

PLANARIŪJŲ PLAČIAJUOSČIŲ LĒTINIMO SISTEMŲ TAIKymo SRITYS

Edvardas Metlevskis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas edvardas.metlevskis@vgtu.lt

Santrauka. Mikrobangų įtaisams projektuoti plačiai taikomos įvairių konstrukcijų planariosios plačiajuostės lėtinimo sistemos. Lietuvos mokslininkų darbuose nagrinėjami spiralinių ir meandrinų lėtinimo sistemų modeliai, tiriamos jų savybės. Darbe aptiriamos meandrinų lėtinimo sistemų taikymo sritys. Apžvelgiamos mobiliųjų įrenginių, radijo dažnio identifikavimo, belaidžio ryšio technologijų sritys, kuriose tokios sistemos yra dažniausiai taikomos. Pateikiami darbų, kuriuose taikant meandrinės lėtinimo sistemas projektuojamos bei gaminamos antenos, filtrai ir šakotuvai, pavyzdžiai.

Reikšminiai žodžiai: planarioji plačiajuostė lėtinimo sistema, meandrinė lėtinimo sistema, taikymo sritys, antenos, filtrai.

Įvadas

Planariosios plačiajuostės lėtinimo sistemos (PPLS) dažniausiai taikomos antenose, monolitiniuose integruojamose grandynuose – MMIG (angl. *Monolithic Microwave Integrated Circuit* – MMIC) ir didelio duomenų perdavimo greičio skaitmeniniuose įtaisuose. Filtrai, šakotuvai ir galios dalikliai gali būti gaminami taikant PPLS, kadangi jų gamybos procesas yra pigus ir paprastesnis negu įprastinių bangolaidžių struktūrų.

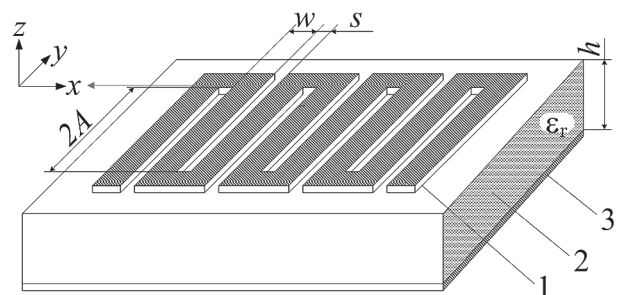
Mikrobangų įtaisuose naudojamos įvairių konstrukcijų PPLS. Plačia praleidžiamųjų dažnių juosta pasižymi spiralinės lėtinimo sistemos (LS) (Skudutis, Daškevičius 2001). Tokių LS savybės nagrinėjamos ir tiriamos darbuose (Skudutis, Daškevičius 2002; Štaras, Burokas 2003). Siūlomi ir patobulinti spiralinių lėtinimo ir kreipimo sistemų modeliai (Štaras, Burokas 2004, 2006). Taip pat paminėtini darbai (Skudutis *et al.* 2004; Skudutis, Daškevičius 2006a, b), kuriuose spiralinėms LS modeliuoti taikomi skaitmeniniai metodai ir tam skirti specializuoti programų paketai.

Darbe plačiau nagrinėjamos meandrinės lėtinimo sistemos. Tokios sistemos svarbiausia dalis – meandro formos laidininkas (Martavičius, Urbanavičius 1996). Gaminant šį laidininką, juostelių išdėstymo meandro periode atsiranda žingsnio netolygumas. Todėl ištirta žingsnio netolygumo įtaka meandrinų LS savybėms (Martavičius, Urbanavičius 1999). Lietuvoje taip pat atlikta nemažai meandrinų LS savybių tyrimų (Martavičius, Urbanavičius 1997, 1998; Martavičius, Jurjevas 2000). Pasiūlyti įvairūs meandrinų LS modeliai: daugiaatvadžių meandrinų LS su sudėtingos formos atvadais (Gurskas *et al.* 1997), meandrinų LS su kilpų ir šukų (Martavičius, Jurjevas 1998a, b) pavidalo

