

# Uticaj rasporeda jediničnih elemenata na analizu planarnih struktura modeliranih dvodimenzionalnim talasnim digitalnim elementima

Miodrag V. Gmitrović i Biljana P. Stošić, *Member, IEEE*

**Sadržaj** — U radu je prikazan uticaj rasporeda i broja jediničnih elemenata (JE) na tačnost i složenost analize planarnih struktura modeliranih dvodimenzionalnim (2D) talasnim digitalnim elementima. Kalemovi se modeliraju dvoprstavnim talasnim JE, a kondenzatori četvoroprstavnim talasnim digitalnim elementima. Analizirana su dva modela sa četiri i jedan model sa dva JE. Analiza se vrši u  $t$  i  $f$ -domenu, a verifikacija je izvršena na jednom primeru mikrostrip  $T$ -strukture.

**Ključne reči** — Mikrostrip strukture, talasni digitalni elementi.

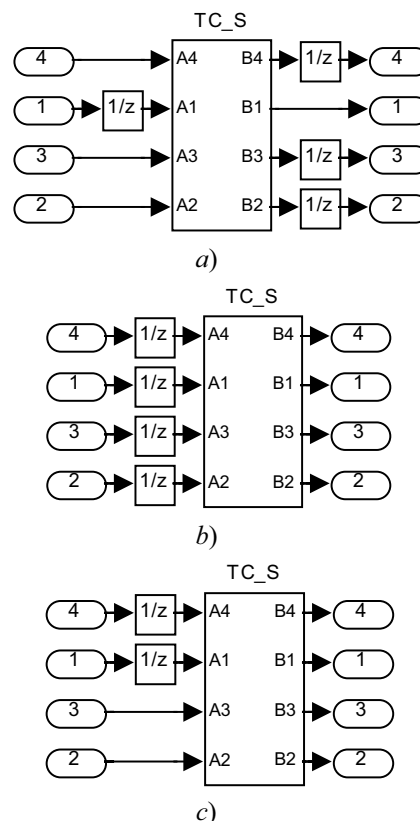
## I. UVOD

MODELIRANJE planarnih struktura talasnim digitalnim elementima, zasnovano na poznatoj teoriji talasnih digitalnih filtara [1]-[4], efikasno se može iskoristiti za analizu ovih struktura u  $t$ -domenu i  $f$ -domenu. Mikrotalasne planarne strukture se mogu modelirati jednodimenzionalnim (1D) [5]-[7] i dvodimenzionalnim (2D) [8]-[9] talasnim digitalnim elementima. Planarne strukture se u radovima [5]-[9] aproksimiraju kaskadnom vezom složenih talasnih LC digitalnih elemenata. Talasnim digitalnim jediničnim elementima (JE) se modeliraju induktivnosti u rednim granama, a talasnim dvoprstavnim [5] ili četvoroprstavnim [8] elementima se modelira kondenzator u paralelnoj grani. U radovima [8]-[9] koristi se četvoroprstavni model sa četiri JE prikazan na slici 1a.

U ovom radu se ispituje uticaj rasporeda i broja digitalnih JE, odnosno linija za kašnjenje, na složenost digitalne mreže, tačnost i vreme izračunavanja odziva. Porede se rešenja za izbor LC talasnih digitalnih elemenata kao na slici 1. Najpre se porede modeli sa četiri linije za kašnjenje dati na slici 1a i slici 1b. Složenost digitalne mreže je u oba slučaja ista i vreme izračunavanja odziva je jednako. U slučaju modela sa slike 1b ukupno kašnjenje odziva u  $t$ -domenu je upola manje. Zatim se poredi model sa dve linije za kašnjenje prikazan na slici 1c sa modelom sa četiri linije za kašnjenje koji je dat na slici 1b. U slučaju modela sa dve linije za kašnjenje složenost digitalne mreže je manja, kašnjenje odziva u  $t$ -domenu je upola manje i vreme izračunavanja odziva je upola kraće.

M. V. Gmitrović, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš, Srbija (telefon: +381-18-529-401; faks: +381-18-588-399; e-mail: gmitrovic@elfak.ni.ac.yu).

B. P. Stošić, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš, Srbija (telefon: +381-18-529-303; faks: +381-18-588-399; e-mail: bilja@elfak.ni.ac.yu).



Sl. 1. LC talasni digitalni elementi sa:

- linijama za kašnjenje na ulazu 1 i izlazima 2, 3 i 4,
- linijama za kašnjenje na svim ulazima i
- linijama za kašnjenje na ulazima 1 i 4.

