naudingumo faktorių η pagal šią formulę:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \quad (9)$$

čia, η - naudingumo faktorius, %
 P_1 - Siūstuvo ritės perdavimo aktyvioji galia, W
 P_2 - Imtuvo ritės gaunama aktyvioji galia, W

Pirmiausia tyrimas buvo atliekamas be įterptos feritinės medžiagos norit išsiaiškinti koks perdavimo faktorius yra prieš įterpiant medžiagas, kad turėti atskaitos tašką su kuriuo bus lyginami tolimesni tyrimo etapai (18 Pav.).



18 Pav. Be įterptos feritinės medžiagos matavimas.

Visi matavimai atlikti su Nr.5 ritėmis turėjo tokius fiksuotus parametrus:

12 Lentelė. Nr.5 ritės fiksuoti parametrai.

L1, μH	L2, μH	R1, Ω	R1.1, Ω	R2, Ω	R2.1, Ω	H, cm
93.5	93.5	0.989	0.15	0.997	0.15	10

čia, L1- Siųstuvo ritės induktyvumas, μH

L2- Imtuvo ritės induktyvumas, μH

R1- Siųstuvo šunto varža, Ω

R1.1- Siųstuvo ritės bendroji varža, Ω

R2- Apkrovos varža, Ω

R2.1- Imtuvo ritės bendroji varža, Ω

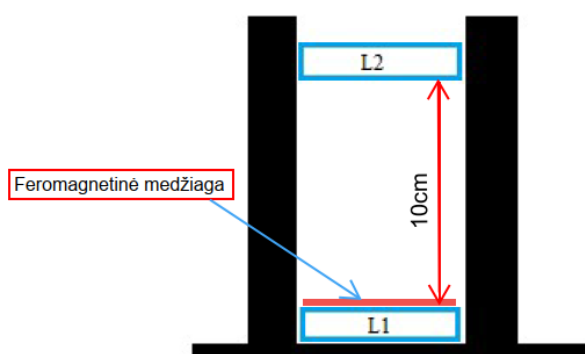
H- Atstumas tarp ričių, cm

13 Lentelė. Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	28.311	27.2	4.01	1.38	1.51	3.65	2.29	62.7
0.673	0.675	20.064	20	3.90	2.09	1.51	3.83	2.29	59.7
1.353	1.351	14.150	14.1	3.27	2.08	1.13	2.52	1.28	50.8

Atlikus matavimus matome, kad geresnis perdavimo naudingumo faktorius yra prie aukštesnių dažnių su rite Nr.5.

Antras matavimas buvo atliktas uždėjus visą feromagnetinę medžiagą (150g.) ant L1 ritės. Schema kaip buvo išdėstyti komponentai pavaizduoti (19 Pav).

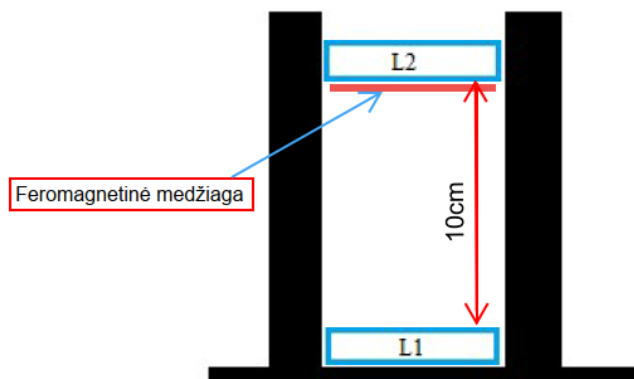


19 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas ant L1 ritės.

14 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos ant L1 ritės tyrimo matavimo rezultatai.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	28.311	27.2	3.62	1.87	0.45	3.31	0.20	6.1
0.673	0.675	20.064	17.1	3.47	2.50	0.52	2.49	0.27	10.9
1.353	1.351	14.150	11.9	2.82	2.16	0.395	1.47	0.16	10.6

Iš atliktų matavimų matome, kad uždengus siūstovo ritę feromagnetine medžiaga pasireiškia ekranavimo efektas ir naudingumo faktorius ženkliai krenta. Toliau trečiasis matavimas atliekamas uždėjus visą feromagnetinę medžiagą (150g.) po L2 rite. Schema kaip buvo išdėstyti komponentai parodyta (20 Pav.).



20 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas po L2 rite.

15 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos po L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	28.311	27.9	3.69	1.84	0.61	3.44	0.37	10.8
0.673	0.675	20.064	20.0	3.5	2.58	0.65	2.45	0.42	17.3
1.353	1.351	14.150	14.1	3.07	2.41	0.46	1.65	0.21	12.8

Iš atliktų matavimų matome, kad uždengus imtuvo ritę feromagnetine medžiaga pasireiškia ekranavimo efektas ir naudingumo faktorius ženkliai krenta. Toliau ketvirtas matavimas buvo atliktas įterpant feromagnetinę medžiagą tarp dviejų ričių atstumo viduryje 5cm nuo L1 ritės. Įterpti visi turimi feromagnetiniai milteliai (150g.) (21 Pav.).

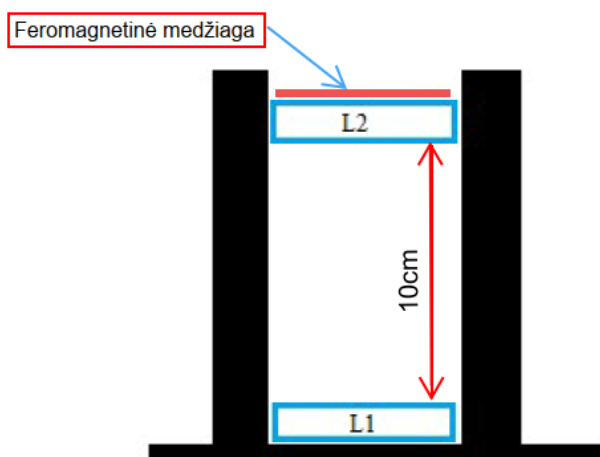


21 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas matuojant įterpus ją tarp ričių.

16 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos tarp ričių L1 ir L2 tyrimo matavimo rezultatai.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	28.311	27.3	3.98	1.41	1.45	3.65	2.11	57.8
0.673	0.675	20.064	19.9	3.81	2.09	1.38	3.65	1.91	52.4
1.353	1.351	14.150	14.1	3.27	2.2	1.01	2.41	1.02	42.5

Iš atliktų matavimų matome, kad įterpus feromagnetinę medžiagą tarp imtuvo ir siųstuvo naudingumo faktorius nepagerėja lyginant su matavimu be įterptos feromagnetinės medžiagos. Toliau penktasis matavimas buvo atliktas padėjus feromagnetinę medžiagą virš L2 ritės. Panaudoti visi turimi feromagnetiniai milteliai (150g.). Schema kaip buvo išdėstyti komponentai parodyta (22 Pav.).

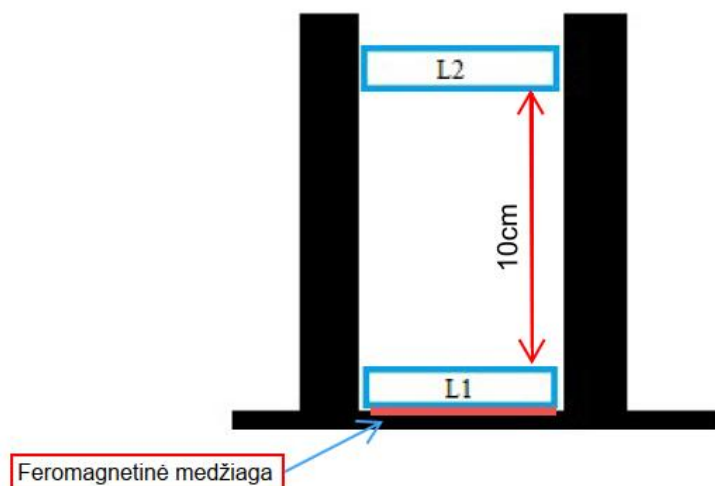


22 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas ant L2 ritės.

17 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	28.311	27.3	4.00	1.24	1.48	3.44	2.20	63.9
0.673	0.675	20.064	20.1	3.79	2.02	1.44	3.62	2.08	57.4
1.353	1.351	14.150	14.1	3.27	2.11	1.06	2.50	1.13	45.1

Iš atliktų matavimų matome, kad padėjus feromagnetinę medžiagą ant imtuvo ritės L2 naudingumo faktorius pagerėja lyginant su matavimu be įterptos feromagnetinės medžiagos prie 27.3 kHz dažnio, bet perdavimo naudingumo faktoriaus pagerėjimas jaučiamas labai minimalus 1.2%. Toliau šeštasis matavimas buvo atliktas padėjus feromagnetinę medžiagą po L1 rite. Panaudoti visi turimi feromagnetiniai milteliai (150g.). Schema kaip buvo išdėstyti komponentai parodyta (23 Pav.).

