

Ekranų įtakos spiralinės sistemos savybėms tyrimas

J. Skudutis, V. Daškevičius

Radio aparatūros katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Naugarduko g. 41, LT – 2600 Vilnius, Lietuva, tel. +370 5 2744767, faks. +370 5 2627730, el. paštas:

julius.skudutis@el.vtu.lt; v.daskevicius@lietuvosdujos.lt

Įvadas

Pastaruoju metu mikrobangų įtaisams tirti vis plačiau taikomi skaitmeniniai metodai. Pagrindinis skaitmeninių metodų pranašumas tas, kad jie leidžia įvertinti kur kas daugiau veiksnių nei analizinių metodų modeliai ir duoda tikslesnius rezultatus. Galima kurti labai tikslūs įtaisų modelius, įvertinančius paviršinių ir kraštų efektus laidininkuose, nuostolius dielektrikuose ir elektrodų laikikliuose. Didelis skaitmeninių metodų privalumas tas, kad nereikia matematinių išraiškų. Bet skaitmeniniai metodai reikalauja labai didelių kompiuterio resursų ir laiko. Kuo tikslesnis sistemos modelis, tuo didesnis baigtinių elementų tinkelio tankis. Kompiuterio laikas ir operatyviosios atminties kiekis proporcingas N^3 , kur N – baigtinių elementų skaičius.

Situaciją apsunkina ir tai, kad, modeliuojant elektromagnetinį lauką, atliekama Furje transformacija priartėjimo būdu. Dėl to skaitmeniniai metodai mažai taikomi mikrobangų įtaisams modeliuoti, lyginant su mechanikos ir fizikos sritimis. Tačiau dabartinis asmeninių kompiuterių lygis ir pažanga leidžia daryti prielaidą, kad skaitmeniniai mikrobangų įtaisų modeliavimo metodai netrukus bus plačiai taikomi.

Šio darbo autoriams 2000 metais spiralinei vėlinimo linijai modeliuoti pirmą kartą pavyko panaudoti firmos „Applied Wave Research“ superaukštųjų dažnių įtaisų projektavimo programų paketą Microwave Office [1]. Panaudojant vidinį grafinį redaktorių, buvo sukurtas paprasčiausias spiralinės vėlinimo linijos modelis [2]. Atliktas tyrimas leido įvertinti daug papildomų veiksnių (sudėtingą laidininko formą, dielektriką atskirose sistemos vietose, kraštų efektus, nuostolius laidininke ir dielektrike), o svarbiausia – buvo apskaičiuotos sistemos dažninės amplitudės ir fazės charakteristikos, iš kurių galima lengvai surasti ir pereinamąją charakteristiką.

Per pastaruosius trejus metus gerokai (~3 kartus) išaugusi kompiuterių sparta leidžia imtis sudėtingesnių uždavinių. Spiralinių sistemų su vidiniais ir išoriniais ekranais savybės skaitmeniniais metodais iki šiol nenagrinėtos. Žinoma, kad tokiose sistemose vidinis ir išorinis ekranai sudaro ilgąją liniją. Kai jos galai trumpai sujungti, susidaro ilgosios linijos rezonansinė atkarpa, kuri gali turėti įtakos bėgančiosios bangos elektroninių

vamzdžių ir kitų elektrodinaminių įtaisų charakteristikoms [3].

Nemaža darbų yra skirta spiralinėms sistemoms su vidiniais ekranais, kurie apibendrinti [4], tačiau juose dažniausiai yra tirtos fazinio vėlinimo laiko ir banginės varžos dažninės priklausomybės žemųjų ir vidurinių dažnių srityse. Tai galima paaiškinti tuo, kad iki šiol naudoti analiziniai metodai neįvertina baigtinio elektrodų ilgio ir galimų rezonansų juose. Rezonansiniai reiškiniai šiose sistemose buvo aptikti eksperimentinių tyrimų metu, matuojant stovinčiosios bangos koeficientą sistemos įėjime plačiame dažnių ruože [3]. Platesni tyrimai, siekiant sumažinti rezonansų įtaką sistemų charakteristikoms, atlikti darbuose [5, 6].

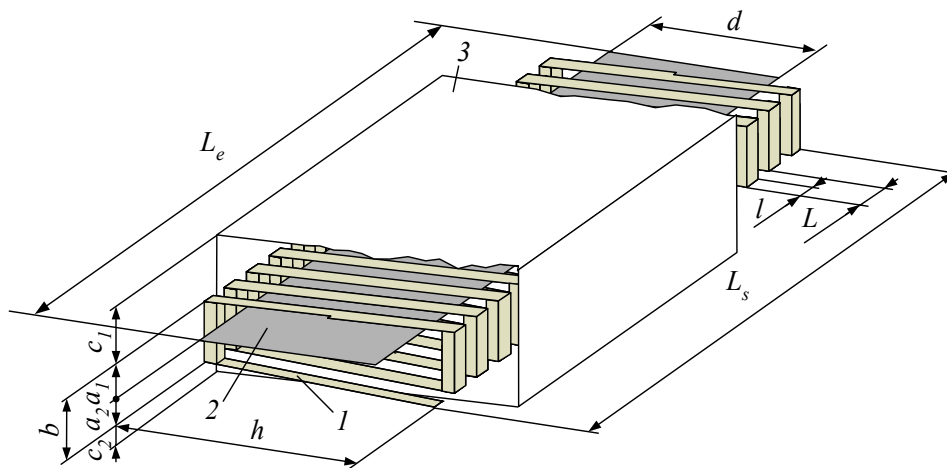
Šio darbo tikslas – ištirti spiralinės sistemos su vidiniu ir išoriniu ekranais (toliau – spiralinės sistemos) savybes, įvertinant spiralės ir ekranų baigtinį ilgį bei dėl to atsirandančius rezonansus; atskleisti rezonansinių reiškiniių įtaką sistemų dažninėms amplitudės ir fazės charakteristikoms (DACH ir DFCH) bei fazinio vėlinimo laiko dažninei priklausomybei; aptarti rezonansų išvengimo tokiose sudėtingose sistemose galimybes ir sąlygas.

