

### Elektrodinaminių parametų prognozės algoritmas

Skaičiavimų trukmė ilgėja, sprendžiant sudėtingas dispersines lygtis (Plonis, 2014: 218–223; Plonis, 2016: 414–424). Dispersinių lygčių dydis priklauso nuo giroelektrinių bangolaidžių modelių. Didėjant išorinių dielektriko sluoksnių skaičiui, giroelektrinių bangolaidžių modelių dispersinė lygtis sudėtingėja. Esant vienam išoriniam dielektriko sluoksniui giroelektrinių bangolaidžių modelio dispersinė lygtis bus determinantas, kurį sudarys 8 stulpeliai ir 8 eilutės ( $8 \times 8$ ), pridėjus dar vieną papildomą dielektriko sluoksnį dispersinė lygtis padidėja per 4 stulpelius ir 4 eilutes ( $12 \times 12$ ). Tačiau dispersinių lygčių sprendimo ir gautų rezultatų analizės etapai gali būti sutrumpinti, taikant dirbtinių neuronų tinklus (DNT). Bendrasis giroelektrinių bangolaidžių modelių modeliavimo algoritmas pateiktas žemiau (1 algoritmas). Giroelektrinių bangolaidžių modelių modeliavimas gali būti suskirstytas į keturias dalis: A – parametų parinkimas; B – daugiasluoksnių perceptronų tinklo (DPT) mokymo procedūra; C – modeliavimas, taikant DPT; D – rezultatų koregavimas.

---

#### 1 algoritmas. Giroelektrinių bangolaidžių modelių modeliavimo algoritmas

---

- A. Įtaiso parametų parinkimas.
    1. Bangolaidžio modelio tipo nustatymas.
    2. Išorinio dielektriko sluoksnių skaičius (0 arba 1). Kai tiriamas bangolaidis su išoriniu anizotropiniu dielektriku sluoksniu, kurio dielektrinės savybės priklauso nuo temperatūros.
    3. Temperatūra.
    4. Krūvininkų tankis.
  - B. DPT mokymo procedūra.
    1. Įėjimų susiejimas su išėjimais.
    2. DPT mokymas.
    3. Tikrinimas.
  - C. Modeliavimas, taikant DPT.
  - D. Rezultatų koregavimas.
- 

Giroelektrinių bangolaidžių modelių elektrodinaminių parametų prognozėms buvo parinktas daugiasluoksnių perceptronų tinklas. Supaprastintas giroelektrinių bangolaidžių modelių modeliavimo algoritmas pateiktas žemiau (2 algoritmas). Pirmojoje A dalyje renkami pavyzdžiai (giroelektrinių bangolaidžių modelių elektrodinaminiai parametrai) DPT tinklo mokymui. Pavyzdžiai yra renkami sprendžiant dispersines lygtis iteraciniais metodais, pvz., taikant algoritmą, pateiktą straipsnyje (Plonis, 2016: 414–424).

---

#### 2 algoritmas. Supaprastintas giroelektrinių bangolaidžių modelių elektrodinaminių parametų prognozavimo algoritmas

---

- A. Pavyzdžių rinkimas DPT tinklo mokymui.
    - Renkami giroelektrinių bangolaidžių modelių elektrodinaminiai parametrai.
  - B. DPT tinklo mokymas.
    - Konstrukciniais parametrais: išorinio dielektriko sluoksnių skaičius (0 arba 1); temperatūra; krūvininkų tankis.
    - Tinklas apmokomas su surinktais giroelektrinių bangolaidžių modelių elektrodinaminiais parametrais: bangolaidžių darbo dažnių juosta; centriniu bangolaidžių darbo dažniu; bangų silpimo koeficientu ir plačiajuostiškumu.
  - C. DPT tikrinimas.
    - Tinklas tikrinamas su duomenimis, nenaudotais tinklo mokymui. Jei rezultatų tikslumas netenkina. Mokymo procesas kartojamas.
  - D. Modeliavimas, taikant DPT.
    - Jei patikros rezultatai tenkina, tinklas naudojamas elektrodinaminių parametų ( $f_c, \Delta f, \alpha_c, \delta_f^p$ ) prognozavimui.
- 