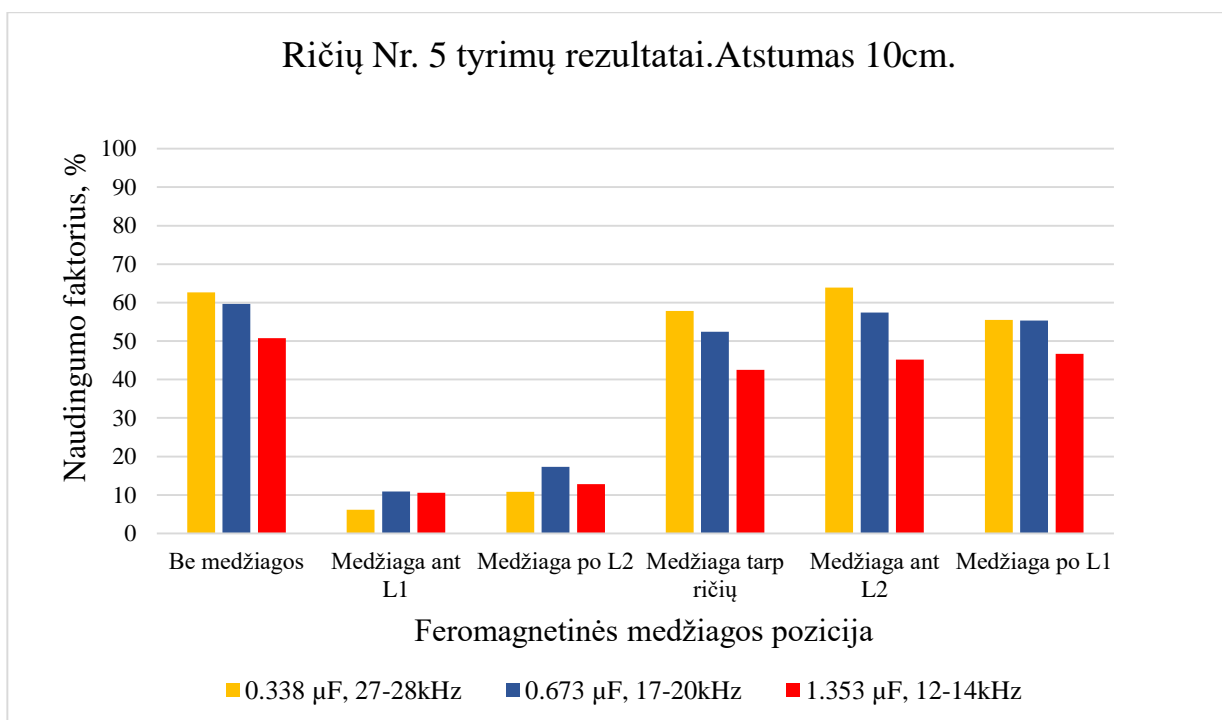


23 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas po L1 rite.

18 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos po L1 ritės tyrimo matavimo rezultatai.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	28.311	27.3	3.99	1.54	1.45	3.80	2.11	55.5
0.673	0.675	20.064	19.9	3.87	2.12	1.44	3.76	2.08	55.3
1.353	1.351	14.150	14.1	3.33	2.08	1.11	2.65	1.24	46.7

Iš atliktų matavimų matome, kad padėjus feromagnetinę medžiagą po siūstovo rite L1 naudingumo faktorius nepagerėja lyginant su matavimu be įterptos feromagnetinės medžiagos.



24 Pav. Nr.5 ričių tyrimu rezultatų stulpelinė diagrama.

Iš stulpelinės diagramos matome (24 Pav.), kad ritėje su feritais pridėjus dar papildomai feritinės medžiagos įtaka perdavimui nepagerėja, šiek tiek net slopina. Ypač slopina padėjus medžiagą perdavimo kryptimi ant ričių. Vyksta ekranavimo efektas, sąryšis tarp ričių mažėja, perdavimo naudingumas taip pat mažėja. (Medžiaga ant L1 ir Medžiaga po L2). Galima esamų feritų įtaka tyrimo rezultatams pasiekama feritų prisotinimo riba, todėl tolimesniam eksperimentui bus naudojamos modifikuotos ritės Nr.6 ir Nr.7, kurios buvo atskirtos nuo feritų ir tyrimui naudojamos ritės kurios neturi feritų, kad neiškreiptų duomenų. Toliau tyrimas tęsiamas su ritėmis Nr.6 ir Nr.7.

19 Lentelė. Nr.6, Nr.7 ritės fiksuoti parametrai.

L1, μH	L2, μH	R1, Ω	R1.1, Ω	R2, Ω	R2.1, Ω	H, cm
51.8	51.8	0.989	0.059	0.997	0.059	10

čia, L1- Siųstuvo ritės induktyvumas, μH

L2- Imtuvo ritės induktyvumas, μH

R1- Siųstuvo šunto varža, Ω

R1.1- Siųstuvo ritės bendroji varža, Ω

R2- Apkrovos varža, Ω

R2.1- Imtuvo ritės bendroji varža, Ω

H- Atstumas tarp ričių, cm

Pirmas matavimas su kitomis ritėmis buvo atliekamas be įterptos feritinės medžiagos norit išsiaiškinti koks perdavimo faktorius yra prieš įterpiant medžiagas, kad turėti atskaitos tašką su kuriuo bus lyginami tolimesni tyrimo etapai.

20 Lentelė. Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	38.036	38.8	3.00	1.49	1.30	2.27	1.70	74.5
0.673	0.675	26.956	27.2	3.16	1.77	1.40	2.49	1.97	78.8
1.353	1.351	19.011	19.0	2.84	1.98	1.09	1.75	1.19	68.3

Atlikus matavimus matome, kad geresnis perdavimo naudingumo faktorius yra prie aukštesnių dažnių su rite Nr.6 ir Nr.7. Antras matavimas buvo atliktas uždėjus visą feromagnetinę medžiagą (150g.) ant L1 ritės. Schema kaip buvo išdėstyti komponentai pavaizduoti (19 Pav).

21 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos ant L1 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	38.036	35.4	2.65	1.79	0.92	1.57	0.84	53.6
0.673	0.675	26.956	24.9	3.06	2.24	0.97	1.89	0.94	49.7
1.353	1.351	19.011	17.9	2.74	2.07	0.88	1.43	0.78	54.4

Iš atliktų matavimų matome, kad uždengus siūstovo ritę feromagnetine medžiaga pasireiškia ekranavimo efektas ir naudingumo faktorius krenta. Toliau trečiasis matavimas atliekamas uždėjus visą feromagnetinę medžiagą (150g.) po L2 rite. Schema kaip buvo išdėstyti komponentai parodyta (20 Pav.).

22 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos po L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	38.036	38.6	2.71	1.97	0.83	1.50	0.69	45.8
0.673	0.675	26.956	27.3	3.01	2.24	0.99	1.78	0.98	55.1
1.353	1.351	19.011	19.2	2.75	2.19	0.80	1.28	0.64	50.1

Iš atliktų matavimų matome, kad uždengus imtuvo ritę feromagnetine medžiaga pasireiškia ekranavimo efektas ir naudingumo faktorius krenta. Toliau ketvirtas matavimas buvo atliktas įterpiant feromagnetinę medžiagą tarp dviejų ričių atstumo viduryje 5cm nuo L1 ritės. Įterpti visi turimi feromagnetiniai milteliai (150g.) (21 Pav.).

23 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos tarp ričių L1 ir L2 tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	38.036	38.3	2.96	1.47	1.30	2.21	1.70	76.6
0.673	0.675	26.956	27.1	3.14	1.82	1.36	2.44	1.86	76.1
1.353	1.351	19.011	19.2	2.8	2.02	1.02	1.62	1.04	64.4

Iš atliktų matavimų matome, kad įterpus feromagnetinę medžiagą tarp imtuvo ir siūstovo naudingumo faktorius ties 38.6 kHz pagerėjimas jaučiamas labai minimalus 1.9%, kitais atvejais išlieka panašus lyginant su matavimu be įterptos feromagnetinės medžiagos. Toliau penktasis

matavimas buvo atliktas padėjus feromagnetinę medžiagą virš L2 ritės. Panaudoti visi turimi feromagnetiniai milteliai (150g.). Schema kaip buvo išdėstyti komponentai parodyta (22 Pav.).

24 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.

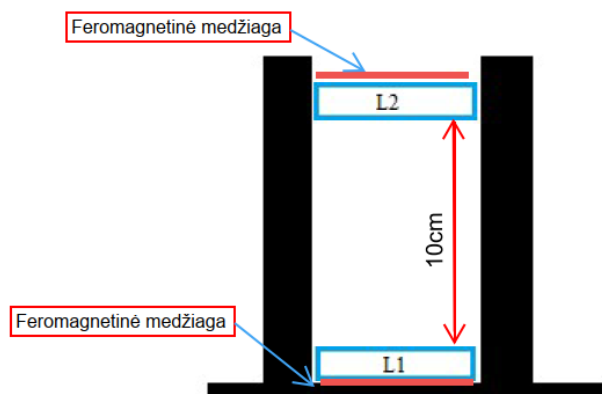
C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	38.036	38.8	2.79	1.84	1.05	1.79	1.11	62.0
0.673	0.675	26.956	27.4	3.03	2.16	1.09	1.93	1.19	61.7
1.353	1.351	19.011	19.2	2.77	2.06	0.96	1.51	0.92	60.9

Iš atliktų matavimų matome, kad padėjus feromagnetinę medžiagą ant imtuvo ritės L2 naudingumo faktorius nepagerėja lyginant su matavimais su Nr.5 ritėmis kurios turi feromagnetines medžiagas primontuotas ant ritės. Toliau šeštasis matavimas buvo atliktas padėjus feromagnetinę medžiagą po L1 rite. Panaudoti visi turimi feromagnetiniai milteliai (150g.). Schema kaip buvo išdėstyti komponentai parodyta (23 Pav.).

25 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos po L1 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	38.036	35.2	2.74	1.69	1.08	1.81	1.17	64.8
0.673	0.675	26.956	25.1	2.97	1.97	1.14	2.01	1.30	64.8
1.353	1.351	19.011	17.7	2.77	1.98	1.01	1.61	1.02	63.7

Iš atliktų matavimų matome, kad padėjus feromagnetinę medžiagą po siūstovo rite L1 naudingumo faktorius nepagerėja lyginant su matavimais su Nr.5 ritėmis, kurios turi feromagnetines medžiagas primontuotas ant ritės. Taip pat pastebima, kad ženkliai pasikeičia rezonansinis dažnis, kadangi kondensatorių talpos keičiamos nebuvo ir daroma prielaida, kad keičiasi ričių induktyvumo parametrai. Norint pasiekti rezonansą tarp ričių geriausia reikia suderinti rites, kad pasiekti rezonansą. Dėl to septintasis matavimas buvo atliktas padėjus pusę feromagnetinės medžiagos (75g.) po L1 rite ir pusę feromagnetinės medžiagos (75g.) ant L2 ritės tam, kad išlyginti siūstovo ir imtuvo ričių induktyvumo parametrus. Schema kaip buvo išdėstyti komponentai parodyta (25 Pav.).