papildomais ekranais. Be to, pateikiami ir patikslinti plačiajuosčių meandrinų LS su papildomais ekranais modeliai (Martavičius, Jurjevas 2001). Kadangi gana didelę meandrinio laidininko dalį sudaro išilginės atkarpos, ištirta jų įtaka meandrinės sistemos dažninėms charakteristikoms (Kleiza, Štaras 1998). Ištirtos ir lovelinių meandrinų sistemų, kurių banginė varža ir lėtinimo koeficientas yra pastovūs dydžiai plačiame dažnių ruože, savybės (Burokas, Štaras 2005). Meandrinų vėlinimo linijų analizei taikomi ir skaitmeniniai metodai (Jurjevas *et al.* 2001).

Meandrinų lėtinimo sistemų taikymo sritys

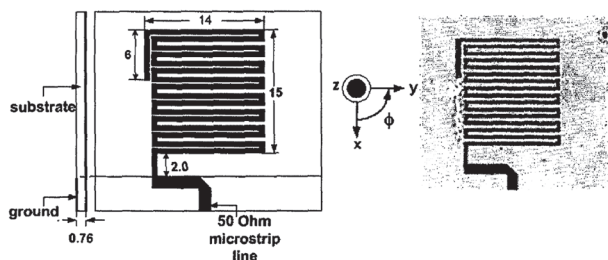
Mikrojuostelinės meandrinės lėtinimo sistemos eskizas pavaizduotas 1 pav. Lėtinimo sistema sudaryta iš meandro formos laidininko, išdėstyto ant dielektrinio pagrindo, kurio skvarba ϵ_r . Vienos juostelės ilgis žymimas $2A$, plotis – w . Tarpo tarp gretimų juostelių plotis žymimas s .



1 pav. Mikrojuostelinės meandrinės lėtinimo sistemos eskizas: 1 – meandro formos laidininkas; 2 – dielektrinis pagrindas; 3 – ekranas

Fig. 1. Meander slow-wave system: 1 – conductor; 2 – dielectric substrate; 3 – ground plane

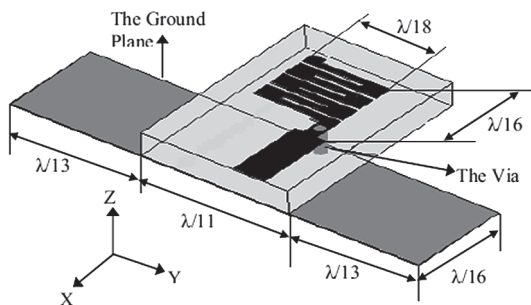
Šiuo metu meandrinės LS yra plačiausiai taikomos projektuojant antenas. Meandro formos laidininkas leidžia sumažinti įtaiso dydį, todėl tokios antenos yra paplitusios mobiliuosiuose įrenginiuose. Pham ir kt. (2004) aprašo anteną, veikiančią dviejuose 900/1800 MHz dažnio ruožuose, skirtą taikyti mobiliajame ryšyje. Jos meandras (2 pav.) skirtas pasiekti 900 MHz rezonansinį dažnį. Projektuojant meandras, tarp gretimų laidininkų naudojami skirtingi atstumai. Antenos matmenys yra 14×17 mm.



2 pav. Žemo profilio antena (Pham *et al.* 2004), veikianti dviejuose ruožuose: a) antenos eskizas ir matmenys; b) pagaminta antena
Fig. 2. Low profile meander line antenna for dual-band operation (Pham *et al.* 2004): a) geometry and dimensions; b) fabricated antenna

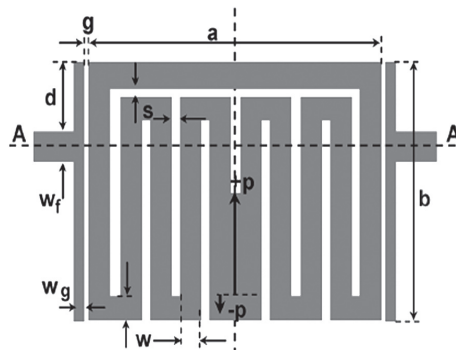
Meandrinės antenos taip pat dažnai naudojamos radijo dažnio identifikavimo (angl. *Radio Frequency IDentification* – RFID) sistemose (Ghiotto *et al.* 2010). Kyeong-Sik Min ir kt. (2005) aprašo anteną, kuri gali veikti keliuose dažnių ruožuose. Siekiant praplėsti dažnių juostos plotį ir sumažinti įtaiso matmenis, iš 16 laidininkų sudarytas meandras išdėstomas ant magnetinio dielektrinio pagrindo, kurio skvarba yra kompleksinė.