Modelis ir tyrimo metodika

1 paveiksle pateiktas tirtos spiralinės sistemos modelis, sukurtas naudojant vidinį Microwave Office grafinį redaktorių. Sistemą sudaro spiralė 1, vidinis 2 ir išorinis 3 ekranai. Spiralės plotis h , aukštis b ir vijos žingsnis L lemia konstrukcinio lėtinimo koeficiento vertę. Reikalinga sistemos banginė varža žemųjų dažnių srityje buvo užtikrinta parenkant spiralės ir vidinio ekrano matmenis bei atstumą nuo spiralės iki išorinio ekrano.

Siekiant geriau suderinti spiralinę sistemą su signalo šaltiniu, jos kraštinių vijų dalių plotis sumažintas atsižvelgiant į [7] darbe pateiktas rekomendacijas.

2 paveiksle pateikta spiralinės sistemos tyrimo schema. Spiralės įėjime prijungtas signalo šaltinis E_g su vidine varža Z_g , o išėjimas apkrautas varža Z_a . Šios varžos yra parinktos lygios sistemos banginei varžai 150Ω žemųjų dažnių srityje. Ši banginė varža reikšmė gauta esant tokiems sistemos (1 pav.) matmenims: spiralės žingsnis $L = 2$ mm, vijos plotis $l = 1$ mm, spiralės plotis $h = 10$ mm, spiralės aukštis $b = 2,4$ mm, atstumai nuo vidinio ekrano iki spiralės $a_1 = a_2 = 1,2$ mm, atstumai nuo spiralės iki išorinio ekrano $c_1 = c_2 = 1,5$ mm, vidinio ekrano plotis $d = 7$ mm.



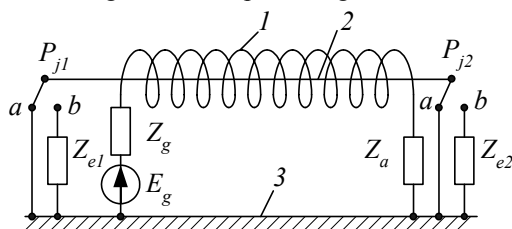
1 pav. Spiralinės sistemos modelis, atitinkantis Microwave Office reikalavimus, sukurtas naudojant vidinį grafinį redaktorių: 1 – spiralė, 2 – vidinis ekranas, 3 – išorinis ekranas

Vidinis spiralės ekranas 2 abiejuose galuose perjungikliai P_{j1} ir P_{j2} yra sujungtas su išoriniu ekranu. Šie perjungikliai reikalingi tam, kad tyrimų metu būtų galimybė sujungti su išoriniu ekranu kiekvieną vidinio ekrano galą trumpai arba per varžas Z_{e1} ir Z_{e2} .

Darbe buvo skaičiuojamos DACH, DFCH, sistemos įėjimo varžos ir fazinio vėlinimo laiko dažninės priklausomybės. Skirtingai nei ankstesniuose darbuose [2, 7], kuriuose fazinio vėlinimo laiko dažninė priklausomybė buvo skaičiuojama remiantis S_{21} parametru, kai spiralės galai trumpai sujungti su ekranais, šiame darbe pagal apskaičiuotas DFCH $-\varphi(\omega)$ buvo surandamos fazinės vėlinimo trukmės dažninės priklausomybės

$$t_v(\omega) = \left| \frac{\varphi(\omega)}{\omega} \right| = \frac{L_s}{v_f(\omega)}; \quad (1)$$

čia v_f – elektromagnetinės bangos sklidimo išilgai spiralės fazinis greitis; L_s – spiralės ilgis.



2 pav. Spiralinės lėtinimo sistemos tyrimo schema: 1 – spiralė; 2 – vidinis ekranas; 3 – išorinis ekranas

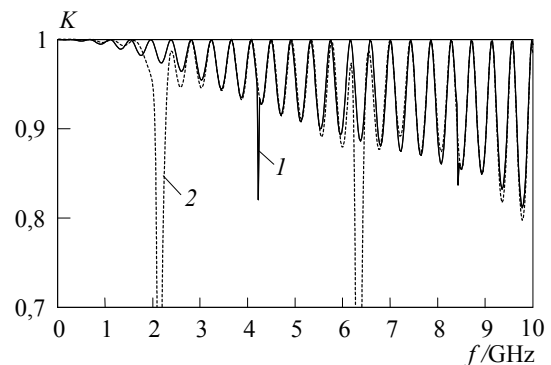
Taupant skaičiavimo technikos resursus, į nuostolius spiralės laidininke neatsižvelgta.