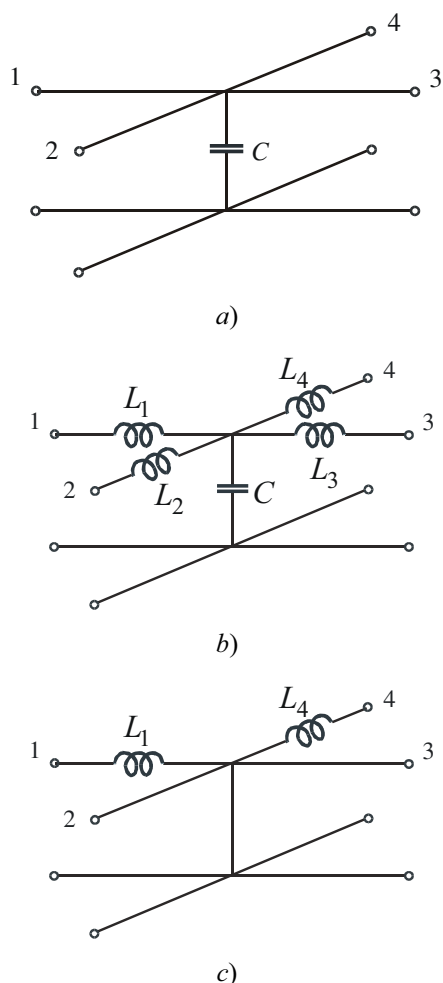
Odziv u talasnim digitalnim kolima se računa standardnim MATLAB programima *dlinmod.m*, *dimpulse.m* i *fft.m*. Talasni digitalni elementi se formiraju korišćenjem Simulink programa 'ime\_modela'.mdl.

Predloženim postupcima analizirana je jedna planarna mikrotalasna  $T$ -struktura modelirana predloženim LC talasnim digitalnim elementima.

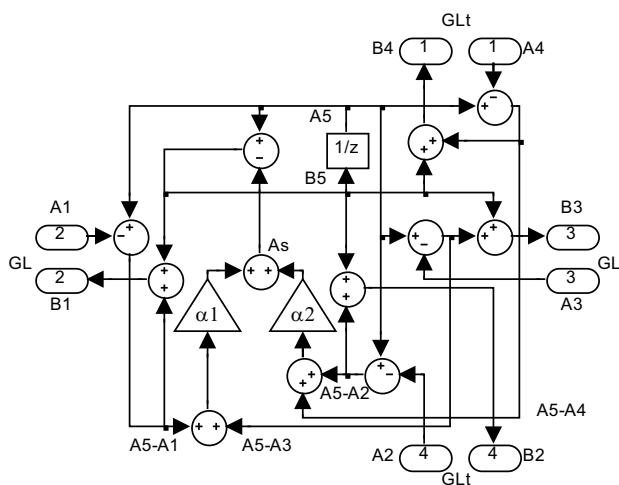
## II. OSNOVNI 2D TALASNI DIGITALNI MODELI

Uniforman LC vod bez gubitaka poznatih parametara može se modelirati kaskadnom vezom u longitudinalnom i transversalnom smeru LC talasnim digitalnim elementima [8]-[9]. Kondenzator u paralelnoj grani, slika 2a, predstavljen je talasnom digitalnom šemom na slici 3. Kalemovi u rednim granama, slike 2b i 2c, modeliraju se talasnim digitalnim JE. Opšti simboli za četvoroprstavne

talasne digitalne elemente sa različitim brojem i rasporedom linija za kašnjenje predstavljene su na slici 1. LC talasni digitalni elementi prikazani na slikama 1a i 1b odgovaraju mreži na slici 2b, a LC talasni digitalni element na slici 1c odgovara mreži na slici 2c.



Sl. 2. Četvorprilazne analogne mreže:  
a) kondenzator u paralelnoj grani;  
b) LC analogna mreža sa četiri kalema i  
c) LC analogna mreža sa dva kalema.



Sl. 3. Četvorprilazni središnji talasni digitalni element (TC<sub>S</sub>) za kondenzator u paralelnoj grani.

