

## Laikiklių įtaka spiralinių ir meandrinų sistemų savybėms

T. Burokas, S. Štaras

Radioelektronikos katedra, Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas,

Naugarduko g. 41, 03227 Vilnius, Lietuva, tel. (85) 2744755; el paštas stanislovas.staras@el.vtu.lt

### Įvadas

Svarbūs lėtinimo sistemų elementai yra lėtinimo elektrodų dielektriniai laikikliai. Dėl jų gaunami periodiniai sistemų netolygumai. [1] parodyta, kad dėl periodinių netolygumų spiralinė sistema įgyja užtvarinio filtro savybes, kai dažnis aukštas ir fazės kampas  $\theta$  tarp gretimų spiralės vijų įtampų arba srovių tampa artimas  $\pi$ .

Dielektrinių laikiklių įtaka lėtinimo sistemų savybėms nagrinėta daugelyje darbų. Laikiklių įtakai įvertinti taikyti įvairūs modeliai bei metodai. Modeliuoti įvairūs dielektrinių laikiklių variantai [2], gautos normuoto fazinio greičio, įėjimo varžos dažninės priklausomybės [2–4], spiralinės lėtinimo sistemos savybės analizuotos taikant specialią programinę įrangą „MAFIA“ [2]. Darbe [3] atlikta spiralinės lėtinimo sistemos elektrinio lauko analizė, nagrinėtos sistemos savybės, kai naudojami apvalaus, stačiakampio skerspjūvio ir T pavidalo laikikliai, parodyta, kad skaičiavimų rezultatai priklauso nuo įvertinamų erdvinų harmonikų skaičiaus.

Svarbu pastebėti, kad dažniausiai lėtinimo sistemos panaudojamos palyginti siaurame dažnių diapazone. Todėl galimybės išvengti nevienalyčių spiralinių ir meandrinų sistemų užtvarinės juostos žinomuose darbuose išnagrinėtos nepakankamai.

Vėlinimo įtaisams ir bėgančiosios bangos elektroniniams vamzdžiams reikalingos lėtinimo sistemos, kurių praleidžiamųjų dažnių juosta tęsiasi nuo 0 iki keleto gigahercų. Todėl šiame darbe, siekdami atskleisti spiralinių ir meandrinų sistemų praleidžiamųjų dažnių juostos platinimo galimybes, nagrinėsime periodinių talpinio pobūdžio netolygumų, atsirandančių dėl dielektrinių laikiklių, įtaką plokščios spiralinės ir meandrinės sistemų savybėms. Atsižvelgdami, kad dielektrinių laikiklių įtaka spiralinių ir meandrinų sistemų savybėms žemųjų dažnių srityje pakankamai išsamiai išnagrinėta [5, 12, 13], daugiausia dėmesio skirsime aukštųjų dažnių sričiai (ties  $\theta \approx \pi/2$  ir  $\theta \approx \pi$ ).

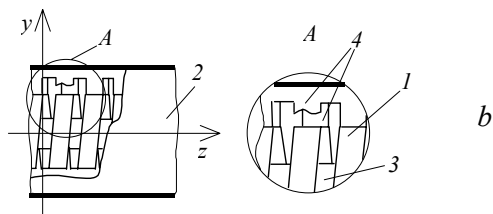
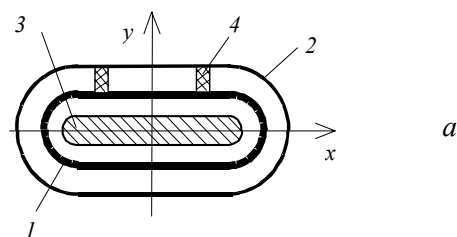
Kaip ir [5, 6] sistemų analizei taikysime daugialaidžių linijų metodą. Atsižvelgdami, kad dielektrinių laikiklių matmenys esti nedideli, dėl jų atsirandančius talpinio pobūdžio netolygumus modeliuosime sutelktomis talpomis.

Dėl dielektrinių laikiklių gali padidėti talpos tarp gretimų vijų bei vijų ir ekranų. Kaip žinoma, parazitinių talpų tarp vijų galima išvengti panaudojant šukų pavidalo

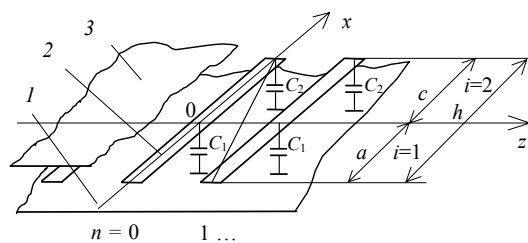
laikiklius [7]. Todėl nagrinėsime tik parazitinių talpų, kurios susidaro tarp lėtinimo elektrodų ir ekranų, įtaką.

### Spiralinės sistemos modelis

Spiralinės sistemos skersinis bei išilginis pjūviai pateikti 1 paveiksle. Jos modelis atvaizduotas 2 paveiksle. Jį sudaro vieneilė vienpakopė daugialaidės linijos atkarpa. Talpos  $C_1$  ir  $C_2$  modeliuoja netolygumus, atsirandančius dėl dielektrinių laikiklių.