Daugumos antenų didžiausią dalį sudaro ekranas, kuris turi didelę įtaką antenos pralaidumo juostos pločiui, įėjimo varžai ir rezonansiniam dažniui. Nassar, Weller (2011) aprašė antenos su sutrumpintu ekranu (3 pav.) projektavimą, gamybą ir tyrimus. Ši antena skirta naudoti esant 2,4 GHz dažniui ir gali būti taikoma belaidžio ryšio technologijose.



3 pav. Antenos su sutrumpintu ekranu modelis (Nassar, Weller 2011)
Fig. 3. Antenna design geometry (Nassar, Weller 2011)

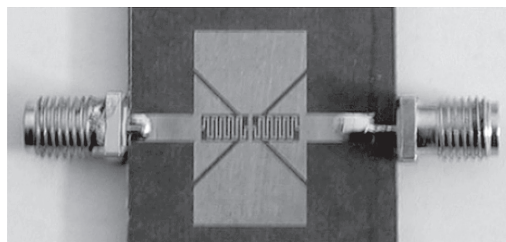
Kitą grupę įtaisų, kuriuose plačiai taikomos meandrinės lėtinimo sistemos, sudaro filtrai. Siekiant sumažinti dviejų modų juostinio filtro matmenis, Gorur, Karpuz (2007) darbe siūloma naudoti meandro formos rezonatorių. Toks filtras, pavaizduotas 4 pav., naudojamas palydoviniame ir mobiliajame ryšiuose. Filtro matmenys: $a = 13,6$ mm, $b = 10,2$ mm, $w = 1$ mm, $s = 0,4$ mm.



4 pav. Dviejų modų juostinio filtro modelis (Gorur, Karpuz 2007)
Fig. 4. Dual-mode microstrip filter (Gorur, Karpuz 2007)

Meandro formos laidininkai taip pat naudojami projektuojant žemųjų dažnių filtrus su plačia užtvaros juosta. Wang ir kt. (2010) darbe aptariamas filtras, kuris pasižymi didesniu nei 15 dB slopinimu dažnių ruože nuo 1,8 iki 8,8 GHz, o jo matmenys yra 13,2×13,2 mm. Šiuo atveju meandras naudojamas perdavimo linijos ilgiui padidinti. Panašus filtras projektuojamas Ge ir kt. (2010) darbe. Šis filtras, pavaizduotas 5 pav., turi itin plačią užtvaros juostą ir pasižymi didesniu nei 17 dB slopinimu dažnių juostoje nuo 2 iki 14,6 GHz. Filtro matmenys – 11×19 mm.

Mikrojuostelinės meandro formos linijos taip pat naudojamos projektuojant šakotuvus (Jung Gil Yang *et al.* 2006; Meng-Ju Chang *et al.* 2008) ir fazės keitiklius (Bulja, Mirshekar-Syahkal 2010; Bulja *et al.* 2010). Šakotuvą, pavaizduotą 6 pav., sudaro dvi meandrinės linijos, išdėstytos skirtinguose sluoksniuose. Tokie įtaisai gali būti taikomi monolitiniuose mikrobangų integruosiuose grandynuose (maišikliuose, fazės keitikliuose, stiprintuvuose).