Četvorprilazni talasni digitalni element na slici 3 predstavlja središnji model za kondenzator u paralelnoj grani sa simetrijom u transverzalnom smeru, pristupi 1 i 4 sa admitansama pristupa  $GL_t$ , i u longitudinalnom smeru, pristupi 2 i 3 sa admitansama pristupa  $GL$ . Za digitalno kolo sa slike 3 jednačine za talasne promenljive u  $z$ -domenu su

$$B_k = (1 + z^{-1})[\alpha_1(A_1 + A_3) + \alpha_2(A_2 + A_4)] - A_k + [1 - 2(\alpha_1 + \alpha_2)](A_k + B_k)z^{-1} \quad (1)$$

gde je  $k = 1, 2, 3$  i  $4$  i u  $t$ -domenu su

$$b_k(n) = \alpha_1[a_1(n) + a_3(n)] + \alpha_2[a_2(n) + a_4(n)] - a_k(n) + \alpha_1[a_1(n-1) + a_3(n-1)] + \alpha_2[a_2(n-1) + a_4(n-1)] + [1 - 2(\alpha_1 + \alpha_2)][a_k(n-1) + b_k(n-1)] \quad (2)$$

gde je  $n = 0, 1, 2, \dots$ ,  $a_k(-1) = b_k(-1) = 0$  i  $k = 1, 2, 3$  i  $4$ . Promenljive  $A_k$  i  $B_k$  su incidentne i reflektovane talasne promenljive, a koeficijenti množača su dati relacijama

$$\alpha_1 = \frac{2GL}{2GL + 2GL_t + GC} \quad (3)$$

i

$$\alpha_2 = \frac{2GL_t}{2GL + 2GL_t + GC} \quad (4)$$

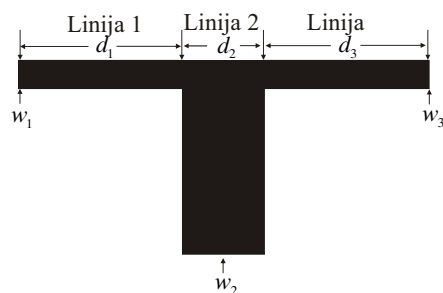
gde je  $GC$  admitansa pristupa kondenzatora.

LC talasni digitalni model sa slike 1a analiziran je u radovima [8]-[9]. Novi model sa četiri talasna digitalna JE predstavljen je na slici 1b, a sa dva na slici 1c.

U narednom poglavlju izloženi su uporedni rezultati analize za sve pobrajane modele. Analiza je izvršena na jednom reprezentativnom primeru mikrotalasne planarne  $T$ -linije.

### III. PRIMER ANALIZE ZA $T$ -LINIJU

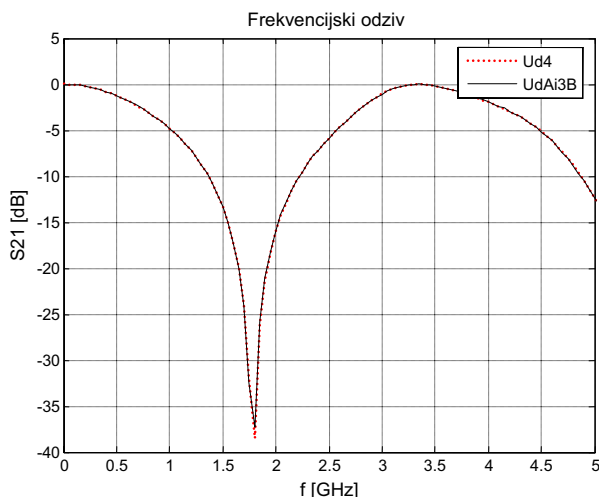
Uporedna analiza izvršena je na primeru iz rada [9], prikazanom na Slici 4, poznate dielektrične konstante  $\epsilon_r = 2.32$  i visine  $h = 1.58$  mm. Širine i dužine linija su:  $w_1 = w_3 = 4.71$  mm,  $w_2 = 34.71$  mm,  $d_1 = d_3 = 30$  mm i  $d_2 = 15.76$  mm. Otpornost od  $50\Omega$  priključena je na pristupnim krajevima.



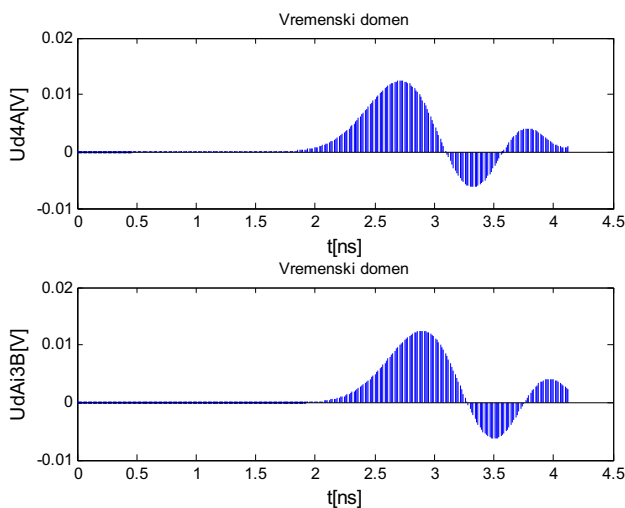
Sl. 4. Mikrostrip  $T$ -struktura.