1 pav. Spiralinės sistemos skersinis (a) ir išilginis (b) vaizdai: 1 – spiralė, 2 – išorinis ekranas, 3 – vidinis ekranas, 4 – šukų pavidalo dielektriniai laikikliai



2 pav. Spiralinės sistemos modelis: 1, 3 – ekranai, 2 – daugialaidės linijos laidininkas, modeliuojantis spiralės viją

Daugialaidės linijos laidininkų potencialai ir srovės išreiškiami lygtimis [5]:

$$U_{in}(x) = (A_{i1} \sin kx + A_{i2} \cos kx) e^{-jn\theta}, \quad (1)$$

$$\underline{I}_{in}(x) = jY_i(\theta)(\underline{A}_{i1} \cos kx - \underline{A}_{i2} \sin kx)e^{-jn\theta}; \quad (2)$$

čia  $i$  – srities numeris;  $n$  – laidininko numeris,  $\underline{A}$  – amplitudinis koeficientas,  $k$  – bangos skaičius,  $\theta$  – gretimų daugialaidės linijos laidininkų įtampų ar srovių fazių skirtumas;  $Y(\theta)$  – banginis laidumas.

Daugialaidės linijos atkarpa modeliuoja spiralinę sistemą su parazitinėmis talpomis, jeigu tenkinamos sąlygos:

$$\underline{U}_{10}(0) = \underline{U}_{20}(0), \quad (3)$$

$$\underline{I}_{10}(0) = \underline{I}_{20}(0) + j\omega C_1 \underline{U}_{10}(0), \quad (4)$$

$$\underline{U}_{20}(c) = \underline{U}_{11}(-a), \quad (5)$$

$$\underline{I}_{20}(c) = \underline{I}_{11}(-a) + j\omega C_2 \underline{U}_{20}(c). \quad (6)$$

Irašę į (3)–(6) įtampų ir srovių išraiškas ir eliminavę koeficientus  $\underline{A}_{11}$  ir  $\underline{A}_{12}$ , gauname lygčių sistemą:

$$\begin{cases} \underline{A}_{21} \underline{D}_{11} + \underline{A}_{22} \underline{D}_{12} = 0, \\ \underline{A}_{21} \underline{D}_{21} + \underline{A}_{22} \underline{D}_{22} = 0, \end{cases} \quad (7)$$

čia

$$\underline{D}_{11} = e^{j\theta} \sin kc + \sin ka, \quad (8)$$

$$\underline{D}_{12} = \frac{\omega C_1}{Y(\theta)} \sin ka + e^{j\theta} \cos kc - \cos ka, \quad (9)$$

$$\underline{D}_{21} = \cos kc - \frac{\omega C_2}{Y(\theta)} \sin kc - e^{-j\theta} \cos ka, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \underline{D}_{22} = & -(\sin kc + \frac{\omega C_2}{Y(\theta)} \cos kc + \\ & + \frac{\omega C_1}{Y(\theta)} e^{-j\theta} \cos ka + e^{-j\theta} \sin ka). \end{aligned} \quad (11)$$

Sprendami šią lygčių sistemą, gauname sistemos dispersinę lygtį, kuriai galima suteikti tokį pavidalą:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \cos kh - \frac{\omega(C_1 + C_2)}{2Y(\theta)} \sin kh + \\ & + \frac{\omega^2 C_1 C_2}{2Y^2(\theta)} \sin ka \sin kc; \end{aligned} \quad (12)$$

čia  $h = a + c$ .

Pareikalavę, kad lygčių sistemos (7) determinantas būtų lygus nuliui, arba sprendami dispersinę lygtį (12), galime rasti bangos skaičių  $k$ , atitinkantį pasirinktą  $\theta$  vertę. Tada galime apskaičiuoti lėtinimo koeficientą ir dažnį:

$$k_L = \theta / kL, \quad (13)$$

$$f = kc_0 / 2\pi; \quad (14)$$

čia  $L$  – spiralės vijų ir daugialaidės linijos laidininkų žingsnis,  $c_0$  – šviesos greitis.

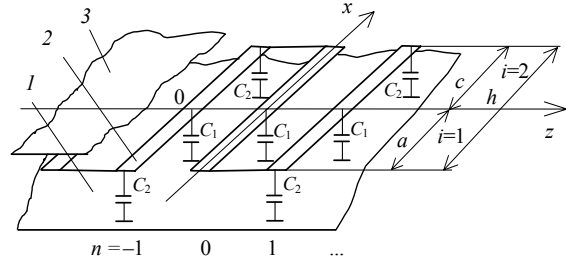
Žinodami koeficientų  $\underline{A}_{i1}$  ir  $\underline{A}_{i2}$  sąryšį, galime rasti sistemos įėjimo varžą:

$$\underline{Z}_{IN}(x) = \frac{\underline{U}_{i0}(x)}{\underline{I}_{i0}(x)}; \quad (15)$$

Bendru atveju ji priklauso nuo koordinatės  $x$ .

### Meandrinės sistemos modelis

Meandrinės sistemos analizei taip pat taikysime daugialaidžių linijų metodą. Sistemos modelis atvaizduotas 3 paveiksle. Jį sudaro vienišė vienpakopės daugialaidės linijos atkarpa. Talpos  $C_1$  ir  $C_2$ , kaip ir spiralinės sistemos atveju, modeliuoja netolygumus, atsirandančius dėl dielektrinių laikiklių.