Rezonansų atsiradimo sąlygų ir priežasčių tyrimas

Iš pradžių, norint išsiaiškinti rezonansinių reiškinių priežastis, buvo ištirti du sistemos variantai: pirmajame abu vidinio ekrano galai buvo trumpai sujungti su išoriniu ekranu (perjungikliai P_{j1} ir P_{j2} padėtyje a), o antrajame – tik vienas vidinio ekrano galas buvo trumpai sujungtas su išoriniu ekranu (P_{j1} – padėtyje a , o P_{j2} – padėtyje b , Z_{e2} =

100 k Ω). Sistemos spiralės ilgis $L_s = 33$ mm, o ekranų – $L_e = 34$ mm.

Sistemos DACH, apskaičiuotos dažnių ruože nuo 0 iki 10 GHz, esant skirtingoms vidinio ekrano sujungimo su išoriniu ekranu schemoms, pateiktos 3 paveiksle.



3 pav. Spiralinių sistemų DACH, apskaičiuotos, esant skirtingoms ekranų sujungimo schemoms: 1 – abiejuose galuose trumpai sujungti ekranai; 2 – viename gale trumpai sujungti ekranai

Gautų rezultatų analizė rodo, kad abiem atvejais tirtose sistemoje susižadina rezonansai. Patikrinkime, ar šie rezonansai yra susiję su bendraašės linijos, sudarytos iš vidinio ir išorinio ekranų, ilgiu. Jeigu tarsime, kad bangos greitis bendraašėje linijoje artimas šviesos greičiui, tuomet rezonansinio dažnio bangos ilgis

$$\lambda_{er} = \frac{c_0}{f_r}; \quad (2)$$

čia c_0 – elektromagnetinės bangos sklidimo vakuume greitis.

Sistemoje, kurios vidinio ir išorinio ekranų galai trumpai sujungti, tirtame dažnių ruože rezonansai atsiranda esant $f_{r1} = 4,2$ GHz ir $f_{r2} = 8,4$ GHz dažniui. Pagal (2) formulę apskaičiuojame, kad $\lambda_{er1}/2 \approx \lambda_{er2} \approx 35$ mm. Matome, kad parazitinis rezonansas sistemoje susižadina, kai išilgai abiejuose galuose trumpai sujungtos bendraašės, linijos telpa sveikas nesulėtintos bangos ilgio pusių skaičius ($L_e \approx \lambda_{er1}/2 \approx \lambda_{er2}$).

Toje pačioje sistemoje su viename gale trumpai sujungtais ekranais tirtame dažnių ruože gauti du rezonansai: $f_{r1} = 2,15$ GHz ir $f_{r2} = 6,4$ GHz. Pagal (2) formulę apskaičiuojame, kad $1/4 \cdot \lambda_{er1} \approx 35$ mm ir $3/4 \cdot \lambda_{er2} \approx 35$ mm. Taigi šiuo atveju bendraašė linija sistemoje yra ketvirčio bangos ilgio viename gale trumpai sujungta rezonansinė atkarpa. Abiem atvejais gaunamą nedidelę sistemine paklaidą galime paaiškinti tuo, kad čia neįvertinama tarp bendraašės linijos laidininkų esanti spiralė.

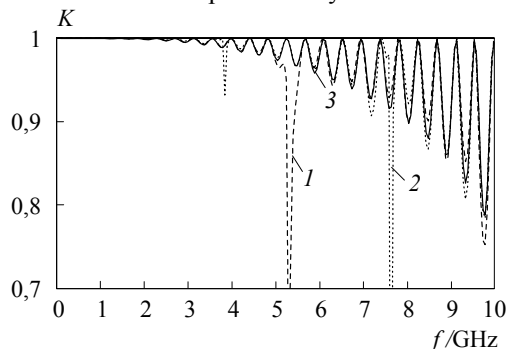
Atliktas tyrimas rodo, kad bendraašė linija, kurią sudaro spiralinės sistemos vidinis ir išorinis ekranai, turi savybę susižadinti. Rezonansai priklauso nuo ekranų ilgio bei jų tarpusavio sujungimo būdo. Paprastai tokio tipo sistemose vidinio ir išorinio ekranų galai būna trumpai sujungti tarpusavyje ir sudaro trumpai sujungtą bendraašės linijos atkarpa. Tokia linija susižadina esant dažniui

$$f_r \cong \frac{1}{2} \cdot \frac{nc_0}{L_e}; \quad (3)$$

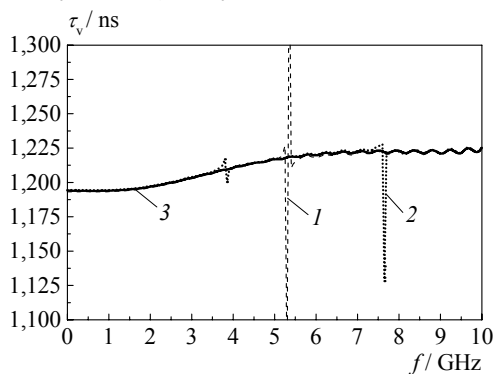
čia $n = 1, 2, 3, \dots$

Galimybės išvengti rezonansų

Kad išsiaiškintume, kaip galima išvengti rezonansų, apskaičiuokime spiralinių sistemų su įvairaus ilgio ekranais DACH ir fazinės vėlinimo trukmės dažnines priklausomybes dažnių ruože nuo 0 iki 10 GHz. 4 paveiksle pateiktos DACH, o 5 paveiksle – fazinio vėlinimo laiko dažnines priklausomybės.