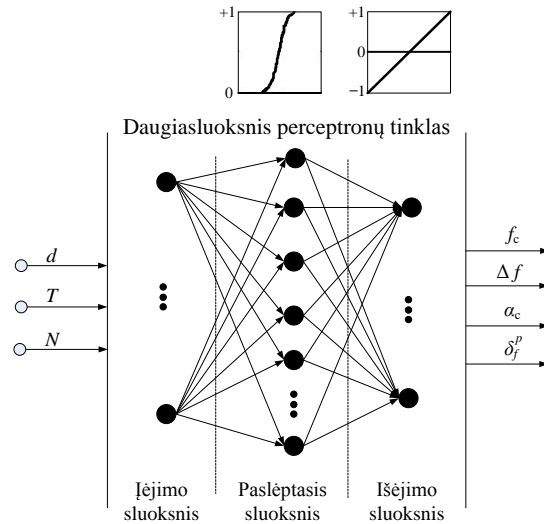
B dalyje yra mokomas DPT tinklas. Pirmiausiai yra pasirenkama tinklo struktūra, kuri priklauso nuo mokymui skirtų duomenų. DPT tinklo struktūra gali būti adaptuota (keičiant neuronų skaičių paslėptajame sluoksnyje). Ji pateikta (1 pav.).

DPT sudaro trys sluoksniai: įėjimo sluoksnis, paslėptasis sluoksnis (jo neuronų svorio koeficientai yra derinami, įvertinant įėjimo duomenis ir taikant konkrečią aktyvavimo funkciją) ir išėjimo sluoksnis. Paslėptajame sluoksnyje taikoma aktyvavimo funkcija:

$$\log \text{sig}(n) = \frac{1}{(1 + e^{-n})}, \quad (1)$$

čia  $n$  – tinklo įėjimų vektorių matrica.

Paslėptojo sluoksnio aktyvavimo funkcija pavaizduota virš paslėptojo sluoksnio (1 pav.). Išėjimo sluoksnio svorio koeficientai yra paslėptojo sluoksnio svorių koeficientų suma ir jame taikoma tiesinė aktyvavimo funkcija, kuri taip pat pateikta virš išėjimo sluoksnio (1 pav.).



**1 pav.** Daugiasluoksnių perceptronų tinklo struktūra  
Šaltinis: sudaryta autorių

2 algoritmo D dalyje yra prognozuojami giroelektrinių bangolaidžių modelių (GeBM) elektrodinaminiai parametrai.

### Dirbtinių neuronų tinklų mokymas

GeBM elektrodinaminių parametų prognozei yra taikomas DPT tinklas. Temperatūra, krūvininkų tankis ir išorinio dielektriko sluoksnio storis, visi šie išvardinti parametrai yra siunčiami į DPT tinklo įėjimą, o išėjime yra tikimasi gauti GeBM elektrodinaminiai parametrai.

Pirmiausiai, naudojant iteracinius metodus, surenkami 36 pavyzdžių rinkiniai, įvertinant GeBM elektrodinaminiai parametrai. Kiekvieną pavyzdžių rinkinį sudaro  $1 \times 3$  įėjimo ir  $1 \times 4$  dydžio tikslo matricos. Bendriausiu atveju didesnės mokymo duomenų pavyzdžių sekos padidina DPT mokymo ir GeBM elektrodinaminių parametų prognozavimo tikslumą. Tačiau, norint užtikrinti patikimą tinklo mokymo procesą ir sumažinti bandymų skaičių, yra svarbu teisingai parinkti duomenis mokymui.

DPT įėjimo sluoksnį sudaro 3 neuronai, atitinkantys: temperatūrą –  $T$ ; krūvininkų tankį –  $N$  ir išorinio dielektriko sluoksnio storį –  $d$ . Išėjime prognozuojami GeBM elektrodinaminiai parametrai: centrinis bangolaidžių darbo dažnis –  $f_c$ ; bangolaidžių darbo dažnių juosta –  $\Delta f$ ; bangų silpimo koeficientas –  $a_c$ , ties centriniu bangolaidžių dažniu; placiajuostiškumas –  $\delta_f^p$ , todėl išėjimo sluoksnį sudaro 4 neuronai. Bendras

įvesties matricos dydis  $36 \times 3$ , bendras tikslo matricos dydis  $36 \times 4$ . DPT paslėptąjį sluoksnį sudaro 3 neuronai, kurių aktyvacijos funkcija yra sigmoidinė, taip pat taikytas atgalinio sklidimo mokymo algoritmas. Išėjimo sluoksnio neuroso aktyvavimo funkcija yra tiesinė. Atliekant mokymą, DPT mokytas su kiekvienu GeBM parametru rinkiniu ( $T$ ,  $N$  ir  $d$ ) po 10 kartų, iš jų išrenkant geriausią variantą, kai prognozės rezultatai mažiausiai skiriasi nuo rezultatų, gautų iteraciniais metodais.