**3 pav.** Meandrinės sistemos modelis: 1, 3 – ekranai, 2 – daugialaidės linijos laidininkas, modeliuojantis meandro juostelę

Kai lėtinimo sistemos periode yra du daugialaidės linijos laidininkai, jų potencialai ir srovės išreiškiami lygtimis [5]:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{in}(x) = & (\underline{A}_{i1} \sin kx + \underline{A}_{i2} \cos kx) e^{-jn\theta} + \\ & + (\underline{A}_{i3} \sin kx + \underline{A}_{i4} \cos kx) e^{-jn(\theta+\pi)}, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_{in}(x) = & jY(\theta)(\underline{A}_{i1} \cos kx - \underline{A}_{i2} \sin kx) e^{-jn\theta} + \\ & + jY(\theta + \pi)(\underline{A}_{i3} \cos kx - \underline{A}_{i4} \sin kx) e^{-jn(\theta+\pi)}. \end{aligned} \quad (17)$$

Daugialaidės linijos atkarpa modeliuoja meandrinę sistemą su parazitinėmis talpomis, jeigu tenkinamos šios sąlygos:

$$\underline{U}_{1(-1)}(0) = \underline{U}_{2(-1)}(0), \quad (18)$$

$$\underline{I}_{1(-1)}(0) = \underline{I}_{2(-1)}(0) + \underline{U}_{1(-1)}(0)j\omega C_1, \quad (19)$$

$$\underline{U}_{2(-1)}(c) = \underline{U}_{20}(c), \quad (20)$$

$$\underline{I}_{2(-1)}(c) = -(\underline{I}_{20}(c) + \underline{U}_{2(-1)}(c)j\omega C_2), \quad (21)$$

$$\underline{U}_{20}(0) = \underline{U}_{10}(0), \quad (22)$$

$$\underline{I}_{20}(0) = \underline{I}_{10}(0) + \underline{U}_{20}(0)j\omega C_1, \quad (23)$$

$$\underline{U}_{10}(-a) = \underline{U}_{11}(-a), \quad (24)$$

$$\underline{I}_{10}(-a) = -(\underline{I}_{11}(-a) + \underline{U}_{10}(-a)j\omega C_2). \quad (25)$$

Irašę į (18)–(25) įtampų ir srovių išraiškas gauname lygčių sistemą, kurią sprendami galime rasti sistemos dispersinę lygtį. Kai  $a = c$ , dispersinė lygtis yra tokio pavidalo:

$$Y(\theta) \tan ka \cot \frac{\theta}{2} - Y(\theta + \pi) \cot ka \tan \frac{\theta}{2} +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\omega C_1}{2Y(\theta)} \left( Y(\theta) \cot \frac{\theta}{2} + Y(\theta + \pi) \tan \frac{\theta}{2} \right) + \\
& + \frac{\omega C_2}{\sin \theta} \left( 1 - \frac{\omega C_1}{2Y(\theta)} \tan ka \right) = 0. \quad (26)
\end{aligned}$$

Bangos skaičių  $k$ , lėtinimo koeficientą  $k_L$ , dažnį  $f$  skaičiuojame taip pat, kaip ir spiralinės sistemos atveju. Meandrinės sistemos įėjimo varža išreiškiama formule:

$$\underline{Z}_{IN}(x) = \frac{U_{in}(x)}{I_{in}(x)}. \quad (27)$$

Ji apskritai priklauso nuo  $n$  ir  $x$ .

### Skaičiavimo rezultatai ir jų analizė

Daugialaidžių linijų banginiai laidumai priklauso nuo fazės kampo  $\theta$  ir yra skaičiuojami įvairiais metodais [8]. Šiame darbe banginiai laidumai buvo skaičiuojami baigtinių skirtumų metodu [9].

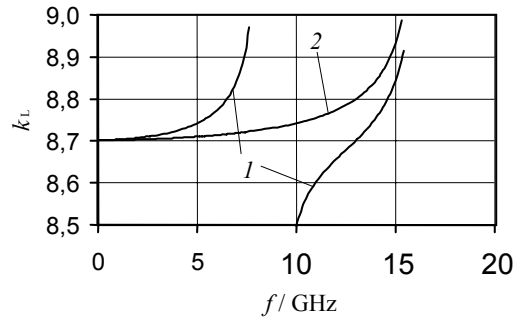
Bangos skaičiaus vertę, ties kuria spiralinės ir meandrinės lėtinimo sistemų lygčių sistemų determinantai lygūs nuliui arba tenkinamos dispersinės lygtys (12) ir (26), galime rasti priartėjimo būdu, taikydami algoritmus, aptartus [5, 6, 10, 11] ir kituose darbuose. Šiame darbe bangos skaičiaus reikšmės apskaičiuotos neišvedant dispersinės lygties.

4 paveiksle,  $a, b$  pavaizduotos spiralinės lėtinimo sistemos lėtinimo koeficiento ir įėjimo varžos priklausomybės nuo dažnio, kai dėl laikiklių atsirandanti ir vijai tenkanti talpa yra  $C_1 + C_2 = 0,2$  pF. Kreivės 1 gautos, kai talpa sutelkta vienoje vijos vietoje ( $C_1 = 0$ ,  $C_2 = 0,2$  pF). Kreivės 2 iliustruoja, kaip pasikeičia sistemos charakteristikos, kai talpos vienodos ( $C_1 = C_2$ ) ir atstumai tarp jų lygūs ( $a = c = h/2$ ). Lygindami grafikus matome, kad yra galimybė perstumti atsirandančią dėl periodinių netolygumų užtvarinę juostą į beveik dvigubai aukštesnių dažnių sritį. Skaičiavimų rezultatai rodo, kad ši galimybė išlieka ir tada, kai vijai tenkanti talpa didesnė ( $C_1 = C_2 = 0,2$  pF), bet  $a = c = h/2$ .