4 pav. Spiralinė sistema su DACH, kurių ekranai sudaro abiejuose galuose trumpai sujungtą bendraašės linijos atkarpa, DACH: 1 – $L_e = 27$ mm, 2 – $L_e = 38$ mm, 3 – $L_e = 33$ mm



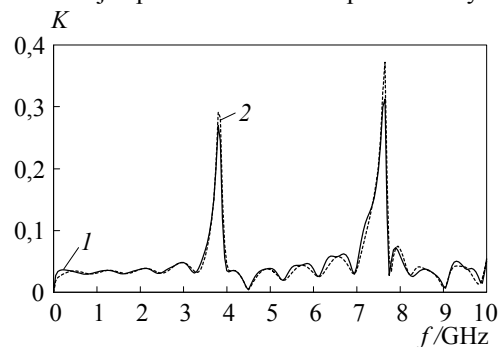
5 pav. Spiralinė sistema su fazine vėlinimo trukme, kurių ekranai sudaro abiejuose galuose trumpai sujungtą bendraašės linijos atkarpa, fazinės vėlinimo trukmės dažnines priklausomybės: 1 – $L_e = 27$ mm, 2 – $L_e = 38$ mm, 3 – $L_e = 33$ mm

Sistemoje, kurios ekranų ilgis $L_e = 27$ mm, $f_r = 5,3$ GHz, $\lambda_{er}/2 \approx 28$ mm, sistemoje su pailgintais ekranais ($L_e = 38$ mm) tirtame dažnių ruože susižadina du rezonansai: pirmasis, kai išilgai bendraašės linijos ilgio telpa pusė bangos ilgio ($f_{r1} = 3,85$ GHz, $\lambda_{er1}/2 \approx 39$ mm), ir antrasis – kai telpa du pusbangiai ($f_{r2} = 7,64$ GHz, $\lambda_{er2} = 39$ mm).

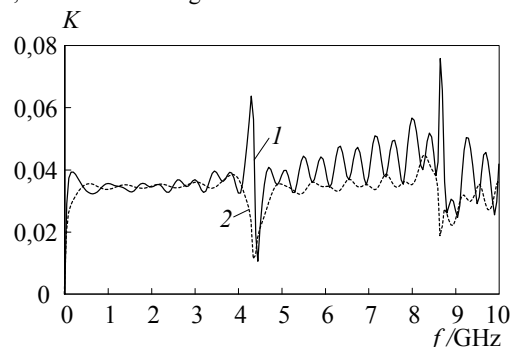
Kai bendraašės linijos ilgis buvo lygus spiralės ilgiui $L_e = L_s = 33$ mm, rezonansas nesusižadino (4 ir 5 pav. 3-oji kreivė.). Rezonansinis dažnis (kai telpa pusė nesulėtintos bangos ilgio išilgai ekranų) šiuo atveju turėjo būti $f_r \approx 4,4$ GHz.

Iš 5 paveiksle pateiktų sistemų su įvairaus ilgio ekranais fazinės vėlinimo trukmės τ_v dažninių priklausomybių matome, kad šios charakteristikos sutampa, taigi sistemų lėtinimo koeficientai yra vienodi ir išilgai spiralės visais atvejais telpa vienodas sulėtintos bangos ilgio pusių skaičius.

Tyrimų schema (2 pav.) leidžia nagrinėti bendraašės linijos ir spiralės sąveiką. Sistemoms su skirtingo ilgio ekranais buvo apskaičiuotos perdavimo koeficientų iš spiralės į bendraašę liniją dažnines priklausomybės. Tam tikslui 2 paveiksle pateiktoje schemoje perjungikliai P_{j1} ir P_{j2} buvo perjungti į padėtį b , o $Z_{e1} = Z_{e2} = 1 \Omega$. 6 paveiksle pateiktos sistemos su pailgintais ekranais, o 7 paveiksle – sistemos, kuriose rezonansai nesusidaro, perdavimo koeficientų iš spiralės į bendraašės linijos prievadus dažnines priklausomybės.