Sukurta metodika leidžia prognozuoti GeBM elektrodinaminiai parametrai. GeBM elektrodinaminiai parametrai gali būti prognozuojami, kai temperatūra  $T = \{125, 150, 175, 200\}$  K; elektronų tankis  $N = \{5 \cdot 10^{18}, 5 \cdot 10^{19}, 5 \cdot 10^{20}\} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = \{0, 3 \cdot 10^{-4}\}$  m, puslaidininkio tipas  $n$ -GaAs, kurio parametrai: elektronų judris priklausomai nuo temperatūros:  $\mu(125 \text{ K}) = 2,04 \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ;  $\mu(150 \text{ K}) = 1,70 \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ;  $\mu(175 \text{ K}) = 1,46 \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ;  $\mu(200 \text{ K}) = 1,28 \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ; efektinė elektronų masė  $m^* = 0,067m_e$  (čia  $m_e$  elektrono masė) ir santykinė  $n$ -GaAs puslaidininkio dielektrinė skvarba  $\epsilon_r = 13,1$ .

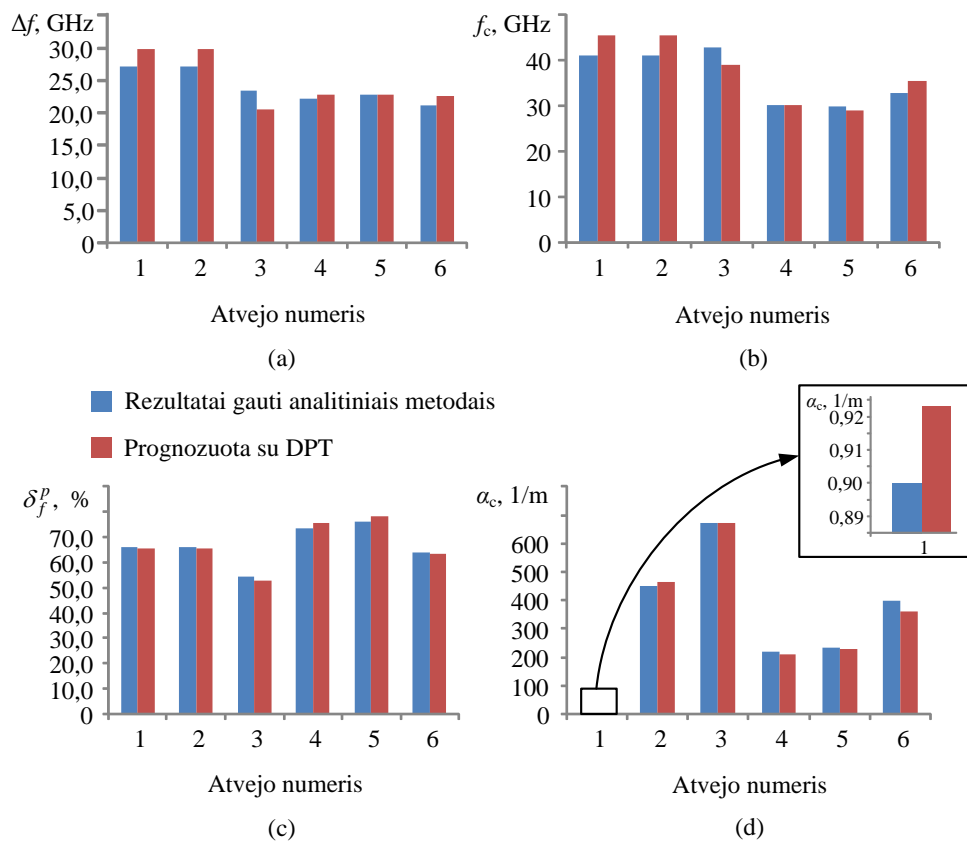
### Rezultatų aptarimas

GeBM elektrodinaminių parametų prognozavimas atliktas šešiais skirtingais atvejais, nepaliekant didelių skirtumų tarp mokymo duomenų ir prognozės rezultatų. Prognozės metu į DPT įėjimus paduotos parametų vertės:

