

# Nova klasa štampanih antenskih struktura

Aleksandar Nešić

Institut za mikrotalasnu tehniku i elektroniku, Beograd, Jugoslavija

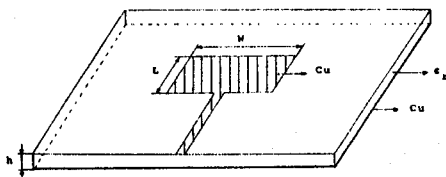
## Sadržaj

Prikazane su štampane antenske strukture sa dipolima na drugoj rezonansi (antirezonansi) napajani koplanarnim vodovima (CPS). Prikazane su takođe i komplementarne strukture, odnosno prorezi napajani koplanarnim talasovodom (CPW) kao i aktivne antenske strukture na bazi proreza napajanih koplanarnim talasovodom. Prikazane strukture imaju niz prednosti u odnosu na konvencionalne mikrostrip antene sa patch-evima: veći propusni opseg, manje gubitke u napojnim vodovima, veće mogućnosti projektovanja antenskih nizova sa tejerovanom raspodelom, veće slabljenje ukrštene polarizacije i veće mogućnosti primene u integrisanim antenskim strukturama. Prikazane su takođe i metode za analizu ovih struktura.

## Uvod

Istraživanje, razvoj i primena štampanih antena, čijem skupu pripadaju i tzv. mikrostrip antene, doživljava snažnu ekspanziju poslednjih petnaestak godina. Razlozi su mnogobrojni:

- skupa i spora mašinska obrada kod izrade konvencionalnih antena se zamenjuje fotolitografskim postupkom koji je jeftiniji, precizniji, ekonomičniji i obezbeđuje bolju reproducibilnost;
- manja težina;
- manje dimenzije - planarne strukture minimalnih debljina;
- pogodnost za integraciju sa mikrostrip i ostalim planarnim mikrotalasnim kolima.



Slika 1. Mikrostrip antena sa patch-evima.

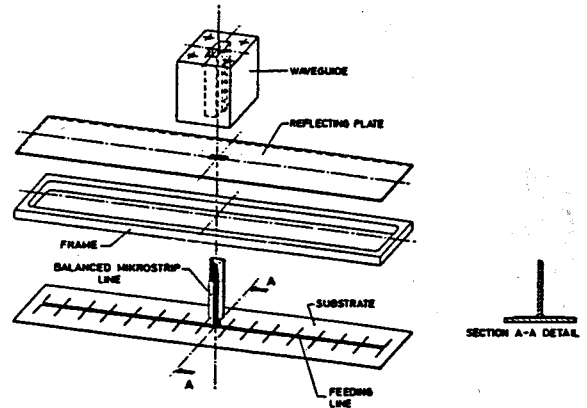
Najčešće korišćen tip štampanih antena su mikrostrip antene sa patch-evima, sl. 1., koje, međutim, imaju značajne nedostatke:

- uzan propusni opseg;
- velike gubitke u napojnim mrežama (naročito kod većih nizova);
- malo slabljenje ukrštene polarizacije;

- male mogućnosti tejerovanja, odnosno formiranja antenskih nizova sa znatnijim potiskivanjem bočnih listova.

## Antenske strukture sa štampanim dipolima

Krajem sedamdesetih i početkom osamdesetih godina u tadašnjem Institutu za primenjenu fiziku radi se na istraživanju novih štampanih antenskih struktura, odnosno antenskih nizova, u cilju otklanjanja nedostataka konvencionalnih mikrostrip antena sa patch-evima. Rezultat ovih istraživanja su strukture koje do tada nisu korišćene: nizovi trakastih dipola koji rade na drugoj rezonansi napajani koplanarnim vodom<sup>1</sup>.