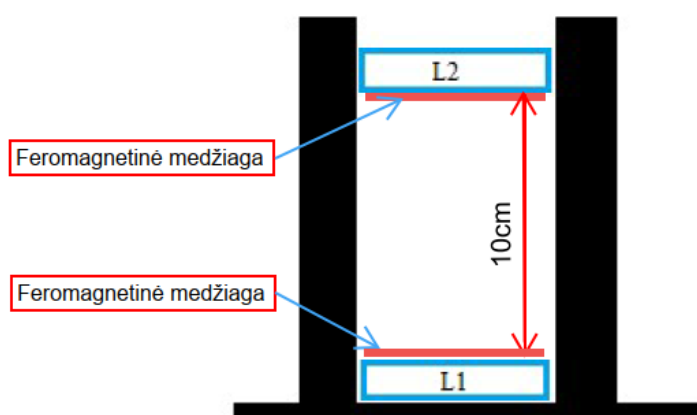


25 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas po L1 rite ir ant L2 ritės.

26 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos 75g po L1 rite ir 75g medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	38.036	36.1	2.96	1.23	1.30	2.14	1.17	79.0
0.673	0.675	26.956	25.9	3.15	1.64	1.40	2.51	1.30	78.4
1.353	1.351	19.011	18.4	2.81	1.84	1.16	1.82	1.02	74.1

Iš atliktų matavimų matome, kad padėjus pusę turimos feromagnetinės medžiagos po siūstuvo rite L1 ir pusę feromagnetinės medžiagos ant imtuvo L2 ritės pastebimas perdavimo naudingumo faktoriaus pagerėjimas, ypač pagerėja prie žemesnio dažnio 5.8%. Pasikeičia rezonansinis dažnis, kadangi keičiasi ričių induktyvumo parametrai. Aštuntasis matavimas buvo atliktas padėjus pusę feromagnetinės medžiagos (75g.) ant L1 rite ir pusę feromagnetinės medžiagos (75g.) po L2 ritės, tam, kad išlyginti siūstuvo ir imtuvo ričių induktyvumo parametrus. Schema kaip buvo išdėstyti komponentai parodyta (26 Pav.).

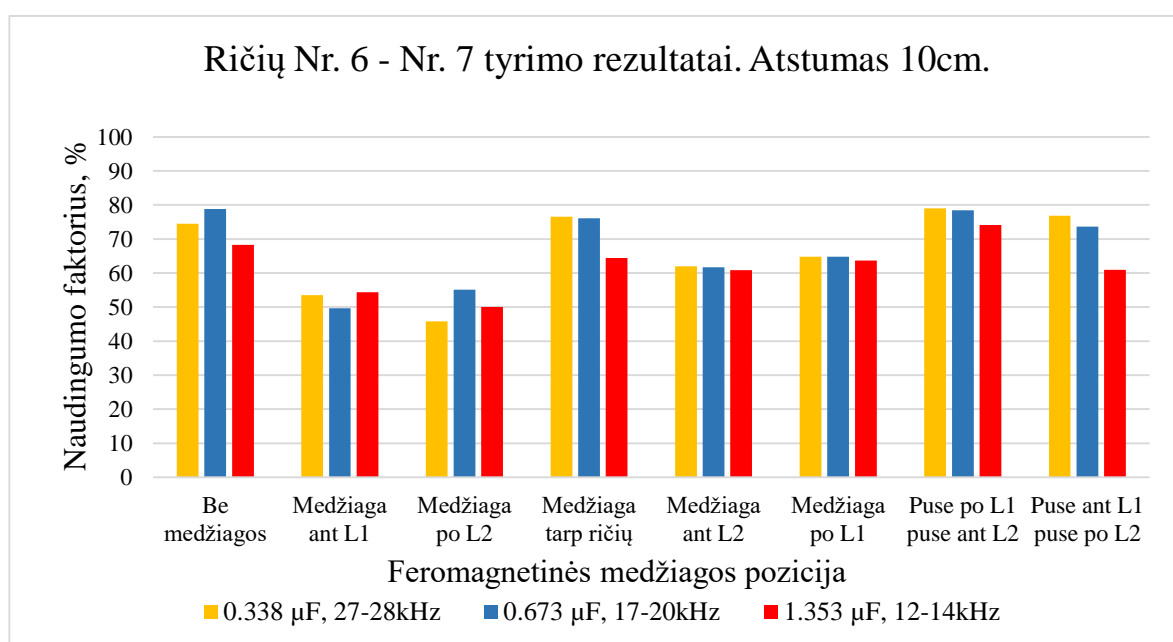


26 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas ant L1 ritės ir po L2 rite.

27 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos 75g ant L1 ritės ir 75g medžiagos po L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	38.036	36.1	2.92	1.35	1.28	2.14	1.64	76.8
0.673	0.675	26.956	25.9	3.03	1.83	1.28	2.23	1.64	73.6
1.353	1.351	19.011	18.4	2.47	1.77	0.88	1.27	0.78	61.0

Iš atliktų matavimų matome, kad padėjus pusę turimo feromagnetinės medžiagos ant siūstuvo ritės L1 ir pusę feromagnetinės medžiagos po imtuvo L2 rite pastebima, kad perdavimo naudingumo faktoriai nėra tokie geri kaip feromagnetinę medžiagą panaudojus po L1 rite ir ant L2 ritės.



27 Pav. Nr.6-Nr.7 ričių tyrimų rezultatų stulpelinė diagrama. Atstumas 10cm.

Iš stulpelinės diagramos matome (27 Pav.), kad ritėje be feritų pridėjus papildomai feromagnetinės medžiagos įtaka perdavimui pagerėja, bet labai priklauso nuo feromagnetinės medžiagos išdėstymo tarp siūstuvo ir imtuvo ričių. Kaip matome uždėjus medžiagą vienoje ritės pusėje tik ant L1 ar tik ant L2 ritėmis matomas perdavimo pablogėjimas. Padalinus turimos feromagnetinės medžiagos turimą kiekį į dvi lygias dalis ir jas dedant po L1 rite ir ant L2 ritės matomas geriausias efektyvumas. Taip pat pastebima, kad naudojant tarp ričių prie didžiausio dažnio taip pat matomas pagerėjimas. Toliau tyrimas tęsiamas su ta pačia ričių konfiguracija, tačiau didinamas atstumas tarp ričių iki 15 cm.

28 Lentelė. Nr.6, Nr.7 ritėmis fiksuoti parametrai padidinus atstumą tarp jų.

L1, μH	L2, μH	R1, Ω	R1.1, Ω	R2, Ω	R2.1, Ω	H, cm
51.8	51.8	0.989	0.059	0.997	0.059	15

čia, L1- Siųstuvo ritės induktyvumas, μH

L2- Imtuvo ritės induktyvumas, μH

R1- Siųstuvo šunto varža, Ω

R1.1- Siųstuvo ritės bendroji varža, Ω

R2- Apkrovos varža, Ω

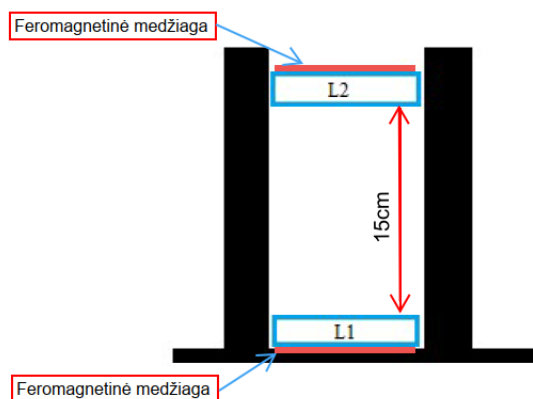
R2.1- Imtuvo ritės bendroji varža, Ω

H- Atstumas tarp ričių, cm

29 Lentelė. Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7. Atstumas 15 cm.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	38.036	38.0	2.57	1.83	0.81	1.39	0.66	47.3
0.673	0.675	26.956	27.0	2.69	2.12	0.69	1.26	0.47	37.7
1.353	1.351	19.011	19.0	2.31	1.92	0.47	0.79	0.22	27.5

Atlikus matavimus matome, kad padidinus atstumą tarp ričių naudingumo faktorius ženkliai mažėja lyginant su 10 cm atstumu. Geresnis perdavimo naudingumo faktorius pastebimas yra prie aukštesnių dažnių. Tolimesnis matavimas buvo atliktas padalinus turimos feromagnetinės medžiagos turimą kiekį į dvi lygias dalis ir jas dedant po L1 rite ir ant L2 ritės. Schema kaip buvo išdėstyti komponentai pavaizduoti (28 Pav.).

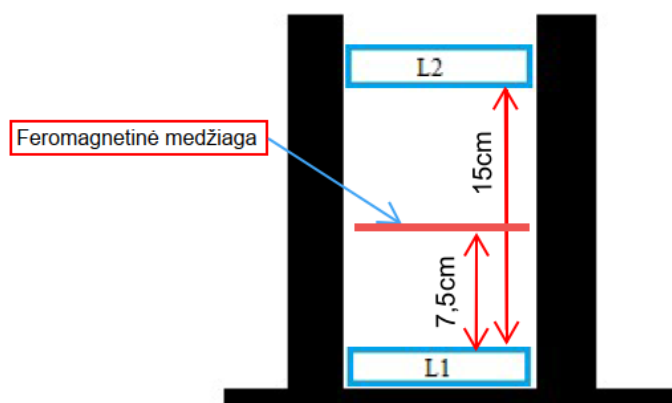


28 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas po L1 rite ir ant L2 ritės 15cm atstumui.