1.  $T = 175 \text{ K}$ ;  $N = 10^{17} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = 0 \text{ m}$  (1 atvejis).
2.  $T = 175 \text{ K}$ ;  $N = 5 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = 0 \text{ m}$  (2 atvejis).
3.  $T = 150 \text{ K}$ ;  $N = 10^{20} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = 0 \text{ m}$  (3 atvejis).
4.  $T = 150 \text{ K}$ ;  $N = 10^{17} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$  (4 atvejis).
5.  $T = 175 \text{ K}$ ;  $N = 5 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$  (5 atvejis).
6.  $T = 150 \text{ K}$ ;  $N = 10^{20} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$  (6 atvejis).

Apskaičiuoti taikant analitinius metodus ir prognozuoti, taikant DPT, GeBM elektrodinaminių parametrų prognozavimo rezultatai pateikti (2 pav.). Iš rezultatų yra matyti, kad didžiausias skirtumas tarp apskaičiuotų ir prognozuotų rezultatų yra gaunamas tuomet, kai yra prognozuojama bangolaidžių darbo dažnių juosta –  $\Delta f$  skirtumas siekia 12,4 %, kai  $T = 150 \text{ K}$ ;  $N = 10^{20} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = 0 \text{ m}$  (3 atvejais), (2 pav., (a)), o mažiausias skirtumas gaunamas, kai  $T = 175 \text{ K}$ ;  $N = 5 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$  (5 atvejais), skirtumas yra tik 0,44 %. Pirmu ir antru tyrimo atvejais skirtumai yra tokie patys, nes bangolaidžių darbo dažnių juostos nepasikeičia.

Prognozuojant centrinį bangolaidžių darbo dažnį –  $f_c$ , didžiausias skirtumas tarp metodų yra 10,7 %, pirmuoju ir antruoju tyrimo atvejais. O mažiausias skirtumas tarp metodų yra gaunamas – 0,17 %, kai  $T = 150 \text{ K}$ ;  $N = 10^{17} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$  (4 atvejais), (2 pav., (b)).



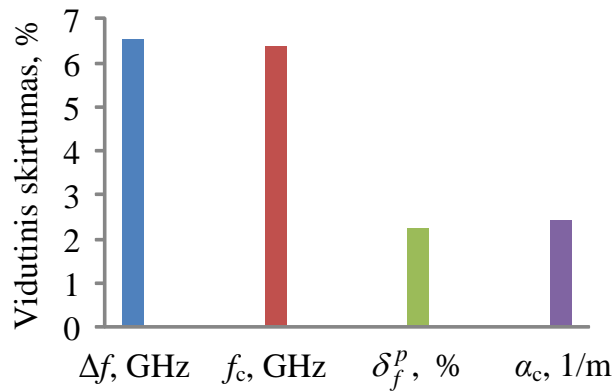
**2 pav.** Rezultatai, gauti skaičiuojant analitiniais metodais ir taikant DPT: (a) – bangolaidžių darbo dažnių juosta; (b) – centrinis bangolaidžių darbo dažnis; (c) – plačiajuostiškumas; (d) – bangų silpimo koeficientas

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Prognozuojant plačiajuostiškumą –  $\delta_f^p$ , didžiausias skirtumas tarp metodų yra 3,3 %, kai  $T = 150 \text{ K}$ ;  $N = 10^{20} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = 0 \text{ m}$  (3 atvejais), (2 pav., (c)), o mažiausias skirtumas gaunamas, kai  $T = 150 \text{ K}$ ;  $N = 10^{20} \text{ m}^{-3}$ ;  $d = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$  (6 atvejais) skirtumas siekia 0,86 %. Toks žymus skirtumų sumažėjimas tarp analitinių ir prognozavimo metodų yra todėl, kad bangolaidžių plačiajuostiškumo parametras yra santykis tarp bangolaidžių darbo dažnių juostos ir centrinio bangolaidžių darbo dažnio, todėl ir skirtumas santykinai sumažėja.

Mažiausias skirtumas yra gaunamas prognozuojant bangų silpimo koeficientą  $\alpha_c$ , ties centrinio bangolaidžių dažniu 4-uoju tyrimo atveju. Šiuo atveju skirtumas siekia tik 0,04 %. Didžiausias skirtumas yra gaunamas 5-uoju tyrimo atveju ir jis pasiekia 5 % ribą (2 pav., (d)).