6 pav. Perdavimo koeficientų iš spiralės į bendraašės linijos prievadus, apkrautus varžomis Z_{e1} ir Z_{e2} , dažnines priklausomybės sistemoje su pailgintais ekranais: 1 – tiesioginės bangos; 2 – atbulinės bangos



7 pav. Perdavimo koeficientų iš spiralės į bendraašės linijos prievadus, apkrautus varžomis Z_{e1} ir Z_{e2} , dažnines priklausomybės sistemoje, kurioje rezonansai nesusidaro: 1 – tiesioginės bangos; 2 – atbulinės bangos

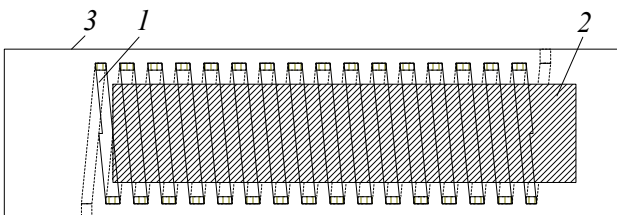
Gautų rezultatų analizė rodo, kad spiraline sistema sklindanti sulėtinta banga, bendraašėje linijoje sužadina tiesioginę ir atbulinę bangas. Šias bangas apibūdinantiems

perdavimo koeficientams būdingi periodiniai netolygumai (3 ir 4 pav.), kurie gerokai išauga esant bendraašės linijos rezonansiniams dažniams. Sistemoje su pailgintais ekranais (6 pav.) perdavimo koeficientai į abu bendraašės linijos prievadus (apkrautus varžomis Z_{e1} ir Z_{e2}) yra vienodi visame dažnių ruože, įskaitant ir rezonansinius dažnius. Šiuo atveju bendraašė linija susižadina ir jos įtaka spiralės charakteristikoms didžiausia. Analogišką vaizdą gauname ir sistemai su sutrumpintu (iki 27 mm ilgio) ekranu. Šio rezonanso bendraašėje linijoje įtaką sistemoms DACH iliustruoja 4 paveikslas 1-oji kreivė. Rezonanso metu bendraašė linija „nusiurbia“ elektromagnetinę energiją iš spiralinės. Perdavimo koeficientų svyravimų periodas atvirkščiai proporcingas spiralinės linijos vėlinimo trukmei $\Delta f \approx 1/\tau_v$.

Tuo tarpu sistemoje, kurios spiralės ilgis yra lygus ekranų ilgiui, bendraašė linija nesusižadina ir neturi įtakos spiralinės sistemos DACH ir DFCH (4 ir 5 pav. 3-oji kreivė). Perdavimo koeficientai iš spiralės į bendraašės linijos prievadus (apkrautus varžomis Z_{e1} ir Z_{e2}) nevienodi. Esant rezonansiniams bendraašės linijos dažniams perdavimo koeficientai minimalūs (7 pav.). Savo absoliutiniu dydžiu jie yra daug kartų mažesni už perdavimo koeficientus į rezonuojančią bendraašę liniją (6 pav.).

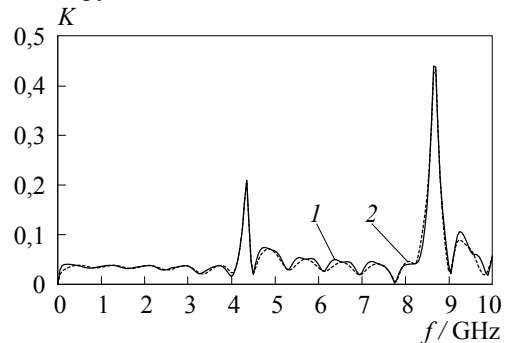
Apstatieji ir kiti, čia nepateikti, tyrimai parodė, kad visais atvejais, kai ekranų ilgis lygus spiralės ilgiui, bendraašė linija nesusižadina ir neturi įtakos spiralinės sistemos charakteristikoms (gaunamas panašus į 7 paveiksle pateiktą vaizdas). Tai galima paaiškinti tuo, kad tiriamoje sistemoje spiralė yra tarp bendraašės linijos laidininkų. Bendraašės linijos galuose jai rezonuojant susidaro įtampos mazgai. Kai šie įtampos mazgai sutampa su spiralinės linijos galais, jie nesukelia spiralinės linijos netolygumų. Kai bendraašė linija ilgesnė už spiralinę, rezonanso metu jos pjūviuose, sutampančiuose su spiralinės linijos galais, įtampos nelygios nuliui, o linijos netolygumų varžos yra talpinio arba induktyvinio pobūdžio. Dėl to spiralinės sistemos įėjime ir išėjime atsiranda talpinio arba induktyvinio pobūdžio netolygumų, o perdavimo koeficientai iš spiralės į bendraašę liniją, šiai rezonuojant, smarkiai išauga. Panaši situacija susidaro ir tada, kai ekranai trumpesni už spiralę.

Šiems teiginiams patikrinti buvo ištirta sistema su spiralinės linijos atžvilgiu perstumta bendraašė linija. Supaprastintas sistemos konstrukcijos variantas pateiktas 8 paveiksle. Šioje sistemoje bendraašės linijos ilgis lygus spiralinės linijos ilgiui $L_e = L_s$, tačiau bendraašė linija perstumta išilgai spiralės per vieną viją.



8 pav. Spiralinė sistema su išilgai spiralės ašies perstumta bendraašė linija: 1 - spiralė; 2 - vidinis ekranas; 3 - išorinis ekranas

Tyrimo rezultatai parodė, kad šiuo atveju spiralinės sistemos bendraašė linija susižadina. Perdavimo koeficientų iš spiralės į bendraašę liniją dažninės priklausomybės pateiktos 9 paveiksle. Kaip matome, jos tapo labai panašios į 6 paveiksle pateiktas sistemos su pailgintais ekranais charakteristikas. Šios sistemos DACH, DFCH ir fazinio vėlinimo laiko dažninėje priklausomybėje atsirado rezonansų bendraašėje linijoje sukelti, iškreipymai.