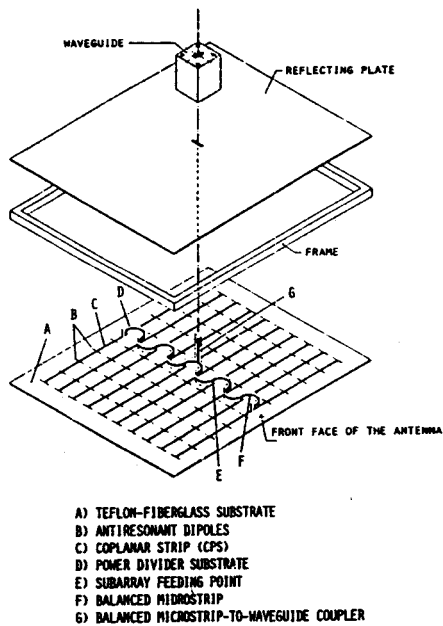
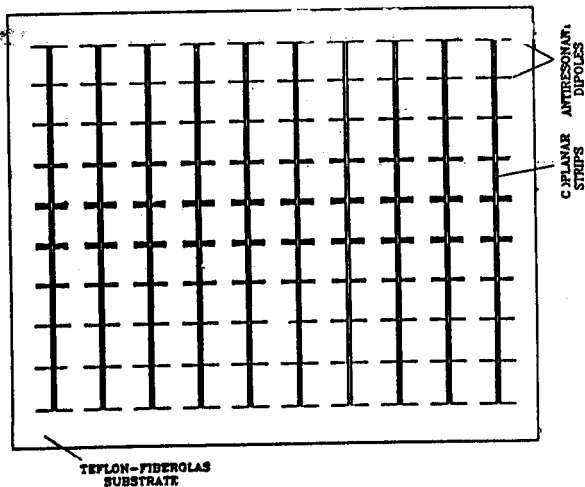


Slika 2. Niz trakastih dipola napajanih koplanarnim vodom.

Koplanarni vod se na sredini niza napaja preko prelaza talasovod-simetrični mikrostrip vod, sl. 2. Iza niza nalazi se provodna reflektorska ravan. Kod ove strukture izbegnuti su skoro svi nedostaci konvencionalnih antena sa patch-evima:

- proširen je propusni opseg, pošto dipoli na drugoj rezonansi imaju relativno sporu promenu impedanse sa frekvencijom;
- gubici u koplanarnim vodovima su znatno smanjeni (posebno gubici u dielektriku) u odnosu na gubitke u mikrostrip vodovima;
- dobijeno je veće slabljenje ukrštene polarizacije pošto se radi o idealno simetričnoj - balansiranoj strukturi;
- iskorišćena je osobina dipola na drugoj rezonansi je da im se impedanse mogu menjati u veoma širokim granicama promenom širine trake što omogućava projektovanje štampanih nizova dipola sa relativno velikim odnosima tejerovanja, odnosno velikim potiskivanjem bočnih listova.

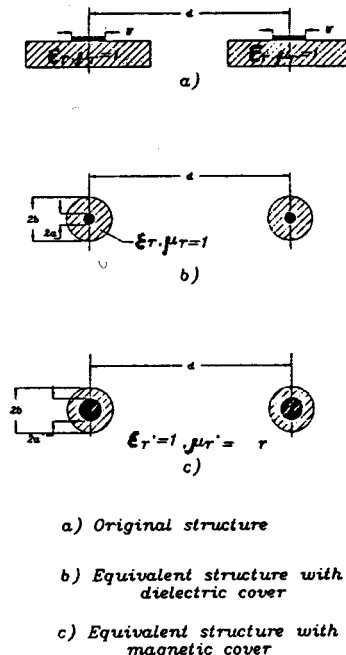
Pored linearnih nizova štampanih dipola na drugoj rezonansi napajanih koplanarnim vodom, projektovani su i realizovani dvodimenzionalni nizovi sa uniformnom raspodelom kao i dvodimenzionalni nizovi sa teperovanom raspodelom<sup>2</sup>, sl. 3.



Slika 3. Dvodimenzionalni niz sa teperovanom raspodelom: a) štampana ploča; b) izgled otvorenog sklopa antene.