Vidutiniai skirtumai tarp GeBM elektrodinaminių parametrų rezultatų, gautų taikant analitinius metodus ir prognozuotų su DNT, yra pateikti (3 pav.). Iš pateiktų rezultatų yra matyti, kad didžiausi vidutiniai skirtumai tarp rezultatų yra gaunami, prognozuojant bangolaidžių darbo dažnių juostą (6,53 %) ir centrinį bangolaidžių darbo dažnį (6,36 %). Mažiausi skirtumai gaunami tarp iteracinių analitinių metodų ir prognozavimo metodų, prognozuojant plačiajuostiškumą (2,26 %) ir bangų silpimo koeficientą (2,40 %).



### Elektrodinaminis parametras

**3 pav.** Vidutiniai skirtumai tarp metodų

Šaltinis: sudaryta autorių

GeBM elektrodinaminių parametų skaičiavimas iteraciniais analitiniais metodais ir prognozė, taikant DPT, buvo atlikta, naudojant personalinį kompiuterį kurio parametrai: procesoriaus tipas: Intel® Core™ i5-2410M CPU @ 2,30 GHz; operatyvioji atmintis: 4 GB; vaizdo plokštės tipas NVIDIA® GeForce® GT 520M; vaizdo plokštės atmintis 1 GB.

Skaičiuojant iteraciniais analitiniais metodais bendra skaičiavimo trukmė buvo 60 sekundžių, kai naudojama buvo 50 elektromagnetinės bangos dažnio iteracijų; 5000 elektromagnetinės bangos fazių koeficiento iteracijų; 3000 elektromagnetinės bangos silpimo koeficiento iteracijų. Taikant daugiasluoksnių perceptronų tinklus prognozavimo trukmė yra 0,02 sekundės t. y. 3000 kartų greičiau lyginant su iteraciniais analitiniais metodais.

### Išvados

1. Dirbtinių neuronų tinklai (DNT) gali būti naudojami geroelektrinių bangolaidžių tyrimuose. DNT leidžia sutrumpinti geroelektrinių bangolaidžių su temperatūrai jautriu anizotropiniu dielektriko sluoksniu modeliavimo trukmę ir išspręsti kai kurias specifines problemas, kylančias taikant iteracinius analitinius metodus.
2. Atlikus tyrimą nustatyta, kad sukurtas algoritmas leidžia 3000 kartų greičiau prognozuoti geroelektrinių bangolaidžių su anizotropiniu dielektriko sluoksniu elektrodinaminius parametrus. Vidutinis didžiausias geroelektrinių bangolaidžių su anizotropiniu dielektriko sluoksniu elektrodinaminių parametų prognozavimo skirtumas, lyginant su tradiciniais analitiniais ir skaitiniais metodais gautais rezultatais, yra tik 6,36 %, o mažiausias (2,26 %).
3. Skirtumas tarp prognozuotų ir tradiciniais metodais gautų elektrodinaminių parametų rezultatų svyruoja dėl parinktų mokymo duomenų masių. Siekiant didesnio prognozavimo tikslumo reikia tinkamai pasirinkti žingsnį tarp apmokymo duomenų ir ribines apmokymo duomenų vertes.

### Literatūra

1. Chaturvedi S., Saravanan G. S., Bhat M. K., Bhalke S., Badnikar S. L., Muralidharan R., Koul S. K. 2013. Design and Electrical Characterization of Waferlevel Micro-Package for GaAs-based RFMEMS Switches. *IETE Journal of Research*, 59(1): 201–209.
2. Chen J., Kang X., Liu Y., Wang Z. J. 2015. Median Filtering Forensics Based on Convolutional Neural Networks. *IEEE Signal Processing Letters*, 22(11): 1849–1853.
3. Freire L. B. C., Franca C., Lima E. G. 2014. Low-Pass Equivalent Behavioral Modeling of RF Power Amplifiers Using Two Independent Real-Valued Feed-Forward Neural Networks. *Progress In Electromagnetics Research C*, 52(1): 125–133.
4. Ghayoula E., Ghayoula R., Haj-Taieb M., Chouinard J. Y., Bouallegue A. 2016. Pattern Synthesis Using Hybrid Fourier-Neural Networks for IEEE 802.11 MIMO Application. *Progress In Electromagnetics Research B*, 67(1): 45–58.
5. Yang H., Ye N., Gocalinska A., Manganaro M., Thomas K., Pelucchi E., Roycroft B., Peters F., Corbett B. 2015. High Speed AlInGaAs Quantum Well Waveguide Photodiode for Wavelengths Around 2 Microns. *Indium Phosphide and Related Materials (IPRM) International Conference, Santa Barbara, USA*: 221–224.
6. Kelebekler E., Yener N. 2011. Backward Wave Modes of Partially Plasma Column Loaded Cylindrical Waveguide. *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*: 1084–1088.