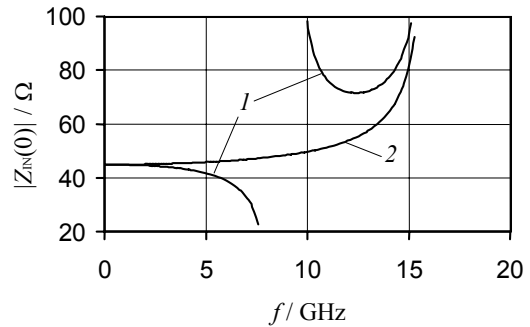
5 paveikslo kreivės iliustruoja, kaip spiralinės lėtinimo sistemos charakteristikos priklauso nuo talpų  $C_2$  ir  $C_1$  santykio, kai  $C_1 = 0,1$  pF = const ir  $a = c = h/2$ . Lygindami kreives, matome, kad didėjant parazitinei talpai, kuri tenka spiralės vijai, padidėja lėtinimo koeficientas ir sumažėja įėjimo varža žemųjų dažnių srityje. Kuo didesnis talpų  $C_2/C_1$  santykis, tuo labiau kinta lėtinimo koeficientas, įėjimo varža ir gaunama platesnė užtvarinė juosta ties  $\theta \cong \pi$ . Užtvarinės juostos ties  $\theta \cong \pi$  nėra tik tada, kai talpos vienodos ( $C_1 = C_2$ ).

6 paveiksle atvaizduotos spiralinės sistemos charakteristikos, kai vijos ilgis pastovus ( $a + c = h = 16$  mm), tačiau skirtingas atkarpų  $a$  ir  $c$  santykis. Iš kreivių palyginimo seka, kad sistemos lėtinimo koeficientas, įėjimo varža aukštųjų dažnių srityje ir užtvarinės juostos plotis labai priklauso nuo santykio  $a/c$ . Užtvarinės juostos ties  $\theta \cong \pi$  įmanoma išvengti, kai nuotolis tarp vienodų talpinio pobūdžio netolygumų (dviejų vienodų

vijos dielektrinių laikiklių) vienodas ( $a = c$ ) ir netolygumų periodas išilgai vijos mažesnis.

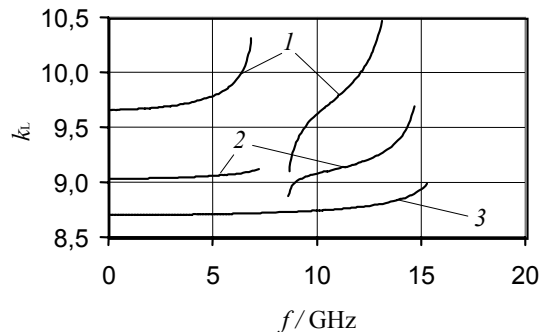


a

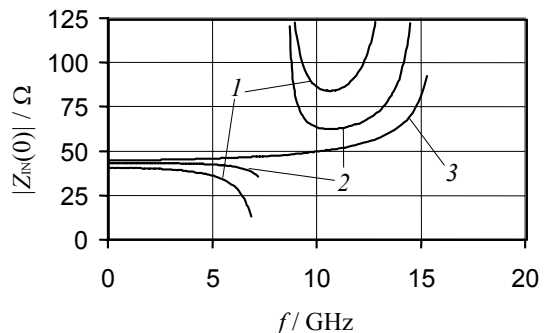


b

4 pav. Spiralinės lėtinimo sistemos lėtinimo koeficiento (a) ir įėjimo varžos (b) priklausomybės nuo dažnio, kai  $a = c = 8$  mm,  $C_1 = 0$ ,  $C_2 = 0,2$  pF (1 kreivė),  $C_1 = C_2 = 0,1$  pF (2 kreivė); laidininko žingsnis  $L = 2$  mm; atstumas tarp laidininkų  $l = 0,5$  mm; laidininko storis  $p = 0,4$  mm; tarpai tarp spiralės ir ekranų  $w_1 = w_2 = 0,5$  mm

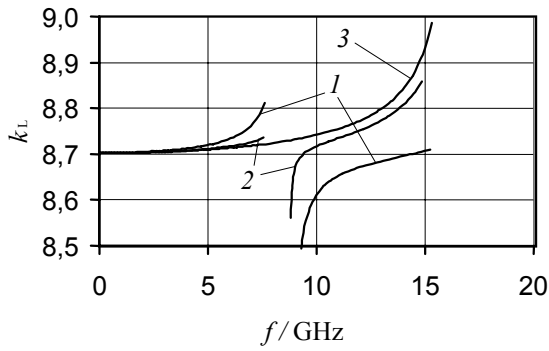


a

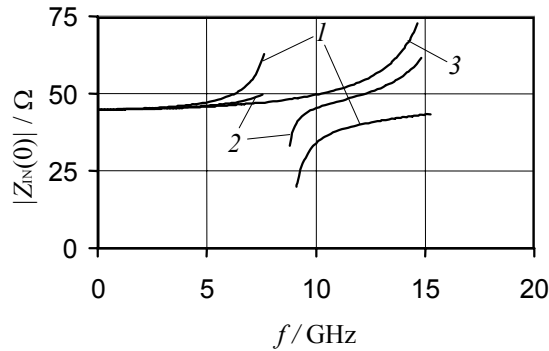


b

5 pav. Spiralinės lėtinimo sistemos lėtinimo koeficiento (a) ir įėjimo varžos (b) priklausomybės nuo dažnio, kai  $a = c = 8$  mm,  $C_1 = 0,1$  pF = const,  $C_2/C_1 = 4$  (1 kreivė),  $C_2/C_1 = 2$  (2 kreivė) ir  $C_2/C_1 = 1$  (3 kreivė); laidininko žingsnis  $L = 2$  mm; atstumas tarp laidininkų  $l = 0,5$  mm; laidininko storis  $p = 0,4$  mm; tarpai tarp spiralės ir ekranų  $w_1 = w_2 = 0,5$  mm