5 pav. Žemųjų dažnių filtras su itin plačia užtvaros juosta (Ge *et al.* 2010)
Fig. 5. Lowpass filter with ultra-wide stopband (Ge *et al.* 2010)

Išvados

1. Mikrobangų įtaisuose taikomos įvairių konstrukcijų plačiajuostės planariosios lėtinimo sistemos. Meandrinės LS plačiausiai taikomos kuriant antenas ir filtrus. Šie įtaisai skirti tam tikram dažnių ruožui.
2. Įtaisuose naudojamos meandro atkarpos nėra ilgos, todėl jas tikslinga modeliuoti skaitiniais metodais.
3. Analizės metu būtina atkreipti dėmesį į meandrų sekcijų sujungimus.
4. Meandrinės LS reikia analizuoti dažnių ruože, kuriame pastebimi rezonansiniai reiškiniai ir pasireiškia užtvarinės savybės.
5. Projektuojant mikrobangų įtaisus, naudojami įvairūs dielektriniai pagrindai. Būtina atlikti detalesnę jų įtakos analizę.

Literatūra

- Bulja, S.; Mirshekar-Syahkal, D.; Yazdanpanahi, M.; James, R.; Day, S. E.; Fernandez, F. A. 2010. Liquid crystal based phase shifters in 60 GHz band, in *European Wireless Technology Conference (EuWIT)*, 37–40.
- Bulja, S.; Mirshekar-Syahkal, D. 2010. Meander line millimetre-wave liquid crystal based phase shifter, *Electronics Letters* 46(11): 769–771. <http://dx.doi.org/10.1049/el.2010.3513>
- Burokas, T.; Štaras, S. 2005. Nevienalyčių lovelinių sistemų savybės, *Elektronika ir elektrotechnika* 6(62): 26–31.
- Ge, L.; Wang, J. P.; Guo, Y.-X. 2010. Compact microstrip lowpass filter with ultra-wide stopband, *Electronics Letters* 40(10): 689–691. <http://dx.doi.org/10.1049/el.2010.0357>
- Ghiotto, A.; Vuong, T. P.; Wu, K. 2010. Novel design strategy for passive UHF RFID tags, in *14th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics & the American Electromagnetics Conference*, 1–4.
- Gorur, A.; Karpuz, C. 2007. Miniature dual-mode microstrip filters, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 17(1): 37–39. <http://dx.doi.org/10.1109/LMWC.2006.887249>
- Gurskas, A.; Kirvaitis, R.; Martavičius, R. 1997. Daugialaidžių meandrinų lėtinimo sistemų su sudėtingos formos atvadais modelis, *Elektronika ir elektrotechnika* 4(13): 24–29.
- Jung Gil Yang; Yongsik Jeong; Sunkyu Choi; Kyounghoon Yang. 2006. A new compact 3-D hybrid coupler using multi-layer microstrip lines at 15 GHz, in *36th European Microwave Conference*, 10–15.
- Jurjevas, A.; Martavičius, R.; Urbanavičius, V. 2001. Meandrinų vėlinimo linijų analizė skaitiniais metodais, *Elektronika ir elektrotechnika* 3(32): 47–52.
- Keyeong-Sik Min; Tran Viet Hong; Duk-Woo Kim. 2005. A design of a meander line antenna using magneto-dielectric material for RFID system, in *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*, 4: 4.
- Kleiza, A.; Štaras, S. 1998. Meandrinio laidininko išilginių dalių įtaka, iš *Elektronika '98: Tarptautinės konferencijos medžiaga*, 79–81.
- Martavičius, R.; Jurjevas, A. 1998a. Meandrinų lėtinimo sistemų su kilpų pavidalo papildomais ekranais modelis, iš *Elektronika '98: Tarptautinės konferencijos medžiaga*, 75–78.
- Martavičius, R.; Jurjevas, A. 1998b. Meandrinų lėtinimo sistemų su šukų pavidalo papildomais ekranais modelis, *Elektronika ir elektrotechnika* 3(21): 53–57.
- Martavičius, R.; Jurjevas, A. 2000. Plačiajuosčių mikrojuostelinų meandrinų lėtinimo sistemų savybės, *Elektronika ir elektrotechnika* 5(28): 43–48.
- Martavičius, R.; Jurjevas, A. 2001. Patikslinti plačiajuosčių meandrinų lėtinimo sistemų modeliai, *Elektronika ir elektrotechnika* 5(34): 38–43.