9 pav. Perdavimo koeficientų iš spiralės į bendraašės linijos prievadus, apkrautus varžomis Z_{e1} ir Z_{e2} , dažninės priklausomybės sistemoje su perstumta bendraašė linija: 1 - tiesioginės bangos; 2 - atbulinės bangos

Apibendrinami šiuos tyrimo rezultatus, galime teigti, kad pirmoji rezonansų spiralinės sistemos bendraašėje linijoje panaikinimo sąlyga reikalauja, kad ši linija būtų vienodo ilgio su spirale ir neperstumta jos atžvilgiu išilginės ašies kryptimi.

[5] darbe, analizuojant parazitinių rezonansų atsiradimo spiralinėje sistemoje su išoriniu ir vidiniu ekranais priežastis, nustatytos sąlygos, kuriomis iš spiralinės į bendraašę liniją perduodami signalai yra lygūs nuliui. Atsižvelgdami į tai, kad spiraline sistema sklinda sulėtinta banga, o bendraašė linija sklindančių tiesioginės ir atbulinės bangų greitis artimas šviesos greičiui, po neesminių pakeitimų šias sąlygas galime užrašyti taip:

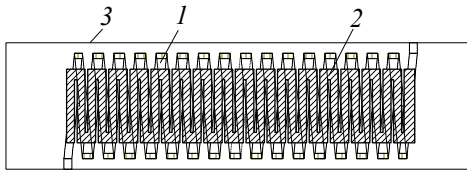
$$\frac{L_s}{\lambda_e}(k_L - 1) = n, \quad (4)$$

$$\frac{L_s}{\lambda_e}(k_L + 1) = m; \quad (5)$$

čia $n = 1, 2, \dots; m = 2, 3, \dots; \lambda_e$ - bangos ilgis bendraašėje linijoje; k_L - spiralinės sistemos lėtinimo koeficientas išreiškiamas formule

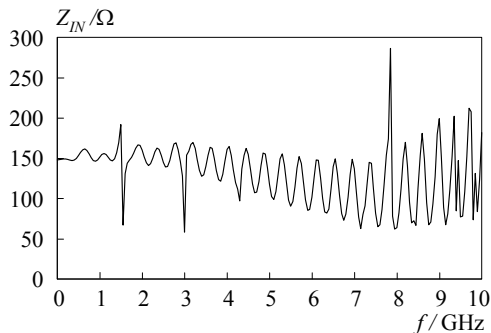
$$k_L = \frac{\tau_v \cdot c_0}{L_s}. \quad (6)$$

(4) ir (5) formulė analizė rodo, kad bendraašėje, abiejuose sistemos galuose trumpai sujungtoje linijoje rezonansai nesusidaro, kai esant rezonansiniams dažniams išilgai spiralinės linijos telpa nelyginis sulėtintos bangos ilgio pusių skaičius. Realioms sistemoms ši sąlyga sunkiai įvykdoma, kadangi esant kiekvienam bendraašės linijos rezonansiniam dažniui spiralinės sistemos lėtinimo koeficientas turi būti nelyginis skaičius. Patikrinti šią sąlygą irgi nelengva, kadangi reikia labai tiksliai parinkti sistemos matmenis ir įvertinti sistemos fazinio vėlinimo laiko dispersiją.

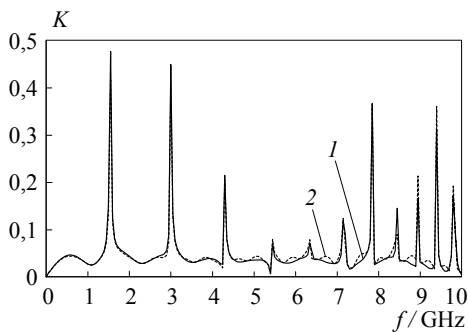


10 pav. Spiralinė sistema su meandro pavidalo vidiniu ekranu: 1 – spiralė; 2 – vidinis ekranas; 3 – išorinis ekranas

Norėdami patikrinti šį teiginį, vidinį ekraną pakeiskime meandru (10 pav.). Tai leis pailginti vidinį ekraną ir kartu sutankinti dažnių ašyje jo rezonansus. Spiralinės sistemos su meandro pavidalo vidiniu ekranu tyrimo rezultatai pateikti 11 ir 12 paveiksluose.



11 pav. Spiralinės sistemos su meandro pavidalo vidiniu ekranu įėjimo varžos dažninė priklausomybė

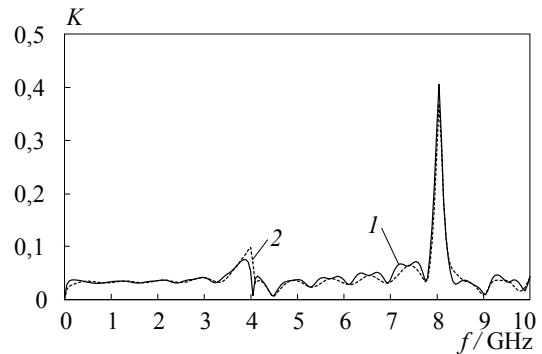


12 pav. Perdavimo koeficientų iš spiralės į bendrašės linijos prievadus, apkrautus varžomis Z_{e1} ir Z_{e2} , dažninės priklausomybės sistemoje su meandro pavidalo vidiniu ekranu: 1 – tiesioginės bangos; 2 – atbulinės bangos

Gautų rezultatų analizė rodo, kad esant 5,4 GHz dažniui, bendraašėje linijoje rezonanso nėra. Esant šiam dažniui išilgai vidinio ekrano telpa keturios bangos ilgio pusės (12 pav.), o išilgai spiralės – 13. 11 paveiksle pateikta charakteristika rodo bendraašės linijos rezonansų įtaką sistemos įėjimo varžos dažninei priklausomybei.