30 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos 75g po L1 rite ir 75g medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	38.036	37.0	2.56	1.77	0.85	1.43	0.73	51.1
0.673	0.675	26.956	26.0	2.87	2.25	0.80	1.45	0.65	44.7
1.353	1.351	19.011	18.0	2.33	1.92	0.50	0.83	0.25	30.8

Iš atliktų matavimų matome, kad padėjus pusę turimos feromagnetinės medžiagos ant siūstuvo ritės L1 ir pusę feromagnetinės medžiagos po imtuvo L2 rite pastebima, kad perdavimo naudingumo faktorius pagerėja 4-7%. Atsižvelgiant į ankstesnius tyrimo rezultatus tyrimas atliekamas taip pat ir įterpus feromagnetinę medžiagą tarp ričių kai jų atstumas 15cm. Schema kaip buvo išdėstyti komponentai parodyta (29 Pav.).



29 Pav. Feromagnetinės medžiagos išdėstymas įterpus ją tarp ričių 15cm atstumui.

31 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos tarp ričių L1 ir L2 tyrimo matavimo rezultatai. Atstumas tarp ričių 15 cm.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.338	0.338	38.036	38.0	2.55	1.83	0.78	1.35	0.61	45.4
0.673	0.675	26.956	27.0	2.82	2.26	0.71	1.32	0.51	38.6
1.353	1.351	19.011	19.0	2.37	1.96	0.47	0.85	0.22	25.8

Iš atliktų matavimų matome, kad įterpus feromagnetinę medžiagą tarp imtuvo ir siūstuvo naudingumo faktorius nepagerėja arba pagerėja labai neženkliai lyginant su matavimu be įterptos feromagnetinės medžiagos. Pastebėjus, kad feromagnetinės medžiagos teigiamas efektas labiau pasireiškia prie aukštesnių dažnių yra pakeičiami kondensatoriai kitais talpos parametrais, kad pakelti rezonansinį dažnį. Mano atveju pakeitus kondensatorius į 0.1 μF ir paskaičiavus su formule (4)

preliminarų dažnį buvo gauta $\approx 70\text{kHz}$ dažnis. Tolimesni matavimai skirti įvertinti perdavimą prie didesnių dažnių. Pirmas skaičiavimas atliekamas neįtraukiant feromagnetinės medžiagos, kad turėti atskaitos tašką.

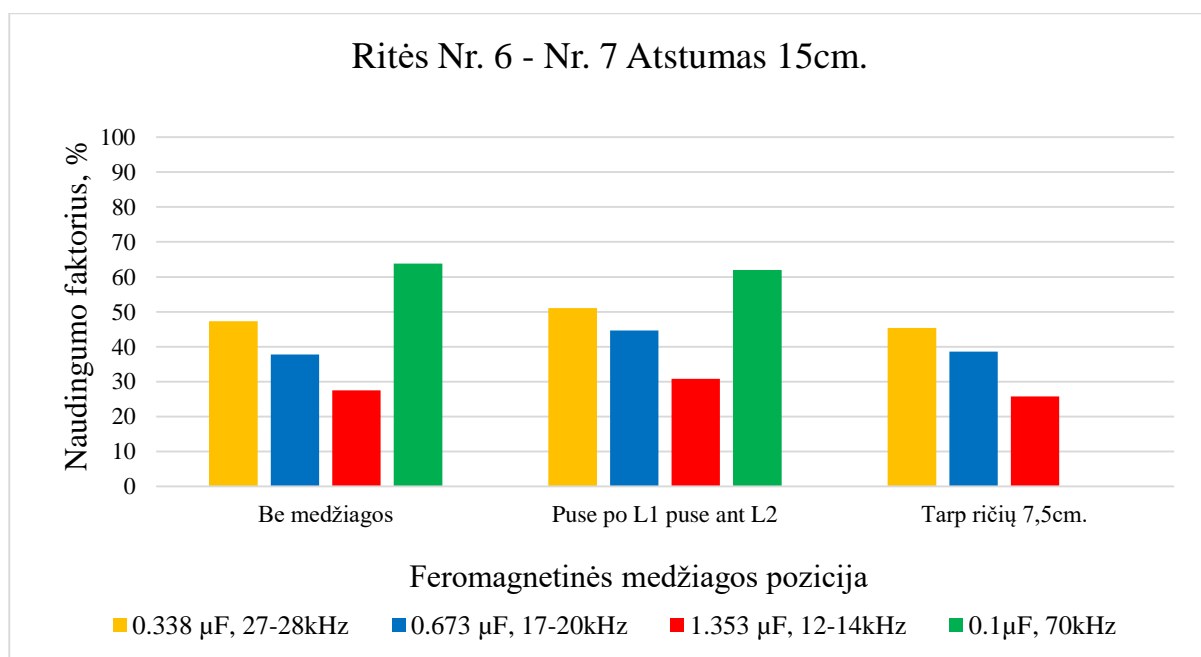
32 Lentelė. Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai padidintu rezonansiniu dažniu. Ritės Nr.6, Nr.7. Atstumas 15 cm.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.1	0.1	69.928	70.2	1.84	0.94	0.74	0.86	0.55	63.8

Atlikus matavimus matome, kad padidinus rezonansinį dažnį tarp ričių naudingumo faktorius ženkliai pagerėja lyginant su matavimais atliktais 0.338, 0.673, 1.353 μF kondensatoriais prie to pačio atstumo tarp ričių. Tolimesnis matavimas buvo atliktas padalinus turimos feromagnetinės medžiagos turimą kiekį į dvi lygias dalis ir jas dedant po L1 rite ir ant L2 ritės. Schema kaip buvo išdėstyti komponentai pavaizduoti (28 Pav.).

33 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos 75g po L1 rite ir 75g medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai padidintu rezonansiniu dažniu. Ritės Nr.6, Nr.7. Atstumas 15 cm.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.1	0.1	69.928	68.0	1.87	1.00	0.74	0.88	0.55	62.0



30 Pav. Nr.6-Nr.7 ričių tyrimų rezultatų stulpelinė diagrama. Atstumas 15cm.

Atlikus matavimus matome, kad padidinus rezonansinį dažnį ir įterpus feromagnetines medžiagas po rite L1 ir ant ritės L2 naudingumo faktoriaus pagerėjimas nepastebimas (30 Pav.).

Įvertinus labai mažą perduodamą galią ir faktą, kad stiprintuvo pagal technines specifikacijas darbinis dažnis yra iki 20 kHz darau prielaidą, kad pritrūko galios, todėl nebuvo gautas teigiamas efektas. Dėl šios priežasties atliksiu paskutinius matavimus, tokiu pat rezonansiniu dažniu, tačiau sumažinus atstumą iki prieš tai naudoto 10cm tarp ričių.

34 Lentelė. Nr.6, Nr.7 ritėmis fiksuoti parametrai tyrimams su padidintu dažniu.

L1, μH	L2, μH	R1, Ω	R1.1, Ω	R2, Ω	R2.1, Ω	H, cm
51.8	51.8	0.989	0.059	0.997	0.059	10

čia, L1- Siųstuvo ritės induktyvumas, μH

L2- Imtuvo ritės induktyvumas, μH

R1- Siųstuvo šunto varža, Ω

R1.1- Siųstuvo ritės bendroji varža, Ω

R2- Apkrovos varža, Ω

R2.1- Imtuvo ritės bendroji varža, Ω

H- Atstumas tarp ričių, cm

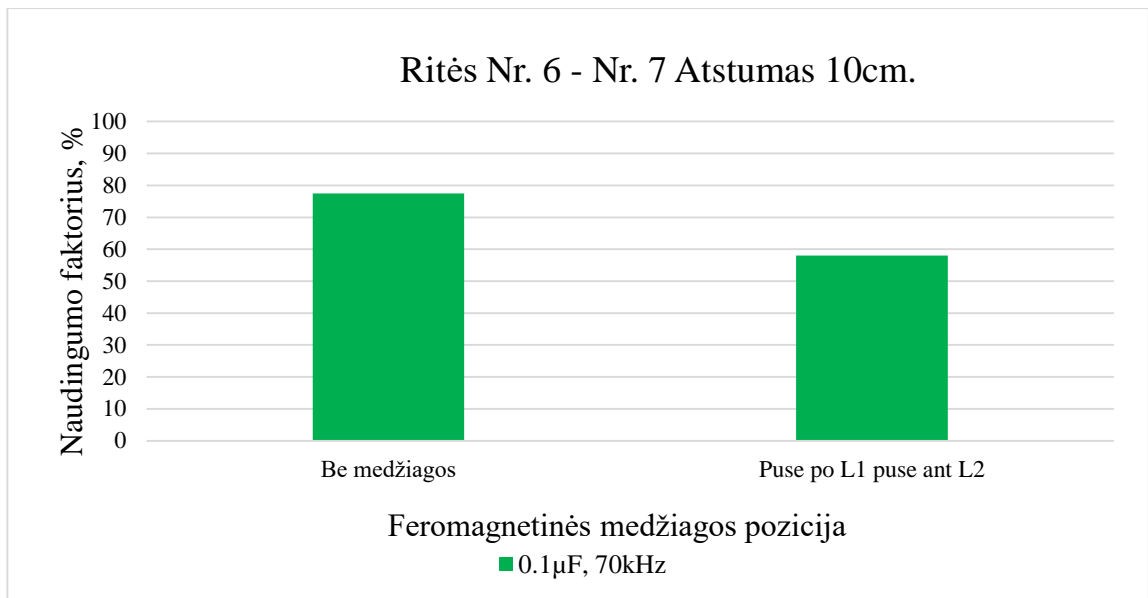
35 Lentelė. Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai padidintu rezonansiniu dažniu. Ritės Nr.6, Nr.7. Atstumas 10 cm.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.1	0.1	69.928	70.2	2.15	0.50	0.80	0.82	0.64	77.5

Atlikus matavimus matome, kad sumažinus atstumą tarp ričių naudingumo faktorius ženkliai didėja lyginant su 15 cm atstumu prie tokio pat dažnio. Tolimesnis matavimas buvo atliktas padalinus turimos feromagnetinės medžiagos turimą kiekį į dvi lygias dalis ir jas dedant po L1 rite ir ant L2 ritės. Schema kaip buvo išdėstyti komponentai pavaizduoti (28 Pav.).