7. Liu S., Li L. W., Leong M. S., Yeo T. S. 2000. Theory of Gyroelectric Waveguides. *Progress In Electromagnetics Research*, 29(1): 231–259.
8. Michalski J. J. 2010. Artificial Neural Networks Approach in Microwave Filter Tuning, *Progress In Electromagnetics Research M*, 13(1): 173–188.
9. Nataraj. B, Gayathri. M. D., Deepa. D., Arthi. G. 2016. Small Size Low Loss RF Mems Phase Shifter. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 2(2): 1–3.
10. Plonis D., Mališauskas V. 2014. Giroelektrinių bangolaidžių su anizotropiniu dielektriko sluoksniu tyrimas. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 2: 218–223.
11. Plonis D., Katkevičius A., Mališauskas V., Serackis A., Matuzevičius D. 2016. Investigation of New Algorithms for Estimation of Losses in Microwave Devices Based on a Waveguide or a Meander Line. *Acta Physica Polonica A*, 129(3): 414–424.
12. Rivera-Lavado A., Preu S., García-Muñoz L. E., Generalov A., Montero-de-Paz J., Döhler G., Lioubtchenko D., Méndez-Aller M., Sedlmeir F., Schneidereit M., Schwefel H. G. L., Malzer S., Segovia-Vargas D., Räisänen A. V. 2015. Dielectric Rod Waveguide Antenna as THz Emitter for Photomixing Devices. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 63(3): 882–890.
13. Serrano D. C., Gomez-Diaz J. S., Alù A., Melcón A. A. 2015. Electrically and Magnetically Biased Graphene-Based Cylindrical Waveguides: Analysis and Applications as Reconfigurable Antennas. *IEEE Transactions on terahertz science and technology*, 5(1): 951–960.
14. Sivia J. S., Pharwaha A. P. S., Kamal T. S. 2013. Analysis and Design of Circular Fractal Antenna Using Artificial Neural Networks. *Progress In Electromagnetics Research B*, 56(1): 251–267.
15. Song-Jin. I., Gum-Song H., Da-Jie Y., Zhong-Hua H., Li Z., Nam-Chol K., Il-Gwang K., Qu-Quan W. 2016. Plasmonic Phase Modulator based on Novel Loss-Overcompensated Coupling Between Nanoresonator and Waveguide. *Scientific Reports*: 1–8.
16. Vukomanovic M., Vazquez-Roy J. L., Quevedo-Teruel O., Rajo-Iglesias E., Sipus Z. 2015. Gap Waveguide Leaky-Wave Antenna. *IEEE Transactions on Antennas*, 64(5): 2055–2060.

### **Prediction of electrodinamical parameters of gyroelectric waveguides models using artificial neural networks**

#### **Summary**

Gyroelectric waveguides with or without external layers are usually investigated using traditional analytical and numerical methods. Computation time of this kind of gyroelectric waveguides might take the significant period of time by using one of these traditional methods. The calculation time may have a lot of influence to the overall investigation time because module design and calculation may be necessary to repeat many times until the right model of gyroelectric waveguide will be found. The artificial neural networks (ANN) were adjusted for the investigation of gyroelectric *n-GaAs* waveguides in order to save investigation time in this paper. Differences between results, calculated with traditional and predicted with ANN methods, do not differ by more than 6.5% in our investigation. The input parameters of ANN are: type of external layer, temperature  $T$  and density of impurities  $N$ . The predicted parameters are: the central operating frequency  $f_c$ , working frequency band  $\Delta f$ , wave attenuation coefficient  $\alpha_c$  and bandwidth  $\delta$ . These differences do not affect the final operation of the waveguide. On the other hand prediction using ANN is performed about 3000 times faster than using traditional methods.