- Martavičius, R.; Urbanavičius, V. 1996. Netolygaus žingsnio daugialaidės linijos, *Elektronika ir elektrotechnika* 4(8): 24–30.
- Martavičius, R.; Urbanavičius, V. 1997. Meandrinų lėtinimo sistemų banginė varža, *Elektronika ir elektrotechnika* 1(10): 14–16.
- Martavičius, R.; Urbanavičius, V. 1998. Ekranų įtaka mikrojuostelinų meandrinų vėlinimo linijų savybėms, *Elektronika ir elektrotechnika* 3(16): 43–47.
- Martavičius, R.; Urbanavičius, V. 1999. Žingsnio netolygumo įtaka meandrinų lėtinimo sistemų savybėms, *Elektronika ir elektrotechnika* 5(23): 65–68.
- Meng-Ju Chiang; Hsien-Shun Wu; Tzuang, C.-K. C. 2008. A CMOS 3-dB directional coupler using edge-coupled meandered synthetic transmission lines, in *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, 771–774.
- Nassar, I. T.; Weller, T. M. 2011. An electrically small meandered line antenna with truncated ground plane, in *Radio and Wireless Symposium (RWS)*, 94–97.
- Pham, N. T.; Gye-An Lee; De Flaviis, F. 2004. Minimized dual-band coupled line antenna for system-in-a-package applications, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 2*: 1451–1454.
- Skudutis, J.; Daškevičius, V. 2001. Bendrausių spiralinių lėtinimo sistemų savybių tyrimas, *Elektronika ir elektrotechnika* 5(34): 32–37.
- Skudutis, J.; Daškevičius, V. 2002. Lėtinimo ir kreipimo sistemos įėjimo varžos tyrimas, *Elektronika ir elektrotechnika* 7(42): 3–7.
- Skudutis, J.; Daškevičius, V. 2006a. Possibilities of applying the Microwave Office program package to the investigation of helical delay systems, in *BEC 2006: Proceedings of the 10th Biennial Baltic Electronics Conference*. Tallin, Estonia, 71–74. <http://dx.doi.org/10.1109/BEC.2006.311063>
- Skudutis, J.; Daškevičius, V. 2006b. Spiralinės lėtinimo sistemos savybių tyrimas programų paketu „MicroWave Studio“, *Elektronika ir elektrotechnika* 1(65): 38–42.
- Skudutis, J.; Daškevičius, V.; Garšva, E. 2004. Microwave Office programų paketo taikymo lėtinimo sistemoms tirti patirtis, *Elektronika ir elektrotechnika* 2(51): 68–73.
- Štaras, S.; Burokas, T. 2003. Nevienalyčių spiralinių sistemų tyrimas, *Elektronika ir elektrotechnika* 1(43): 17–20.
- Štaras, S.; Burokas, T. 2004. Lėtinimo ir kreipimo sistemų ir jų jungių modeliavimas ir tobulinimas, *Elektronika ir elektrotechnika* 1(50): 9–15.

Štaras, S.; Burokas, T. 2006. Kvazisimetrinės spiralinės kreipimo sistemos modelis ir savybės, *Elektronika ir elektrotechnika* 2(66): 68–73.

Wang, J.; Xu, L.-J.; Zhao, S.; Guo, Y.-X.; Wu, W. 2010. Compact quasi-elliptic microstrip lowpass filter with wide stopband, *Electronics Letters* 46(20): 1384–1385.
<http://dx.doi.org/10.1049/el.2010.1569>

APPLICATION OF PLANAR BROADBAND SLOW-WAVE SYSTEMS

E. Metlevskis

Abstract

Different types of planar broadband slow-wave systems are used for designing microwave devices. The papers published by Lithuanian scientists analyze and investigate the models of helical and meander slow-wave systems. The article carefully examines the applications of meander slow-wave systems and presents the areas where similar systems, e.g. mobile devices, RFID, wireless technologies are used and reviewed nowadays. The paper also focuses on the examples of the papers discussing antennas, filters and couplers that contain designed and fabricated meander slow-wave systems.

Keywords: planar broadband slow-wave system, meander slow-wave system, application, antennas, filters.