36 Lentelė. Feromagnetinės medžiagos 75g po L1 rite ir 75g medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai padidintu rezonansiniu dažniu. Ritės Nr.6, Nr.7. Atstumas 10 cm.

C1, μF	C2, μF	f_0 , kHz	f, kHz	U_{1ef} , V	I_{1ef} , A	U_{2ef} , V	P_1 , W	P_2 , W	η , %
0.1	0.1	69.928	70.7	1.95	0.88	0.74	0.95	0.55	58.0



31 Pav. Nr.6-Nr.7 ričių tyrimų rezultatų stulpelinė diagrama.~70 kHz. Atstumas 10cm.

Atlikus matavimus matome, kad įterpus feromagnetines medžiagas po rite L1 ir ant ritės L2 naudingumo faktorius ženkliai mažėja lyginant su matavimu be medžiagos. Feromagnetinės medžiagos panaudojimas nepagerina perdavimo faktoriaus.

IŠVADOS

1. Iš literatūros apžvalgos galima daryti išvadas, jog yra sukurtų daug krovimo įrenginių, kurie atlieka bevielį energijos perdavimą imtuvui, tačiau elektra varomam transportui bevielio krovimo stotelės galimos tik padėjus išorinį įrenginį ant kelio dangos. Dauguma šių įrenginių galima naudoti namų sąlygomis, bet ne kaip viešojo kelių eismo infrastruktūros dalimi. Krovimo įrenginį įmontavus po kelio dangą, elektromobilius ir kitą elektra varomą transportą leistų krauti parkavimosi vietose, kelyje netrukdam transportui judėti ir pilnai naudoti kelio dangą. Apžvelgiant literatūrą, nebuvo rasta tyrimų ar patobulintas kelio dangos mišinys su feromagnetinėmis savybėmis galėtų pagerinti perdavimo efektyvumą.

2. Iš pateiktos literatūros apžvalgos matyti, jog sistema nors ir iš pirmo žvilgsnio atrodo gana paprasta, įsigilinus buvo rasta labai daug skirtingų parametrų, medžiagų, standartų, kurie įtakoja perdavimo efektyvumą. Buvo išsiaiškinta, kokios galimai feritinės medžiagos gali pagerinti energijos perdavimo naudingumo faktorių, bei kur jos dažniausiai randamos elektronikoje. Taip rastas antrinis elektronikos panaudojimas feromagnetinėms medžiagoms gauti.

3. Tyrimo metu buvo sukurtas bevielio energijos perdavimo standas, kuris veikia iki 10W galios energijos perdavimui. Atlikti eksperimentai parodė geriausią galios perdavimą ir naudingumo faktorių, kai tyrimo standas 10cm atstumu siūstuvus nuo imtuvo, didinant atstumą perdavimo galia mažėja.

4. Bevielio energijos perdavimo pagerinimui, atsižvelgiant į literatūrą tyrime buvo naudojami „minkštieji feritai“. Tyrime naudojau perdūrimui skirtus mažos galios transformatorius, kurių šerdyse yra randami Mangano-cinko minkštieji feritai kas leidžia nebenaudojamą elektroniką ir jos komponentus panaudoti antriniam naudojimui išgaunant feromagnetinę medžiagą.

5. Eksperimentiniai tyrimai parodė, jog feromagnetinės medžiagos įterpimas tarp siūstuvo ir imtuvo ritės negeba pagerinti energijos perdavimo ir negali padidinti energijos perdavimo naudingumo faktoriaus. Taip pat tyrimas parodė, kad norint didinti atstumą tarp siūstuvo ir imtuvo stipriai naudingumo faktorių pagerina aukštesnis rezonansinis dažnis, tačiau reikia padidinti perdavimo galią.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- 1 „The global electric-vehicle market is amped up and on the rise“ [Interaktyvus] [Žiūrėta 2021 m. lapkričio 20 d.] Prieiga per Internetą: <<https://www.mckinsey.com>>
- 2 Li, S., Mi, C.C.: „Wireless power transfer for electric vehicle applications“, IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2015, 3, (1), pp. 4–17
- 3 „Electric vehicle telematics and charging control. [Interaktyvus] [Žiūrėta 2021 m. lapkričio 22 d.] Prieiga per Internetą: <<https://www.fleetcarma.com>>
4. News, E.V.. “Electric vehicle news“ [Interaktyvus] [Žiūrėta 2021 m. lapkričio 25 d.] Prieiga per Internetą:< <http://www.electricvehiclenews.com/2014/05/volvo-to-develop-electric-roads-for.html>>
- 5 Liu, C., Chau, K.T., Wu, D., Gao, S.: „Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies“, Proceedings of the IEEE, 2013, 101, (11), pp. 2409–2427
- 6 „Honda unveils two-way wireless v2g energy management system“ [Interaktyvus] [Žiūrėta 2021 m. lapkričio 25 d.] Prieiga per Internetą:< <https://chargedevs.com/newswire/honda-unveils-two-way-wireless-v2g-energy/-management-system/> >
- 7 Hui, S.Y.R., Zhong, W., Lee, C.K.: „A critical review of recent progress in midrange wireless power transfer“, IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29, (9), pp. 4500–4511
- 8 Theodoropoulos, T., Damousis, Y., Amditis, A. „A load balancing control algorithm for ev static and dynamic wireless charging“. In: 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring). 2015. pp. 1–5.
- 9 Esteban, B., Sid.Ahmed, M., Kar, N.C.: „A comparative study of power supply architectures in wireless ev charging systems“, IEEE Transactions on Power Electronics, 2015, 30, (11), pp. 6408–6422
- 10 Hsieh, Y., Lin, Z., Chen, M., Hsieh, H., Liu, Y., Chiu, H.: „High-efficiency wireless power transfer system for electric vehicle applications“, IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 2017, 64, (8), pp. 942–946
- 11 Kan, T., Nguyen, T., White, J.C., Malhan, R.K., Mi, C.C.: „A new integration method for an electric vehicle wireless charging system using lcc compensation topology: Analysis and design“, IEEE Transactions on Power Electronics, 2017, 32, (2), pp. 1638–1650
- 12 Cai, C., Wang, J., Fang, Z., Zhang, P., Hu, M., Zhang, J., et al.: „Design and optimization of load-independent magnetic resonant wireless charging system for electric vehicles“, IEEE Access, 2018, 6, pp. 17264–17274
- 13 Chung, Y.D., Lee, C.Y., Kang, H., Park, Y.G.: „Design considerations of superconducting wireless power transfer for electric vehicle at different inserted resonators“, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2016, 26, (4), pp. 1–5

- 14 Zhang, W., White, J.C., Abraham, A.M., Mi, C.C.: „Loosely coupled transformer structure and interoperability study for ev wireless charging systems“, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2015, 30, (11), pp. 6356–6367
- 15 Kim, J., Son, H., Kim, D., Kim, K., Park, Y. „Efficiency of magnetic resonance wpt with two off-axis self-resonators“. In: 2011 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications. (, 2011. pp. 127–130
- 16 Kim, H., Song, C., Kim, D., Jung, D.H., Kim, I., Kim, Y., et al.: „Coil design and measurements of automotive magnetic resonant wireless charging system for high-efficiency and low magnetic field leakage“, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2016, 64, (2), pp. 383–400
- 17 Mou, X., Sun, H. „Wireless power transfer: Survey and roadmap“. In: Proc. of 81st IEEE Vehicular Technology Conference. 2015. pp. 1–5
- 18 Yang, G., Zhu, C., Song, K., Liu, K., Lu, R., Wei, G. „Power stability optimization method of wireless power transfer system against wide misalignment“. In: 2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific). 2017. pp. 1–6
- 19 Dang, Z., Qahouq, J.: „Modeling and investigation of magnetic resonance coupled wireless power transfer system with lateral misalignment“, *Proc 29th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2014, pp. 1313–1322
- 20 Fotopoulou, K., Flynn, B.: „Wireless power transfer in loosely coupled links“, *Proc IEEE Transactions on Magnetics*, 2011, 47, (2), pp. 413–430
- 21 Fernandes, R.C., de Oliveira, A.: „Iterative design method of weakly coupled magnetic elements for inductive power transfer“, *Proc Brazilian Power Electronics Conference (COBEP)*, 2013, pp. 1088–1093
- 22 Jegadeesan, R., and. „Overcoming coil misalignment using magnetic fields of induced currents in wireless power transmission“. In: 2012 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium Digest. 2012. pp. 1–3
- 23 Luo, Z., Wei, X. „Mutual inductance analysis of planar coils with misalignment for wireless power transfer systems in electric vehicle“. In: 2016 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). 2016. pp. 1–6
- 24 H..Hoang, Y.C., Bien, F.: „Efficiency improvement for magnetic resonance based wireless power transfer with axial-misalignment“, *Electronics Letters*, 2012, 48, (6), pp. 339–341
- 25 Miwa, K., Kaneda, J., Kikuma, N., Hirayama, H., Sakakibara, K. „Consideration of use of arrayed transmitting coils in wireless power transfer with magnetically coupled resonance“. In: 2012 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP). 2012. pp. 451–454