a

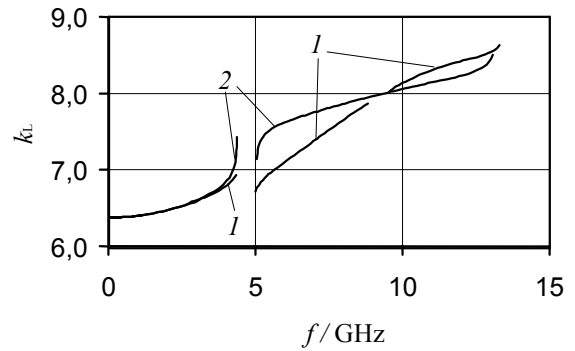


b

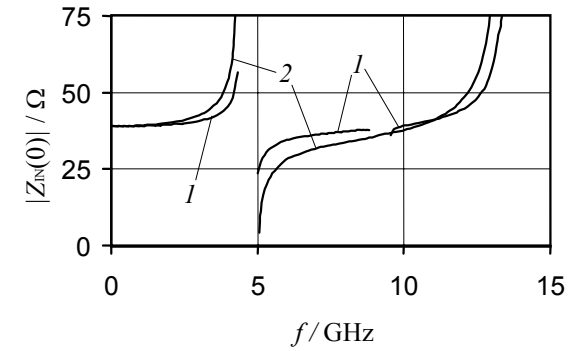
**6 pav.** Spiralinės lėtinimo sistemos lėtinimo koeficiento (a) ir įėjimo varžos (b) priklausomybės nuo dažnio, kai  $C_1 = C_2 = 0,1$  pF,  $a/c = 3$  (1 kreivė),  $a/c = 1,5$  (2 kreivė) ir  $a/c = 1$  (3 kreivė);  $h = 16$  mm = const; laidininko žingsnis  $L = 2$  mm; atstumas tarp laidininkų  $l = 0,5$  mm; laidininko storis  $p = 0,4$  mm; tarpai tarp spiralės ir ekranų  $w_1 = w_2 = 0,5$  mm

Panašiai buvo tirta meandrinė lėtinimo sistema. 7 paveiksle pavaizduotos meandrinės lėtinimo sistemos lėtinimo koeficiento ir įėjimo varžos modulio priklausomybės nuo dažnio, kai vienodi atstumai ( $a = c$ ) tarp talpų  $C_1 = C_2 = 0,1$  pF (1 kreivė) ir kai  $C_1 = 0$ , o  $C_2 = 0,2$  pF (2 kreivė). Iš šių grafikų matome, kad bendru atveju gaunami meandrinės sistemos charakteristikų trūkiai ties  $\theta \cong \pi/2$  ir  $\theta \cong \pi$ . Kai  $C_1 = 0$ , charakteristikų trūkų ties fazės kampu  $\theta \cong \pi$  nėra (2 kreivės). Analogiškos charakteristikos gaunamos, kai  $C_1 = 0,2$  pF, o  $C_2 = 0$ . Taigi meandrinės sistemos atveju, sumažinus nuotolį tarp dielektrinius laikiklius modeliuojančių talpų, užtvarinės juostos negalima nukelti į dvigubai didesnių dažnių ruožą, kaip spiralinės lėtinimo sistemos atveju, tačiau galima išvengti charakteristikų trūkio ties fazės kampu  $\theta \cong \pi$ , jei viena iš talpų  $C_1$  arba  $C_2$  lygi nuliui.

8 paveikslo kreivės parodo, kaip meandrinės lėtinimo sistemos charakteristikos priklauso nuo talpų  $C_2$  ir  $C_1$  santykio, kai  $C_1 = 0,1$  pF = const ir  $a = c = h/2$ . Lygindami kreives, matome, kad didėjant parazitinių talpų  $C_2/C_1$  santykiui ir talpinio pobūdžio netolygumams, labiau kinta lėtinimo koeficientas, įėjimo varža ir gaunamos platesnės užtvarinės juostos ties  $\theta \cong \pi/2$  ir  $\theta \cong \pi$ . Panašūs rezultatai gaunami ir didinant meandrinės lėtinimo sistemos laidininko atkarpų ilgių santykį  $a/c$  arba  $c/a$ , kai  $C_1 = C_2$ .