Taigi šio tyrimo rezultatai patvirtino teorines [5] darbo išvadas. Tačiau [3] darbe teigiama, kad spiralinės sistemos bendraašė linija nesusižadina, kai išilgai spiralinės linijos telpa sveikas ir (nebūtinai nelyginis) sulėtintos bangos ilgio pusių skaičius. Šiam teiginiui patikrinti buvo iširta sistema, kurioje nuosekliai 0,5 mm žingsniu buvo keičiamas bendraašės linijos ilgis, o kartu ir rezonansinis dažnis tol, kol išilgai spiralės susidarė lyginis sulėtintos bangos pusių skaičius. Kai bendraašės linijos ilgis buvo 35,5 mm, jos rezonansinis dažnis tapo 4,03 GHz. Esant šiam dažniui, išilgai spiralės telpa 10 sulėtintos bangos ilgio pusių. 13 paveiksle pateikti šios sistemos tyrimo rezultatai rodo, kad, esant 4,03 GHz dažniui,

bendraašė linija nesusižadina. Antrojo rezonanso, kuris atsiranda esant $\approx 8,03$ GHz dažniui, šiuo metodu panaikinti nepavyksta, kadangi išilgai spiralės šiuo atveju telpa $\approx 19,5$ sulėtintos bangos ilgio pusių.



13 pav. Perdavimo koeficientų iš spiralės į bendraašės linijos prievadus, apkrautus varžomis Z_{e1} ir Z_{e2} , dažninės priklausomybės sistemoje su 35,5 mm ilgio bendraaše linija: 1 – tiesioginės bangos; 2 – atbulinės bangos

Dviejų pastarųjų sistemų tyrimai patvirtino, kad antroji bendraašės linijos susižadavimo panaikinimo sąlyga reikalauja, kad jos rezonansiniam dažniui išilgai spiralės tilptų sveikasis sulėtintos bangos ilgio pusių skaičius. Tokiu atveju, nesvarbu, ar bendraašė linija yra ilgesnė, ar trumpesnė už spiralę, perdavimo koeficientai iš spiralės į bendraašę liniją bus lygūs nuliui.

Apibendrinant atliktus tyrimus galima teigti, kad, kai bendraašė linija ir spiralė yra vienodo ilgio, rezonansų įtaką pavyksta panaikinti visame sistemos praleidžiamų dažnių ruože. Tuo tarpu žinomu būdu sistemos praleidžiamų dažnių ruože paprastai gali būti panaikintas tik vienas bendraašės linijos rezonansas. Tikimybė, kad ir esant kitam bendraašės linijos rezonansiniam dažniui bus įvykdyta anksčiau paminėta sąlyga, yra maža.

Išvados

1. Taikant skaitmeninius metodus elektrodinaminių įtaisų analizei, galima nagrinėti įvairių sistemos elektrodų sąveiką, įvertinti iš ekranų sudarytos bendraašės linijos rezonansines savybes bei šių rezonansų įtaką sistemų DACH, DFCH ir kitoms charakteristikoms.

2. Žinomuose darbuose [3, 5] atskleistas rezonansų spiralinės sistemos bendraašėje linijoje panaikinimo būdas, kuris sistemos praleidžiamų dažnių ruože dažniausiai leidžia panaikinti tik vieną rezonansą.

3. Rezonansus spiralinės sistemos bendraašėje linijoje visame praleidžiamųjų dažnių ruože galima panaikinti, kai vidinis ekranas ir spiralė yra vienodo ilgio ir neperstumti vienas kito atžvilgiu išilginės ašies kryptimi.

Literatūra

1. **Microwave Office 2002** - <http://www.appwave.com/products/mwoffice.html>
2. **Daškevičius V, Skudutis J.** Spiralinės vėlinimo sistemos savybių tyrimas Microwave Office 2000 paketu // Elektronika ir elektrotechnika. - Kaunas: Technologija, 2000. - Nr.2(25). - P. 30-33.
3. **Вайнорис З., Герасимавичюс В., Штарас С.** Переход из коаксиальной в спиральную линию в трубках бегущей

- волны // Радиотехника. – Каунас, 1970. – Т.8, – С. 259–262.
4. **Штарас С.С.** и др. Широкополосные тракты осциллографических электронно-лучевых трубок бегущей волны. - Вильнюс: Техника, 1993. - 359 с.
 5. **Мацейка К.Ю., Малишаускас В.В.** Резонансы в двухэкранных спиральных замедляющих системах // Радиотехника. – Каунас, 1979. – Т.15, №2. – С. 112–117.
 6. **Dunham M. E., Hudson C. L.** Cavity resonance absorption in ultra-high bandwidth CRT deflection structure by a resistive load // United States Patent 5210464.
 7. **Skudutis J., Daškevičius V.** Lėtinimo ir kreipimo sistemos įėjimo varžos tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika. - Kaunas: Technologija, 2002. - Nr.7(42). - P. 13-17.