- 26 Mori, K., Lim, H., Iguchi, S., Ishida, K., Takamiya, M., Sakurai, T.: „Positioning-free resonant wireless power transmission sheet with staggered repeater coil array (srca)“, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2012, 11, pp. 1710-1713
- 27 Miwa, K., Mori, H., Kikuma, N., Hirayama, H., Sakakibara, K.: „A consideration of efficiency improvement of transmitting coil array in wireless power transfer with magnetically coupled.“ In: *2013 IEEE Wireless Power Transfer (WPT)*. 2013. pp. 13–16
- 28 Gao, Y., Duan, C., Oliveira, A.A., Ginart, A., Farley, K.B., Tse, Z.T.H.: „3-D coil positioning based on magnetic sensing for wireless ev charging“, *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 2017, 3, (3), pp. 578–588
- 29 Zhao, L., Thrimawithana, D.J., Madawala, U.K.: „Hybrid bidirectional wireless ev charging system tolerant to pad misalignment“, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2017, 64, (9), pp. 7079–7086
- 30 Li, Y., Li, X., Peng, F., Zhang, H., Guo, W., Zhu, W., et al.: „Wireless energy transfer system based on high q flexible planar-litz mems coils“. In: *Proc. 2013 8th IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS)*. 2013. pp. 837–840
- 31 Mizuno, T., Yachi, S., Kamiya, A., Yamamoto, D.: „Improvement in efficiency of wireless power transfer of magnetic resonant coupling using magnetoplated wire“, *IEEE Transactions on Magnetics*, 2011, 47, (10), pp. 4445–4448
- 32 Sampath, J.P.K., Alphones, A., Kenneth, L.Y.Y., Vilathgamuwa, D.M.: „Analysis on normalized distance and scalability in designing wireless power transfer“. In: *Proc. 2015 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power (WoW)*. 2015. pp. 1–6
- 33 Flynn, B.W., Fotopoulou, K.: „Rectifying loose coils: Wireless power transfer in loosely coupled inductive links with lateral and angular misalignment“, *IEEE Microwave Magazine*, 2013, 14, (2), pp. 48–54
- 34 Xianjin, S., Guoqiang, L., Yanhong, L., Chao, Z., Xiaoyu, X.: „Analyses and experiments of field-circuit coupling equations for wireless power transfer using solenoidal coils“. In: *Proc. 2015 IEEE International Wireless Symposium (IWS)*. 2015. pp. 1–4
- 35 Feenaghty, M., Dahle, R.: „A compact and high quality factor archimedean coil geometry for wireless power transfer“. In: *2016 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC)*. 2016. pp. 1–3
- 36 Nguyen, M.Q., Hughes, Z., Woods, P., Seo, Y.S., Rao, S., Chiao, J.C.: „Field distribution models of spiral coil for misalignment analysis in wireless power transfer systems“, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2014, 62, (4), pp. 920–930
- 37 Limited, U.F.: „EV city casebook 50 big ideas shaping the future of electric mobility“ [Interaktyvus] [Žiūrėta 2021 m. lapkričio 28 d.] Prieiga per Internetą:<

<http://urbanforesight.org/projects/case-studies/detail/ev-city-casebook-50-big-ideas-shaping-future-electric/-mobility>>

38. Primove. „Primove website“ [Interaktyvus] [Žiūrėta 2021 m. lapkričio 30 d.] Prieiga per Internetą: <<http://primove.bombardier.com/media/publications.html>>

39 Theodoropoulos, T., Damousis, Y., Amditis, A. „A load balancing control algorithm for ev static and dynamic wireless charging“. In: 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring). 2015. pp. 1–5

40 Theodoropoulos, T., Amditis, A., Sallān, J., Bludszuweit, H., Berseneff, B., Guglielmi, P., et al. „Impact of dynamic ev wireless charging on the grid“. In: 2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC). 2014. pp. 1–7

41 Naberezhnykh, D., Reed, N., Ognissanto, F., Theodoropoulos, T., Bludszuweit, H. „Operational requirements for dynamic wireless power transfer systems for electric vehicles“. In: 2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC). 2014. pp. 1–8

42 Chen, Z., Jing, W., Huang, X., Tan, L., Chen, C., Wang, W.: „A promoted design for primary coil in roadway-powered system“, IEEE Transactions on Magnetics, 2015, 51, (11), pp. 1–4

43 Hwang, I., Jang, Y.J., Ko, Y.D., Lee, M.S.: „System optimization for dynamic wireless charging electric vehicles operating in a multiple-route environment“, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017, pp. 1–18

44 Shin, S., Shin, J., Kim, Y., Lee, S., Song, B., Jung, G., et al. „Hybrid inverter segmentation control for online electric vehicle“. In: Proc. 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference. 2012. pp. 1–6

45 Shen, F.Z.: „Circuit analysis of wireless power transfer by coupled magnetic resonance“, IET Conference Proceedings, 2009, pp. 602–605(3)

46 Lee, C.K., Zhong, W.X. „Wireless power transfer systems for electric vehicles“. In: Energy Systems for Electric and Hybrid Vehicles. Transport. (Institution of Engineering and Technology, 2016. pp. 261–288

47 Feng, P., Xu, T., Li, Y., Zhang, X., Gao, X., Dong, Z., et al. „The modelin analysis of wireless power transmission under the basic topology structure“. In: 2017 International Conference on Computer Systems, Electronics and Control (ICCSEC). 2017. pp. 362–367

48 Wang, S., Chen, J., Hu, Z., Rong, C., Liu, M.: „Optimisation design for seriesseries dynamic wpt system maintaining stable transfer power“, IET Power Electronics, 2017, 10, (9), pp. 987–995

49 Qi, P., Xu, J., Yi, F., Zhang, Y., Wang, P., Feng, L., et al. „The characteristic analysis of magnetically coupled resonant wireless power transmission based on ss compensation structure“. In: 2017 First International Conference on Electronics Instrumentation Information Systems (EIIS). 2017. pp. 1–4

- 50 „A4wp wireless charging“. [Interaktyvus] [Žiūrėta 2021 m. gruodžio 3 d.] Prieiga per Internetą:<<http://www.radio-electronics.com/info/power-management/wireless-inductive-battery-charging/a4wp-wireless-charging.php>>
- 51 BLANCO, S.. „Sae now has a wireless charging standard:j2954“ [Interaktyvus] [Žiūrėta 2021 m. gruodžio 5 d.] Prieiga per Internetą:<<https://www.autoblog.com/2016/05/26/sae-now-has-a-wireless-charging-standard-j2954>>
- 52 Warrington, C.. „Charging on the go“ [Interaktyvus] [Žiūrėta 2021 m. gruodžio 5 d.] Prieiga per Internetą:< <https://ieccetech.org/index.php/Technology-Focus/2017-03/Charging-on-the-go>>
- 53 „Iec releases iec 62827-1:2016, standard for wireless power transfer“. [Interaktyvus] [Žiūrėta 2021 m. gruodžio 6 d.] Prieiga per Internetą:<<https://incompliancemag.com/iec-releases-iec-62827-12016-standard-for/-wireless-power-transfer>>
54. Carter, C. Barry; Norton, M. Grant (2007). „Ceramic Materials: Science and Engineering“ Springer. pp. 212–15.
55. Spaldin, Nicola A. (2010). „Magnetic Materials: Fundamentals and Applications“ 2nd Ed. Cambridge University Press. p. 120.
56. „Facile synthesis and temperature dependent dielectric properties of MnFe₂O₄ nanoparticles“ AIP Conference Proceedings 2115, 030104 (2019)
57. Ullah, Zaka; Atiq, Shahid; Naseem, Shahzad (2013). "Influence of Pb doping on structural, electrical and magnetic properties of Sr-hexaferrites". Journal of Alloys and Compounds. 555: 263-267.
58. Yi Wang, Fei Lin, Zhongping Yang and Zhiyuan Liu (2017). „Analysis of the Influence of Compensation Capacitance Errors of a Wireless Power Transfer System with SS Topology“ p. 3.

PRIEDAI

1 Priedas. Tyrimo skaičiavimai.

Matavimai esant 100/120Hz dažniui							
	Nr.1 $\phi=224\text{mm}$	Nr.2 $\phi=180\text{mm}$	Nr.3 $\phi=180\text{mm}$	Nr.4 $\phi=138\text{mm}$	Nr.5 $\phi=154\text{mm}$	Nr.6 $\phi=180\text{mm}$	Nr.7 $\phi=180\text{mm}$
L, μH	76.1	75.1	74.7	85.1	93.8	51.8	51.8
Ritės varža, Ω	0.05	0.056	0.057	0.065	0.15	0.059	0.059

Matavimai esant 1kHz dažniui							
	Nr.1 $\phi=224\text{mm}$	Nr.2 $\phi=180\text{mm}$	Nr.3 $\phi=180\text{mm}$	Nr.4 $\phi=138\text{mm}$	Nr.5 $\phi=154\text{mm}$	Nr.6 $\phi=180\text{mm}$	Nr.7 $\phi=180\text{mm}$
L, μH	66.1	67.45	67.15	77.03	93.6	51.8	51.8
Omai	0.07	0.072	0.073	0.083	0.16	0.059	0.059

Matavimai esant 10kHz dažniui							
	Nr.1 $\phi=224\text{mm}$	Nr.2 $\phi=180\text{mm}$	Nr.3 $\phi=180\text{mm}$	Nr.4 $\phi=138\text{mm}$	Nr.5 $\phi=154\text{mm}$	Nr.6 $\phi=180\text{mm}$	Nr.7 $\phi=180\text{mm}$
L, μH	63.85	65.6	65.27	75	93.5	51.8	51.8
Omai	0.105	0.105	0.1	0.118	0.16	0.059	0.059