**Key words:** Numerical calculations, frequency characteristics, waveguide, neural networks.

#### **AUTORIŲ LYDRAŠTIS**

**Autoriaus vardas, pavardė:** Darius Plonis.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras.

**Darbo vieta ir pozicija:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto Elektroninių sistemų katedros docentas.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto Telekomunikacijų mokslo instituto direktorius.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** mikrobangų ir aukštųjų dažnių technologijos, signalų apdorojimo technologijos, multimedija, įterptinės sistemos.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 5 251 2145, [darius.plonis@vgtu.lt](mailto:darius.plonis@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Audrius Krukonis.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras.

**Darbo vieta ir pozicija:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto Elektroninių sistemų katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** mikrobangų ir aukštųjų dažnių technologijos, įterptinės sistemos.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 5 274 4766, [audrius.krunkonis@vgtu.lt](mailto:audrius.krunkonis@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Andrius Katkevičius.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras.

**Darbo vieta ir pozicija:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto Elektroninių sistemų katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** mikrobangų ir aukštųjų dažnių technologijos, įterptinės sistemos.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 5 274 4766, [andrius.katkevicius@vgtu.lt](mailto:andrius.katkevicius@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Dalius Matuzevičius.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto Elektroninių sistemų katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** mašinių mokymasis.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 5 274 4766, [dalius.matuzevicius@vgtu.lt](mailto:dalius.matuzevicius@vgtu.lt)

#### **A COVER LETTER OF AUTHORS**

**Author name, surname:** Darius Plonis.

**Science degree and name:** doctor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics Department of Electronic Systems associated professor.

Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics Telecommunications Science Institute the head of institute.

**Author's research interests:** microwaves and high frequency technologies, signal processing technologies, multimedia and embedded systems.

**Telephone and e-mail address:** 8 5 251 2145, [darius.plonis@vgtu.lt](mailto:darius.plonis@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Audrius Krukoniš.

**Science degree and name:** doctor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics Department of Electronic Systems associated professor.

**Author's research interests:** microwaves and high frequency technologies, embedded systems.

**Telephone and e-mail address:** 8 5 274 4766, [audrius.krukoniš@vgtu.lt](mailto:audrius.krukoniš@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Andrius Katkevičius.

**Science degree and name:** doctor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics Department of Electronic Systems associated professor.

**Author's research interests:** microwaves and high frequency technologies, embedded systems.

**Telephone and e-mail address:** 8 5 274 4766, [andrius.katkevicius@vgtu.lt](mailto:andrius.katkevicius@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Dalius Matuzevičius.

**Science degree and name:** doctor, associated professor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics Department of Electronic Systems associated professor.

**Author's research interests:** machine learning.

**Telephone and e-mail address:** +370 5 274 4766, [dalius.matuzevicius@vgtu.lt](mailto:dalius.matuzevicius@vgtu.lt)

# MAGNETOREOLOGINIŲ SKYSČIŲ DARBO REŽIMAI BEI JŲ DIEGIMAS ĮRENGINIUOSE

Viktorija Mačiukienė, Rasa Muleravičienė

*Kauno technikos kolegija*

## **Anotacija**

Sumanių skysčių „atstovai“ magnetoreologiniai ir elektreologiniai skysčiai (MRS ir ERS) vis plačiau naudojami įvairiuose mechatroniniuose įrenginiuose. Naudojant šiuos skysčius gali būti sumažintos energijos sąnaudos ir masė bei padidėti reikiami greičiai bei prietaisų tarnavimo laikas. Tokie mechanizmai pradedami naudoti ypač svarbiose, su gyvybės saugumu susijusiose sistemose, tokiose kaip automobilių pakabos elementai, smūgių ribotuvai ir t.t. Šie skysčiai yra labai perspektyvi ir inovatyvi medžiaga.

**Reikšminiai žodžiai:** Magnetoreologiniai skysčiai, elektreologiniai skysčiai, darbo režimai, magnetoreologinis stabdis.

## **Įvadas**

MR skysčių atradimas ir išvystymas priskiriamas Jacob'ui Rainbow'ui, dirbusiam Jungtinių Valstijų standartų biure. XX amžiaus 4-5 dešimtmetyje šis mokslininkas ištyrė ir aprašė pagrindines formuluotes, kurios pasiteisino ir išliko iki šių dienų. MR skysčiai priklauso valdomo klampumo skysčių grupei. Svarbiausia šių skysčių charakteristika – jų savybė iš laisvai plaukiančių skysčių pavirsti į tirštus, paveikus juos magnetiniu lauku. Šiuo metu sukurta daug įrenginių su MRS – tai movos, stabdžiai, slopintuvai ir kt. Pagrindinė šių skysčių savybė yra iš skystos būsenos pavirsti į kietą kelių milisekundžių bėgyje. Takumas yra valdomas keičiant magnetinio lauko stiprumą. Šie skysčiai dar nėra iki galo ištirti. Dar iki dabar yra kuriami vis naujesnės cheminės sudėties ir skirtingų fizikinių savybių skysčiai, laboratorijose atliekami įvairūs tyrimai ir bandymai panaudojimui įvairiuose prietaisuose.