Pateikta spaudai 2003 05 26

J. Skudutis, V. Daškevičius. Ekranų įtakos spiralinės sistemos savybėms tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika. - Kaunas: Technologija, 2003. - Nr. 6 (48) - P. 22-27.

Taikant skaitmeninius metodus, iširtos spiralinės sistemos su vidiniais ir išoriniais ekranais savybės. Parodytos skaitmeninio metodo galimybės įvertinant spiralės ir ekranų baigtinį ilgį bei dėl to atsirandančius rezonansus. Atskleista rezonansinių reiškinių įtaka sistemos dažninėms amplitudės ir fazės charakteristikoms (DACH ir DFCH). Sukurta tyrimų schema leidžia nagrinėti bendraašės linijos ir spiralės sąveiką. Sistemoms su skirtingų ilgių ekranais buvo apskaičiuotos perdavimo koeficientų iš spiralės į bendraašę liniją dažninės priklausomybės. Parodyta, kad sklindant elektromagnetinei bangai spiruline sistema, jos ekranuose, sudarančiuose bendraašę liniją, susižadina tiesioginė ir atbulinė bangos. Šių bangų perdavimo koeficientams būdingi periodiniai netolygumai, kurie gerokai išauga esant bendraašės linijos rezonansiniams dažniams. Kai bendraašės linijos ilgis skiriasi nuo spiralinės linijos ilgio, pirmosios rezonansai sukelia spiralinės sistemos DACH, DFCH ir kitų charakteristikų netolygumus. Rezonansų įtakos sistemos charakteristikoms pavyksta išvengti, jeigu bendraašę linija yra vienodo ilgio su spiruline linija ir neperstumtos viena kitos atžvilgiu išilginės ašies kryptimi. Kai spiralinė ir bendraašę linijos yra skirtingų ilgių, ekranų rezonansų įtaką galima panaikinti tuo atveju, kai išilgai spiralinės linijos telpa sveikasis šio dažnio sulėtintos bangos ilgio pusių skaičius. Il. 13, bibl.7 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

J. Skudutis, V. Daškevičius. Investigation of Influence of the Shield on Properties of a Helical Delay System // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2003.- No. 6 (48) – P. 22-27.

Properties of a helical delay system with internal and external shields have been investigated by numerical methods. Possibilities of numerical methods, in evaluating the final length of a helix and shields as well as arising in this connection resonances, are shown. The effect of the resonance phenomena on the magnitude-frequency response and phase-frequency response (MFR and PFR) the system is determined. The developed research circuit allows investigating the interaction of the coaxial line and a helix. For systems with different lengths of shields, frequency dependences of transfer coefficients from a helix to the coaxial line have been calculated. It is shown that, with the electromagnetic wave propagation through a helical system, direct and backward waves are excited on its shields forming a coaxial line. Periodic nonuniformities, which increase considerably at the coaxial line resonance frequencies, are typical of transfer coefficients of these waves. When the length of a coaxial line differs from the length of a helical line, resonances of a coaxial line induce nonuniformities of AFR, PFR and other characteristics of the helical system. Effects of the resonance phenomena on characteristics of the system can be avoided if the length of a coaxial line is equal that of a helical line and they are unbiased with respect to each other along a longitudinal axis. When lengths of helical and coaxial lines are different, the effect of resonances of shields can be suppressed only when the integer number of half-waves of the delayed wave of this frequency is located (arba fits in) along a helical line. Ill. 13, bibl. 7 (in Lithuanian; summary in Lithuanian, English and Russian).

Ю. Скудутис, В. Дашкевичюс. Исследование влияния экранов на свойства спиральной системы // Электроника и электротехника. - Каунас: Технология, 2003. - № 6(48) - С. 22-27.

С использованием численных методов исследованы свойства спиральных систем с внешними и внутренними экранами. Показаны возможности численных методов при учете конечной длины спирали и экранов и возникающих в связи с этим резонансов. Определено влияние резонансных явлений на амплитудно- и фазочастотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) системы. Предложенная схема исследования позволяет рассматривать взаимодействие спирали и коаксиальной линии, образованной из внешнего и внутреннего экранов. Показано, что при распространении по спирали электромагнитной волны в коаксиальной линии, образованной из экранов, возбуждаются прямая и обратная волны. Амплитудам этих волн характерны периодические неравномерности, которые значительно возрастают на резонансных частотах коаксиальной линии, когда вдоль нее помещается целое число полуволн незамедленной волны. Влияния резонансных явлений на характеристики системы можно избежать, если длина коаксиальной линии равна длине спиральной линии и они несмещены относительно друг друга вдоль продольной оси. Когда длины спиральной и коаксиальной линий различны, влияние резонансов экранов можно подавить в том случае, когда вдоль спиральной линии помещается целое число полуволн замедленной волны резонансной частоты. Ил. 13, библи. 7 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).