Homogena planarna struktura sa slike 4 se analizira kao kaskadna veza tri linije. Linije 1 i 3 se aproksimiraju kaskadnom vezom talasnih digitalnih elemenata sa 3 elementa u transverzalnom i 5 elementa u longitudinalnom smeru. Linija 2 se aproksimira kaskadnom vezom talasnih digitalnih elemenata sa 22 elementa u transverzalnom i 3 elementa u longitudinalnom smeru. Talasna digitalna mreža za  $T$ -liniju formira se kao u radu [9].

Na slikama 5 i 6 prikazan je odziv u  $f$  i  $t$ -domenu za slučaj da je LC talasni digitalni element kao onaj na slici 1a i slici 1b. Frekvencija odabiranja u oba slučaja je  $F_o = 500$  GHz. Krive u  $f$ -domenu se poklapaju. Krive u  $t$ -domenu su po obliku iste ali sa različitim kašnjenjem odziva. U slučaju kada su linije za kašnjenje na ulazima kašnjenje iznosi  $12T$ , gde je  $T = 1/F_o$ , a za slučaj kada je jedna linija za kašnjenje na ulazu i tri na izlazima kašnjenje iznosi  $24T$ . U oba slučaja složenost mreže je ista pa je i vreme izračunavanja odziva isto. Na osnovu ove analize zaključuje se da treba izabrati model sa slike 1b.

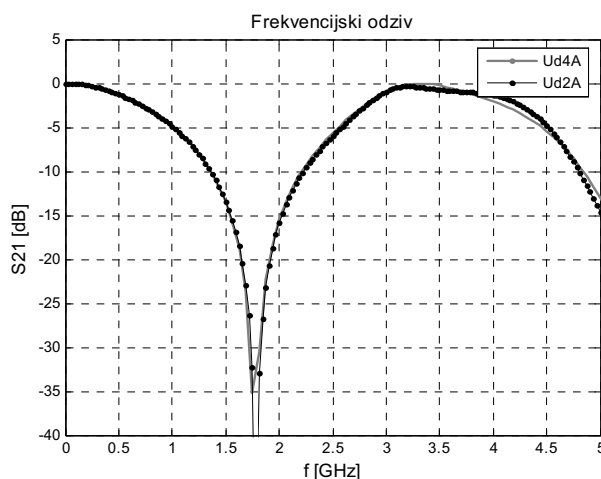


Sl. 5. Grafik odziva u  $f$ -domenu: UdAi3B za model sa slike 1a; Ud4A za model sa slike 1b.

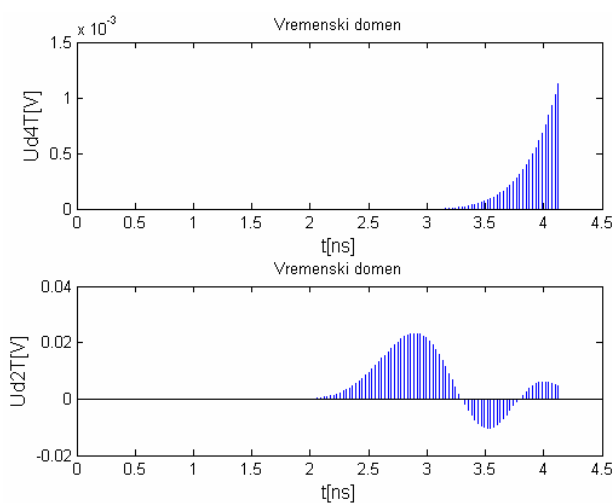


Sl. 6. Grafik odziva u  $t$ -domenu: UdAi3B za model sa slike 1a; Ud4A za model sa slike 1b.