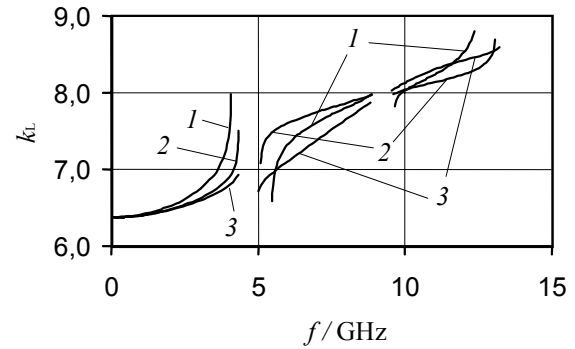


a

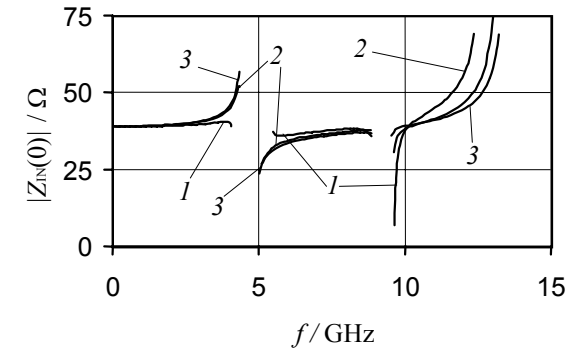


b

**7 pav.** Meandrinės lėtinimo sistemos lėtinimo koeficiento (a) ir įėjimo varžos (b) priklausomybės nuo dažnio, kai  $a = c = 8$  mm,  $C_1 = C_2 = 0,1$  pF (1 kreivė) ir  $C_1 = 0$ ,  $C_2 = 0,2$  pF (2 kreivė); laidininko žingsnis  $L = 2$  mm; atstumas tarp laidininkų  $l = 0,5$  mm; laidininko storis  $p = 0,4$  mm; tarpai tarp spiralės ir ekranų  $w_1 = w_2 = 0,5$  mm



a



b

**8 pav.** Meandrinės lėtinimo sistemos lėtinimo koeficiento (a) ir įėjimo varžos (b) priklausomybės nuo dažnio, kai  $a = c = 8$  mm,  $C_1 = 0,1$  pF = const,  $C_2/C_1 = 4$  (1 kreivė),  $C_2/C_1 = 2$  (2 kreivė) ir  $C_2/C_1 = 1$  (3 kreivė); laidininko žingsnis  $L = 2$  mm; atstumas tarp laidininkų  $l = 0,5$  mm; laidininko storis  $p = 0,4$  mm; tarpai tarp spiralės ir ekranų  $w_1 = w_2 = 0,5$  mm

Taigi talpinio pobūdžio netolygumų, atsirandančių dėl meandrinio elektrodo dielektrinių laikiklių, įtaka meandrinėms sistemų charakteristikoms skiriasi nuo jų įtakos spiralinių sistemų charakteristikoms.

Meandrinėms sistemų su periodiniais netolygumais praleidžiamųjų dažnių juostos plotį ir užtvarinės juostos vietą dažnių ašyje lemia meandrinio laidininko ilgis  $2h$  sistemos periode. Pirmoji užtvarinė juosta yra žemesnių dažnių ruože (ne ties  $\theta \cong \pi$ , kaip spiralinių sistemų atveju, o ties  $\theta \cong \pi/2$ ). Panašios nevienalyčių meandrinėms sistemų savybės buvo pastebėtos [10], nagrinėjant periodines meandrinėms sistemas su nevienodo pločio gretimomis juostelėmis.

Mažinant nuotolį tarp meandrinio elektrodo dielektrinius laikiklius modeliuojančių talpų, užtvarinės juostos ties  $\theta \cong \pi/2$  nepavyksta išvengti. Specifinės meandrinėms sistemų savybės lemia tai, kad jų periodas yra  $2L$  ir jose sklindančios bangos yra dviejų bangų superpozicija [10].

### Išvados

Periodiniai spiralinių ir meandrinėms sistemų netolygumai susiaurina šių sistemų praleidžiamųjų dažnių juostą. Dėl periodinių elektrinių netolygumų spiralinės ir meandrinės lėtinimo sistemos aukštųjų dažnių srityje įgyja juostinių užtvarinių filtrų savybes.

Bendru atveju nevienalytė spiralinė lėtinimo sistema įgyja užtvarinio filtro savybes, kai, didėjant dažniui, fazės kampas  $\theta$  tarp gretimų spiralės vijų įtampų ar srovių artėja prie  $\pi$ . Kai yra periodinių talpinio pobūdžio netolygumų, užtvarinės juostos plotis priklauso nuo talpų santykio ( $C_2/C_1$ ) ir nuotolių tarp talpų santykio ( $a/c$ ). Kai šie santykiai artėja prie 1, užtvarinės juostos plotis mažėja. Kai paminėti santykiai tampa lygūs 1, užtvarinė juosta pasislenka į beveik dvigubai aukštesnių dažnių sritį. Apibendrinant galima teigti, kad užtvarinės juostos vietą dažnių ašyje lemia ne spiralės vijos ilgis, o vienodų vijos dalių ilgis (netolygumų periodas).

Nors bėgančiosios bangos kreipimo sistemų atveju dažniai, atitinkantieji  $\theta = \pi$ , yra už bėgančiosios bangos oscilografinių vamzdžių praleidžiamųjų dažnių juostų ribų [5, 6], iš atskleistas spiralinių sistemų savybes reikia atsižvelgti kuriant ir gaminant plačiajuostes kreipimo sistemas. Vietoje vieno spiralinio elektrodo dielektrinio laikiklio verta numatyti du vienodus laikiklius, tarp kurių vijos atkarpos vienodos.