Nustatyti faktiniai duomenys ir keliamos hipotezės leidžia teigti, kad šie skysčiai yra tobulintini ir labai svarbūs naujų, kompaktiškesnių konstrukcijų gamyboje.

**Mokslinio tyrimo tikslas** - magnetoreologinių skysčių analizė ir tobulinimas.

**Mokslinio tyrimo uždaviniai:**

1. Atlikti reologinių skysčių palyginamąją analizę.
2. Ištirti magnetoreologinių skysčių reologiją bei pritaikomumo spektrą.
3. Ištirti ir sugrupuoti pagrindinius magnetoreologinių prietaisų darbo režimus.
4. Remiantis reikiamu darbo režimu, atlikti magnetoreologinio stabdžio veikimo tyrimą.

## **Magnetoreologinių ir elektreologinių skysčių palyginimas**

Pirmiau buvo atrasti ir paminėti magnetoreologiniai (MR) skysčiai, bet atsiradus elektreologiniams (ER) skysčiams buvo manoma, kad jie geresni ir MR skysčiai buvo kuriam laikui pamiršti dėl jų neigiamos savybės – sedimentacijos. Bet vėliau, vėl imta juos tyrinėti ir paaiškėjo, kad jie turi labai daug teigiamų savybių ir šiomis dienomis jie yra ženkliai pirmaujantys praktiniam pritaikyme. Pagrindinis ER ir MR skysčių skirtumas yra tas, kad dalelės yra sužadinamos skirtingai: ER skysčiuose jas sužadina elektrinis laukas, o MR skysčiuose jos yra sužadinamos paveikus jas magnetiniu lauku. ER skysčiams yra naudojama žema srovė ir aukšta įtampa. MR skysčiams yra naudojama aukšta srovė ir žema įtampa t.y. aukštą elektros srovę tiekiant ritės apvijomis sukuriamas magnetinis laukas, tam, kad poliarizuotų daleles. Šiuo atžvilgiu MR skysčiai yra pranašesni, kadangi naudojant žemesnę įtampą sistema yra saugesnė bei pigesnė. Šių skysčių cheminės ir fizinės sudėtys yra labai panašios, bet truputi ir skirtingos. Kaip jau buvo minėta, viena pagrindinių MR skysčių neigiamų savybių yra skysčio sedimentacija – t.y. reikšmingam dalelių kiekiui sutirštėjus yra sudėtinga jas vėl išsklaidyti. Abiem skysčiams priskiriama neigiama savybė yra ta, kad juose dažnai naudojamas organinis nešantysis skystis. Organiniai skysčiai turi problemų su spartesniu skysčių susidėvėjimu, polinkiu į degumą, bakterijų vystymusi ir augimu, sunkiau suderinami su kitomis reologinių skysčių sudedamosiomis dalimis [1].

MR skysčiai yra daug plačiau taikomi praktikoje, nei ER skysčiai. Svarbiausi prietaisų, kuriose naudojami šie skysčiai, pranašumai yra tie, kad jie pasižymi greitaveika ir plačiu kontrolės diapazonu. Dar labai svarbi priežastis, kodėl šie skysčiai tampa vis populiareni, - tai minimalus tiekiamos galios išekvojimas. Tiesiogiai palyginti šių skysčių privalumus ir trūkumus yra pakankamai sudėtinga, bet vienas ryškesniu pranašumų lyginant skysčius yra tas, kad MR skysčiai yra nuo 20 iki 50 kartų „stipresni“, nei ER skysčiai. Jie gali priešintis daug didesnėms jėgoms, nei ER skysčiai. Tai reiškia, kad galime naudoti mažesnę įtampą tam pačiam efektui pasiekti įtempimai gali būti didinami, didinant magnetinių dalelių kiekį arba magnetinio lauko intensyvumą. Didesnė dalelių gausa padidina skysčio klampumą, o pastarųjų skysčių