LC talasni model sa četiri linije za kašnjenje sa slike 1b poredi se sa modelom sa dve linije za kašnjenje sa slike 1c. Složenost analizirane mreže u slučaju modela sa slike 1c je manja te je i vreme izračunavanja odziva manje. Model sa četiri linije za kašnjenje se analizira za frekvenciju odabiranja  $F_{o1} = 500$  GHz i ukupno vreme za pripremu digitalne mreže programom *dlinmod.m* i izračunavanje odziva u  $f$  i  $t$ -domenu iznosi oko 20s. Model sa dve linije za kašnjenje se analizira za upola manju frekvenciju odabiranja  $F_{o2} = 250$  GHz i ukupno vreme za pripremu digitalne mreže programom *dlinmod.m* i izračunavanje odziva u  $f$  i  $t$ -domenu iznosi oko 8s. Na slikama 7 i 8 prikazan je odziv u  $f$  i  $t$ -domenu za oba slučaja. Obe krive u  $f$ -domenu na opsegu (0-3)GHz se poklapaju, a neznatno odstupaju na opsegu (3-5)GHz. Otpornosti pristupa JE za kalemove u rednim granama modela sa dve linije za kašnjenje je dvostruka veća u odnosu na model sa četiri linije za kašnjenje. Može se zaključiti da treba koristiti LC talasni digitalni model sa dve linije za kašnjenje jer je mreža manje složena i ukupno vreme izračunavanja odziva kraće.



Sl. 7. Grafik odziva u  $f$ -domenu: Ud4A za model sa slike 1b; Ud2A za model sa slike 1c.



Sl. 8. Grafik odziva u  $t$ -domenu: Ud4A za model sa slike 1b; Ud2A za model sa slike 1c.

#### IV. ZAKLJUČAK

U radu su prikazana tri LC 2D talasna digitalna elementa sa različitim rasporedom i brojem linija za kašnjenje. Ovi modeli su iskorišćeni za modeliranje složene mikrotalasne planarne strukture. Složena talasna digitalna mreža je analizirana u MATLAB-u standardnim programima *dlinmod.m*, *dimpulse.m* i *fft.m*. Digitalna mreža sačinjena od LC talasnih digitalnih elemenata fomirana je Simulink programom 'ime\_modela'.mdl. Na osnovu uporedne analize mikrostrip *T*-strukture poznatih električnih i fizičkih karakteristika, pokazano je da treba koristiti LC talasni digitalni element sa dve linije za kašnjenje jer je u tom slučaju kompletna digitalna mreža najmanje složena, ukupno vreme izračunavanje odziva je najkraće, a tačnost izračunatog odziva je velika.

#### LITERATURA

- [1] A. Fettweis, "Digital Circuits and Systems", IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol. CAS-31, No. 1, January, 1984, pp. 31-48.
- [2] A. Fettweis, "Wave Digital Filters: Theory and Practice", Proc. IEEE, Vol. 74, pp. 270-327, 1986.
- [3] W. K. Chen, *The Circuits and Filters Handbook*, CRC Press, 1995. (Wave Digital Filters, pp. 2634-2661).
- [4] Lj. Milić i M. Đurić, *Rekurzivni digitalni filtri*, Beograd, 1982.
- [5] M. Gmitrović, B. Stošić and A. Đorđević, "Modeliranje 1D struktura talasnim digitalnim elementima", L Konferencija ETRAN, Srbija, Beograd, 6-8. jun 2006, Sveska II, str. 317-320.
- [6] M.V. Gmitrović i B.P. Stošić, "Analysis of Planar Structures Modeled by Wave 1D Digital Elements", 14. Telekomunikacioni forum – TELFOR 2006, Srbija, Beograd, 21-23. novembar 2006, str. 418-421.
- [7] B.P. Stošić and M.V. Gmitrović, "Implementation of Wave Digital Model in Analysis of Arbitrary Nonuniform Transmission Lines", Microwave and Optical Technology Letters, 2007, Vol. 49, No. 9, September 2007, pp. 2150-2153.
- [8] B. Stošić, M. Gmitrović and M. Veljković, "Modeliranje 2D struktura talasnih digitalnih elementima", L Konferencija ETRAN, Srbija, Beograd, 6-8. jun 2006, Sveska II, str. 321-324.
- [9] B. P. Stošić and M. V. Gmitrović, "Generating of Basic Wave Digital Elements for Modeling of Two-dimensional Planar structures", XLII Intern. Scientific Conf. ICEST 2007, Makedonija, Ohrid, 24-27. jun 2007, str. 309-312.

#### ABSTRACT

Influence of UE arrangement and their number on accuracy and complexity of analysis of planar structures modeled by 2D wave digital elements is shown in this paper. Inductors are modeled by two-port wave UE and capacitors by four-port wave digital elements. Here, two models with four UE and one model with two UE are analysed. Analysis is done in *t* and *f*-domains, and verification is done on one microstrip *T*-junction.

#### INFLUENCE OF UNIT ELEMENT ARRANGEMENT ON ANALYSIS OF PLANAR STRUCTURES MODELED BY TWO-DIMENSIONAL WAVE DIGITAL ELEMENTS

Miodrag V. Gmitrović, Biljana P. Stošić