Talpinio pobūdžio netolygumų, atsirandančių dėl meandrinio elektrodo dielektrinių laikiklių, įtaka meandrinėms sistemų charakteristikoms skiriasi nuo jų įtakos

spiralinių sistemų charakteristikoms. Pirmoji užtvarinė juosta yra žemesnių dažnių ruože (ne ties  $\theta \cong \pi$ , kaip spiralinių sistemų atveju, o ties  $\theta \cong \pi/2$ ). Mažinant nuotolį tarp meandrinio elektrodo dielektrinius laikiklius modeliuojančių talpų, užtvarinės juostos ties  $\theta \cong \pi/2$  nepavyksta išvengti. Jos vietą dažnių ašyje lemia meandrinio laidininko periodas  $2h$ .

### Literatūra

1. Štaras S., Burokas T. Nevienalyčių spiralinių sistemų savybės // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 1(43). – P. 17–20.
2. Kory L., Dayton J. A. Accurate Cold-Test Model of Helical TWT Slow-Wave Circuits // IEEE Trans. on ED, 1998. – Vol. 45, No. 4. – P. 966-971.
3. D'Agostino S., Emma F., Paoloni C. Accurate Analysis of Helix Slow-Wave Structures // IEEE Trans. on ED, 1998. – Vol. 45, No. 7. – P. 1605-1613.
4. Jain K. P., Basu B. N. The Inhomogeneous Dielectric Loading Effects of Practical Helix Supports on the Interaction Impedance of the Slow-Wave Structure of a TWT // IEEE Trans. on ED, 1992. – Vol. 39, No. 3. – P. 727-733.
5. Штарас С., Вайнорис З., Мартавичюс Р., Скудутис Ю., Станкунас Й. Широкополосные тракты осциллографических электронно-лучевых трубок бегущей волны. – Вильнюс: Техника, 1993. – 360 с.
6. Štaras S., Skudutis J. Travelling-wave deflecting systems // Software for Electrical Engineering Analysis and Design. – Boston, Southampton: WITPRESS, 1999. – P. 23–32.
7. Piazza R. E., Janko B. Distributed deflection structure employing dielectric support // Patent No 3849695 (USA).
8. Силин Р.А., Сазонов В.П. Замедляющие системы. – Москва: Сов. радио, 1968. – 632 с.
9. Kleiza A., Štaras S. Daugialaidžių linijų banginių varžų skaičiavimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 1999. – Nr. 4(22). – P. 41–44.
10. Martavičius R. Elektrodinaminės planarinės lėtinimo sistemos plačiajuosčiams elektroniniams prietaisams. – Vilnius: Technika, 1996. – 264 p.
11. Т.Вайнорис З., Кирвайтис Р., Штарас С. Электродинамические задерживающие и отклоняющие системы. – Вильнюс: Мокслас, 1986. – 266 с.
12. Лошаков Л. Н. О расчете параметров экранированной спиральной линии при наличии диэлектрических опор // Радиотехника. – т. 27, 1972, № 8. – с. 32-39.
13. Лошаков Л. Н., Ольдерогге Е. Б. О распространении медленных электромагнитных волн вдоль спирали при наличии диэлектрических опор // Радиотехника и электроника. – т. XIII, 1968, № 1. – с. 61-68.

Pateikta spaudai 2004 04 05

**Burokas T., Štaras S. Laikiklių įtaka spiralinių ir meandrinėms sistemų savybėms // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr.4(53). – P. 22-27.**

Nagrinėjama spiralinių ir meandrinėms sistemų lėtinimo elektrodų dielektrinių laikiklių įtaka sistemų savybėms. Sistemų tyrimui pasirinktas daugialaidžių linijų metodas. Sistemos modeliuojamos vieneilės daugialaidės linijos atkarpomis. Išvedamos sistemų dispersinės lygtys ir įėjimo varžos išraiškos. Pateikiamos ir nagrinėjamos apskaičiuotos lėtinimo koeficiento ir įėjimo varžos modulio dažninės charakteristikos. Parodoma, kad periodiniai spiralinių ir meandrinėms sistemų netolygumai susiaurina šių sistemų praleidžiamųjų dažnių juostą. Dėl periodinių elektrinių netolygumų spiralinės ir meandrinės lėtinimo sistemos aukštųjų dažnių srityje įgyja juostinių užtvarinių filtrų savybes. Parodyta, kad nevienalytė spiralinė lėtinimo sistema įgyja užtvarinio filtro savybes, kai, didėjant dažniui, fazės kampas  $\theta$  tarp gretimų spiralės vijų įtampų ar srovių artėja prie  $\pi$ . Kai yra periodinių talpinio pobūdžio netolygumų, užtvarinės juostos