Išmatuoti kondensatorių ir varžų skaičiavimai						
	R1	R2	C1.1	C1.2	C2.1	C2.2
Kondensatorių talpa, nF	-	-	673	675	680	676
Varža, Ω	0.989	0.997	-	-	-	-

Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai.																			
C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g	
0.338	0.338	93.5	93.5	28.311	27.2	0.989	0.997	0.15	0.15	4.01	1.38	1.51	10	3.6503484	2.286960883	1.8834516	62.65048242	0	
0.673	0.675	93.5	93.5	20.0635	20	0.989	0.997	0.15	0.15	3.9	2.09	1.51	10	3.8309491	2.286960883	4.3200509	59.69697908	0	
1.353	1.351	93.5	93.5	14.1503	14.1	0.989	0.997	0.15	0.15	3.27	2.08	1.13	10	2.5227904	1.280742227	4.2788096	50.76688998	0	

Feromagnetinės medžiagos ant L1 ritės tyrimo matavimo rezultatai.																			
C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g	
0.338	0.338	93.5	93.5	28.311	27.2	0.989	0.997	0.15	0.15	3.62	1.87	0.45	10	3.3109659	0.203109328	3.4584341	6.134443365	150	
0.673	0.675	93.5	93.5	20.0635	17.1	0.989	0.997	0.15	0.15	3.47	2.5	0.52	10	2.49375	0.271213641	6.18125	10.87573497	150	
1.353	1.351	93.5	93.5	14.1503	11.9	0.989	0.997	0.15	0.15	2.82	2.16	0.395	10	1.4769216	0.156494483	4.6142784	10.59599125	150	

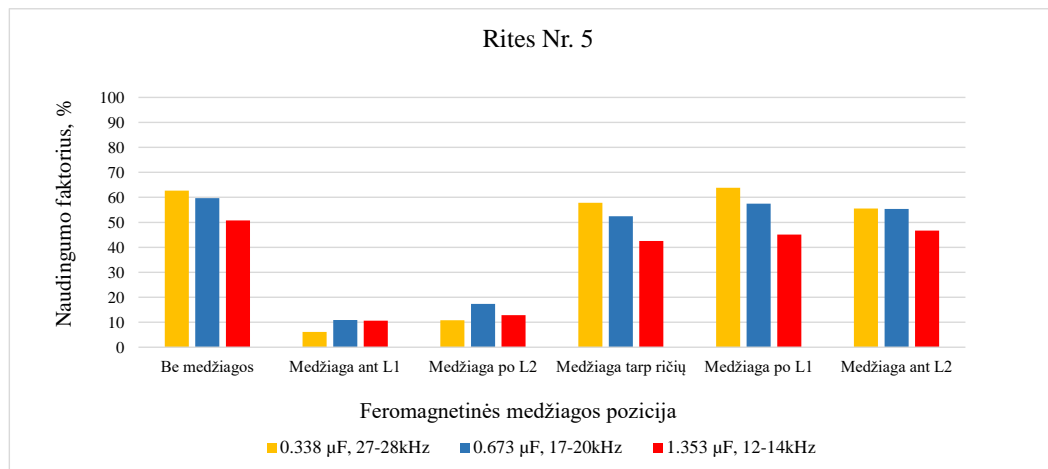
Feromagnetinės medžiagos po L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai.																			
C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g	
0.338	0.338	93.5	93.5	28.311	27.9	0.989	0.997	0.15	0.15	3.69	1.84	0.61	10	3.4412416	0.373219659	3.3483584	10.84549422	150	
0.673	0.675	93.5	93.5	20.0635	20	0.989	0.997	0.15	0.15	3.5	2.58	0.65	10	2.4468204	0.423771314	6.5831796	17.3192652	150	
1.353	1.351	93.5	93.5	14.1503	14.1	0.989	0.997	0.15	0.15	3.07	2.41	0.46	10	1.6544891	0.21223671	5.7442109	12.82793039	150	

Feromagnetinės medžiagos tarp ričių L1 ir L2 tyrimo matavimo rezultatai.																			
C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g	
0.338	0.338	93.5	93.5	28.311	27.3	0.989	0.997	0.15	0.15	3.98	1.41	1.45	10	3.6455691	2.108826479	1.9662309	57.84629016	150	
0.673	0.675	93.5	93.5	20.0635	19.9	0.989	0.997	0.15	0.15	3.81	2.09	1.38	10	3.6428491	1.910130391	4.3200509	52.43506768	150	
1.353	1.351	93.5	93.5	14.1503	14.1	0.989	0.997	0.15	0.15	3.27	2.2	1.01	10	2.40724	1.023169509	4.78676	42.50384293	150	

Feromagnetinės medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai.																			
C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g	
0.338	0.338	93.5	93.5	28.311	27	0.989	0.997	0.15	0.15	4	1.24	1.48	10	3.4393136	2.196990973	1.5206864	63.8787627	150	
0.673	0.675	93.5	93.5	20.0635	20.1	0.989	0.997	0.15	0.15	3.79	2.02	1.44	10	3.6202844	2.079839519	4.0355156	57.4496169	150	
1.353	1.351	93.5	93.5	14.1503	14.1	0.989	0.997	0.15	0.15	3.27	2.11	1.06	10	2.4965731	1.126980943	4.4031269	45.14111535	150	

Feromagnetinės medžiagos po L1 ritės tyrimo matavimo rezultatai.																			
C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g	
0.338	0.338	93.5	93.5	28.311	26.9	0.989	0.997	0.15	0.15	3.99	1.54	1.45	10	3.7990876	2.108826479	2.3455124	55.50876162	150	
0.673	0.675	93.5	93.5	20.0635	19.5	0.989	0.997	0.15	0.15	3.87	2.12	1.44	10	3.7594384	2.079839519	4.4449616	55.32314397	150	
1.353	1.351	93.5	93.5	14.15	13.9	0.989	0.997	0.15	0.15	3.33	2.08	1.11	10	2.6475904	1.235807422	4.2788096	46.67668467	150	

- C1- Siųstuvo kondensatoriaus talpa
- C2- Imtuvo kondensatoriaus talpa
- L1- Siųstuvo ritės induktyvumas
- L2- Imtuvo ritės induktyvumas.
- f0- teoriškai apskaičiuotas rezonansinis dažnis
- f- Realus rezonansinis dažnis
- R1- Siųstuvo šunto varža
- R2- Imtuvo apkrovos varža
- R1.1- Siųstuvo ritės bendroji varža
- R2.1- Imtuvo ritės bendroji varža
- U1ef- Siųstuvo efektinė įtampa
- I1ef- Imtuvo efektinė srovė
- U2ef- Imtuvo efektinė įtampa
- H- Atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo ričių
- P1- Galia siųstuvo ritėje
- P2- Galia imtuvo ritėje
- Pš- Galia kuria sunaudoja siųstuvo šuntas
- η- Naudingumo faktorius



Be jterptos feromagnetinēs medžiagos tyrimo matavimo rezultatai. Ritēs Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g
0.338	0.338	51.8	51.8	38.036	38.8	0.989	0.997	0.059	0.059	3	1.49	1.3	10	2.2743211	1.695085256	2.1956789	74.53148352	0
0.673	0.675	51.8	51.8	26.956	27.2	0.989	0.997	0.059	0.059	3.16	1.77	1.4	10	2.4947619	1.965897693	3.0984381	78.80101476	0
1.353	1.351	51.8	51.8	19.011	19	0.989	0.997	0.059	0.059	2.84	1.98	1.09	10	1.7459244	1.191675025	3.8772756	68.25467501	0

Feromagnetinēs medžiagos ant L1 ritēs tyrimo matavimo rezultatai. Ritēs Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g
0.338	0.338	51.8	51.8	38.036	35.4	0.989	0.997	0.059	0.059	2.65	1.79	0.917	10	1.5746451	0.843419258	3.1688549	53.56249848	150
0.673	0.675	51.8	51.8	26.956	24.9	0.989	0.997	0.059	0.059	3.06	2.24	0.968	10	1.8919936	0.939843531	4.9624064	49.67477324	150
1.353	1.351	51.8	51.8	19.011	17.9	0.989	0.997	0.059	0.059	2.74	2.07	0.882	10	1.4340339	0.780264794	4.2377661	54.4104846	150

Feromagnetinēs medžiagos po L2 ritēs tyrimo matavimo rezultatai. Ritēs Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g
0.338	0.338	51.8	51.8	38.036	38.6	0.989	0.997	0.059	0.059	2.71	1.97	0.828	10	1.5004899	0.687646941	3.8382101	45.82816191	150
0.673	0.675	51.8	51.8	26.956	27.3	0.989	0.997	0.059	0.059	3.01	2.24	0.989	10	1.7799936	0.981064193	4.9624064	55.11616405	150
1.353	1.351	51.8	51.8	19.011	19.2	0.989	0.997	0.059	0.059	2.75	2.19	0.799	10	1.2791571	0.640321966	4.7433429	50.05811764	150

Feromagnetinēs medžiagos tarp ričių L1 ir L2 tyrimo matavimo rezultatai. Ritēs Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g
0.338	0.338	51.8	51.8	38.036	38.3	0.989	0.997	0.059	0.059	2.96	1.47	1.3	10	2.2140699	1.695085256	2.1371301	76.55969921	150
0.673	0.675	51.8	51.8	26.956	27.1	0.989	0.997	0.059	0.059	3.14	1.82	1.36	10	2.4388364	1.855165496	3.2759636	76.06764835	150
1.353	1.351	51.8	51.8	19.011	19.2	0.989	0.997	0.059	0.059	2.8	2.02	1.02	10	1.6204844	1.043530592	4.0355156	64.39621337	150