plotis priklauso nuo talpų santykio ( $C_2/C_1$ ) ir nuotolių tarp talpų santykio ( $a/c$ ). Įrodoma, kad, kai šie santykiai artėja prie 1, užtvarinės juostos plotis mažėja ir ji pasislenka į beveik dvigubai aukštesnių dažnių sritį. Nors bėgančiosios bangos kreipimo sistemų atveju dažniai, atitinkantieji  $\theta \cong \pi$ , yra už bėgančiosios bangos oscilografinių vamzdžių praleidžiamųjų dažnių juostų ribų, į atskleistas spiralinių sistemų savybes reikia atsižvelgti kuriant ir gaminant plačiajuostes kreipimo sistemas. Siūloma vietoje vieno spiralinio elektrodo dielektrinio laikiklio naudoti du vienodus laikiklius, tarp kurių vijos atkarpos vienodos. Parodoma, kad talpinio pobūdžio netolygumų, atsirandančių dėl meandrinio elektrodo dielektrinių laikiklių, įtaka meandrinėms sistemų charakteristikoms skiriasi nuo jų įtakos spiralinių sistemų charakteristikoms. Teigiama, kad pirmoji užtvarinė juosta yra žemesnių dažnių ruože (ne ties  $\theta \cong \pi$ , kaip spiralinių sistemų atveju, o ties  $\theta \cong \pi/2$ ) ir, mažinant nuotolį tarp meandrinio elektrodo dielektrinius laikiklius modeliuojančių talpų, užtvarinės juostos ties  $\theta \cong \pi/2$  nepavyksta išvengti. Jos vietą dažnių ašyje lemia meandrinio laidininko periodas  $2h$ . III. 8, bibl. 13 (lietuvių k.; santraukos lietuvių, anglų, rusų k.).

**Burokas T., Štaras S. Properties of Helical and Serpentine Slow-Wave Systems Containing Dielectric Holders // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 4(53). – P. 22-27.**

The helical and serpentine structures, containing periodical inhomogeneities, caused by dielectric holders, are considered in order to reveal the influence of the inhomogeneities on the properties of the structures at high frequencies. The method of multiconductor lines is used for analysis of the systems. The proposed models of the systems consist of segments of the shielded multiconductor line, containing one row of conductors and one conductor in the period of the structure. Capacitive inhomogeneities are modeled by lumped capacitances. Dispersion equations and expressions for the input impedance of the systems are derived. They are used for calculations of retardation factor and input impedance versus frequency. It is shown, that periodical inhomogeneities decrease the pass band of the helical and serpentine systems. The inhomogeneous systems obtain properties of the rejection filter in the high frequency region. The inhomogeneous helical system obtains properties of the rejection filter, when the phase difference angle  $\theta$  between the voltages or currents on the neighbor helical wires approaches  $\pi$ . The width of the stop-band depends on the ratio of the capacitances, modeling inhomogeneities, and the distance between them. It is important that there is possibility to decrease and to move the stop-band to almost twice higher frequency range when mentioned ratios become 1. In the case of the traveling-wave deflection systems, the stop-band is higher than the upper limit of the pass-band of the traveling-wave cathode ray tube. On the other hand, designers of the super-wide-band traveling-wave deflection systems and traveling wave cathode ray tubes must take into account revealed influence of the periodic inhomogeneities on the properties of the slow-wave structures. It is possible to improve properties of the deflection systems using two or more uniform holders with the same distance between them instead of one. The influence of the periodical capacitive inhomogeneities on the properties of the serpentine systems is different. The first stop-band appears in the lower frequency range (when  $\theta \cong \pi/2$ ), and it is impossible to avoid it by decreasing the distance between the capacitances, modeling holders. The position of the stop-band depends on the period of the serpentine conductor  $2h$ . III. 8, bibl. 13 (In Lithuanian, summaries in Lithuanian, English, Russian).

**Бурокас Т., Штарас С. Влияние диэлектрических держателей на свойства спиральных и меандровых замедляющих систем // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. – № 4(53). – С. 22-27.**

Рассматриваются экранированные спиральные и меандровые системы с целью определения влияния неоднородностей, вызванных диэлектрическими держателями замедляющих электродов. Для анализа систем выбран метод многопроводных линий. Модель системы состоит из отрезков экранированной однорядной многопроводной линии и сосредоточенных емкостей. Выводятся выражения дисперсионного уравнения и входного сопротивления систем. Приведены и обсуждаются расчетные зависимости коэффициента замедления и волнового сопротивления от частоты. Показано, что за счет неоднородностей полоса пропускания неоднородных систем уменьшается. Неоднородные спиральные и меандровые замедляющие и задерживающие системы в области высоких частот приобретают свойства заграждающих фильтров. Неоднородная спиральная система приобретает свойства заграждающего фильтра, когда с увеличением частоты фазовый угол  $\theta$  между напряжениями или токами на соседних витках приближается к  $\pi$ . В случае неоднородностей емкостного типа, ширина полосы заграждения зависит от соотношения емкостей  $C_2/C_1$  и от соотношения расстояний между ними  $a/c$ . Показано, что в случае спиральной системы полосу заграждения можно сместить в область почти вдвое высших частот, когда  $C_2/C_1$  и  $a/c$  становятся равными 1. В случае отклоняющих систем бегущей волны частоты, соответствующие фазовому углу  $\theta = \pi$ , находятся за пределами полосы пропускания осциллографических трубок бегущей волны, тем не менее выявленное влияние периодических электрических неоднородностей необходимо учитывать при разработке и производстве сверхширокополосных отклоняющих систем. Предлагается использовать вместо одного два одинаковых держателя с одинаковым расстоянием между ними. Показано также, что влияние неоднородностей на свойства меандровой замедляющей системы отличается от спиральной. Первая полоса заграждения появляется на частотах, которые значительно ниже (не при  $\theta \cong \pi$ , как в случае спиральных систем, а при  $\theta \cong \pi/2$ ). Уменьшая расстояние между емкостями, моделирующими диэлектрические держатели, не удается избежать полосы заграждения при  $\theta \cong \pi/2$ . Местоположение полосы заграждения определяется периодом меандрового проводника  $2h$ . Илл. 8, библи. 13 (на литовском языке, рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.10908