Feromagnetinēs medžiagos ant L2 ritēs tyrimo matavimo rezultatai. Ritēs Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g
0.338	0.338	51.8	51.8	38.036	38.8	0.989	0.997	0.059	0.059	2.79	1.84	1.05	10	1.7852416	1.105817452	3.3483584	61.94217367	150
0.673	0.675	51.8	51.8	26.956	27.4	0.989	0.997	0.059	0.059	3.03	2.16	1.09	10	1.9305216	1.191675025	4.6142784	61.72813736	150
1.353	1.351	51.8	51.8	19.011	19.2	0.989	0.997	0.059	0.059	2.77	2.06	0.957	10	1.5092796	0.918604814	4.1969204	60.86379319	150

Feromagnetinēs medžiagos po L1 ritēs tyrimo matavimo rezultatai. Ritēs Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g
0.338	0.338	51.8	51.8	38.036	35.2	0.989	0.997	0.059	0.059	2.74	1.69	1.08	10	1.8059171	1.169909729	2.8246829	64.78202843	150
0.673	0.675	51.8	51.8	26.956	25.1	0.989	0.997	0.059	0.059	2.97	1.97	1.14	10	2.0126899	1.303510532	3.8382101	64.76459844	150
1.353	1.351	51.8	51.8	19.011	17.7	0.989	0.997	0.059	0.059	2.77	1.98	1.01	10	1.6073244	1.023169509	3.8772756	63.65668987	150

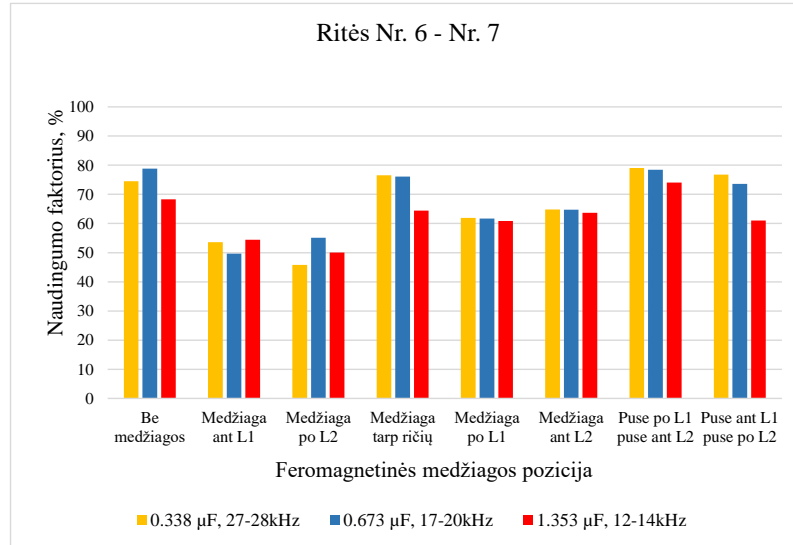
Feromagnetinēs medžiagos 75g po L1 rite ir 75g medžiagos ant L2 ritēs tyrimo matavimo rezultatai. Ritēs Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g
0.338	0.338	51.8	51.8	38.036	36.1	0.989	0.997	0.059	0.059	2.96	1.23	1.3	10	2.1445419	1.695085256	1.4962581	79.04183433	2x75
0.673	0.675	51.8	51.8	26.956	25.9	0.989	0.997	0.059	0.059	3.15	1.64	1.4	10	2.5059856	1.965897693	2.6600144	78.44808418	2x75
1.353	1.351	51.8	51.8	19.011	18.4	0.989	0.997	0.059	0.059	2.81	1.84	1.16	10	1.8220416	1.349648947	3.3483584	74.07344305	2x75

Feromagnetinės medžiagos 75g ant L1 ritės ir 75g medžiagos po L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.

C1, μF	C2, μF	L1, μH	L2, μH	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g
0.338	0.338	51.8	51.8	38.036	36.4	0.989	0.997	0.059	0.059	2.92	1.35	1.28	10	2.1395475	1.64332999	1.8024525	76.80736184	2x75
0.673	0.675	51.8	51.8	26.956	25.7	0.989	0.997	0.059	0.059	3.03	1.83	1.28	10	2.2328379	1.64332999	3.3120621	73.59826658	2x75
1.353	1.351	51.8	51.8	19.011	18.2	0.989	0.997	0.059	0.059	2.47	1.77	0.88	10	1.2734619	0.776730191	3.0984381	60.99359475	2x75

- C1- Siųstuvo kondensatoriaus talpa
- C2- Imtuvo kondensatoriaus talpa
- L1- Siųstuvo ritės induktyvumas
- L2- Imtuvo ritės induktyvumas.
- f_0 - teoriškai apskaičiuotas rezonansinis dažnis
- f- Realus rezonansinis dažnis
- R1- Siųstuvo šunto varža
- R2- Imtuvo apkrovos varža
- R1.1- Siųstuvo ritės bendroji varža
- R2.1- Imtuvo ritės bendroji varža
- U1ef- Siųstuvo efektinė įtampa
- I1ef- Imtuvo efektinė srovė
- U2ef- Imtuvo efektinė įtampa
- H- Atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo ričių
- P1- Galia siųstuvo ritėje
- P2- Galia imtuvo ritėje
- Pš- Galia kuria sunaudoja siųstuvo šuntas
- η - Naudingumo faktorius



Be įterptos feromagnetinės medžiagos tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7. Atstumas 15 cm.																		
C1, μ F	C2, μ F	L1, μ H	L2, μ H	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g
0.338	0.338	51.8	51.8	38.036	38	0.989	0.997	0.059	0.059	2.57	1.83	0.81	15	1.3910379	0.658074223	3.3120621	47.30814471	0
0.673	0.675	51.8	51.8	26.956	26.9	0.989	0.997	0.059	0.059	2.69	2.12	0.688	15	1.2578384	0.474768305	4.4449616	37.74477746	0
1.353	1.351	51.8	51.8	19.011	19	0.989	0.997	0.059	0.059	2.31	1.92	0.465	15	0.7893504	0.216875627	3.6458496	27.47520327	0
0.1	0.1	51.8	51.8	69.928	70.2	0.989	0.997	0.059	0.059	1.84	0.936	0.738	15	0.855781056	0.546282849	0.866458944	63.83441708	0
0.1	0.1	51.8	51.8	69.928	70.2	0.989	0.997	0.059	0.059	2.15	0.495	0.797	10	0.821920275	0.637120361	0.242329725	77.51607795	0

Feromagnetinės medžiagos 75g po L1 rite ir 75g medžiagos ant L2 ritės tyrimo matavimo rezultatai. Ritės Nr.6, Nr.7.																		
C1, μ F	C2, μ F	L1, μ H	L2, μ H	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g
0.338	0.338	51.8	51.8	38.036	36.6	0.989	0.997	0.059	0.059	2.56	1.77	0.854	15	1.4327619	0.731510532	3.0984381	51.05597319	2x75
0.673	0.675	51.8	51.8	26.956	25.9	0.989	0.997	0.059	0.059	2.87	2.25	0.804	15	1.4506875	0.648361083	5.0068125	44.69336665	2x75
1.353	1.351	51.8	51.8	19.011	18.4	0.989	0.997	0.059	0.059	2.33	1.92	0.504	15	0.8277504	0.254780341	3.6458496	30.77985115	2x75
0.1	0.1	51.8	51.8	69.928	68	0.989	0.997	0.059	0.059	1.87	0.999	0.738	15	0.881107011	0.546282849	0.987022989	61.99960297	2x75
0.1	0.1	51.8	51.8	69.928	70.7	0.989	0.997	0.059	0.059	1.95	0.877	0.741	10	0.949481419	0.5507332	0.760668581	58.00357844	2x75

Feromagnetinės medžiagos tarp ričių L1 ir L2 tyrimo matavimo rezultatai. Atstumas tarp ričių 15 cm.																		
C1, μ F	C2, μ F	L1, μ H	L2, μ H	$\approx f_0$, kHz	f, kHz	R1, Ω	R2, Ω	R1.1, Ω	R2.1, Ω	U1ef, V	I1ef, A	U2ef, V	H, cm	P1, W	P2, W	Pš, W	η , %	Feritų kiekis, g
0.338	0.338	51.8	51.8	38.036	38	0.989	0.997	0.059	0.059	2.55	1.83	0.783	15	1.3544379	0.614933801	3.3120621	45.40140241	2x75
0.673	0.675	51.8	51.8	26.956	27	0.989	0.997	0.059	0.059	2.82	2.26	0.713	15	1.3217836	0.509898696	5.0514164	38.57656398	2x75
1.353	1.351	51.8	51.8	19.011	19	0.989	0.997	0.059	0.059	2.37	1.96	0.466	15	0.8458576	0.217809428	3.7993424	25.75012961	2x75

C1- Siųstuvo kondensatoriaus talpa

C2- Imtuvo kondensatoriaus talpa

L1- Siųstuvo ritės induktyvumas

L2- Imtuvo ritės induktyvumas.

f_0 - teoriškai apskaičiuotas rezonansinis dažnis

f- Realus rezonansinis dažnis

R1- Siųstuvo šunto varža

R2- Imtuvo apkrovos varža

R1.1- Siųstuvo ritės bendroji varža

R2.1- Imtuvo ritės bendroji varža

U1ef- Siųstuvo efektinė įtampa

I1ef- Imtuvo efektinė srovė

U2ef- Imtuvo efektinė įtampa

H- Atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo ričių

P1- Galia siųstuvo ritėje

P2- Galia imtuvo ritėje

Pš- Galia kuria sunaudoja siųstuvo šuntas

η - Naudingumo faktorius