Prvi nizovi su projektovani sa relativno grubim aproksimacijama, na taj način što je do tada poznatim metodama računat niz trakastih dipola u homogenoj sredini (bez dielektrika) dok je korekcija zbog uticaja dielektrika na karakteristike dipola određivana empirijski. Početkom osamdesetih godina je u našem Institutu razvijena teorija ekvivalencije, odnosno transformacije štampanih trakastih dipola u ekvivalentne dipole kružnog poprečnog preseka sa dielektričnom ili magnetnom prekrivkom<sup>3,4,5</sup>, sl. 4., koji se mogu analizirati poznatim metodama. Ovo je omogućilo vrlo precizno

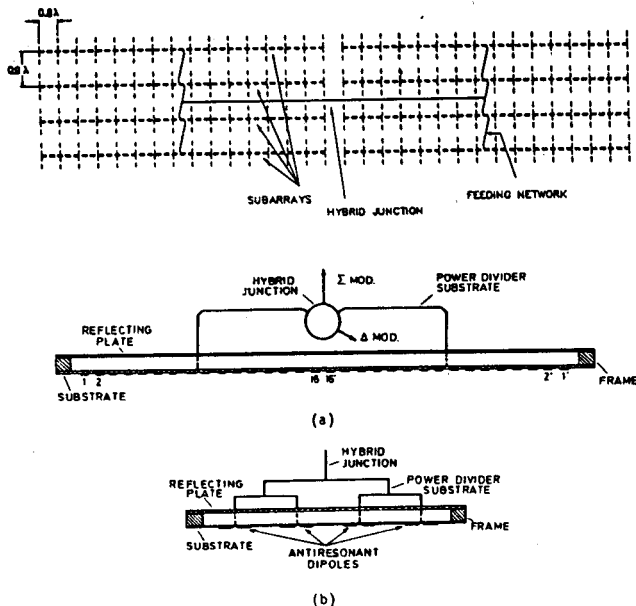
projektovanje štampanih dipola kao i nizova sa štampanim dipolima na dielektričnoj podlozi.



Slika 4. Transformacije štampanih trakastih dipola u ekvivalentne dipole kružnog poprečnog preseka sa dielektričnom ili magnetnom prekrivkom.

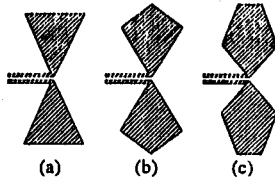
Sredinom i krajem osamdesetih godina projektovan je i realizovan veliki broj originalnih antenskih struktura baziranih na dipolima na drugoj rezonansi napajanim koplanarnim vodovima.

Na sl. 5. je prikazan monoimpulsni antenski niz<sup>6</sup>, širine snopa u Σ modu u H ravni od 2.2°, čija je dubina nule u Δ modu ispod -45 dB, a dobitak 28.5 dB.



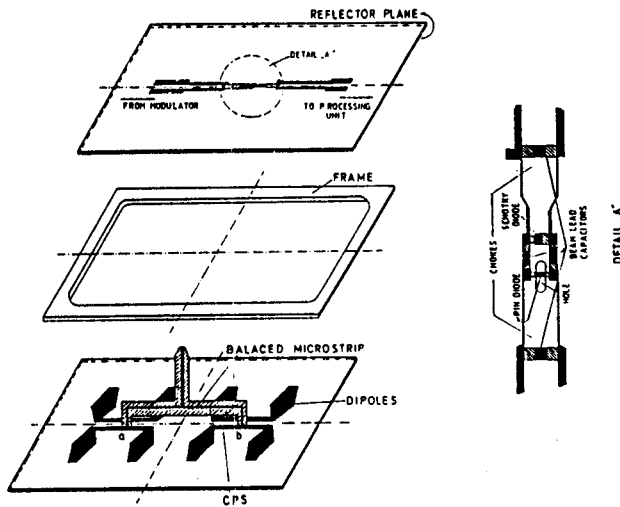
Slika 5. Monoimpulsni antenski niz sa napojnom mrežom: a) poprečni presek duž duže stranice; b) poprečni presek duž kraće stranice.

Pored štampanih trakastih dipola istraživani su i štampani dipoli u obliku trougla, deltoida i trapeza<sup>7,8</sup>, sl. 6. Najbolji rezultati, sa gledišta širokopojasnosti, dobijeni su sa trapeznim dipolima napajanim koplanarnim vodovima.



Slika 6. Tipovi štampanih dipola: a) trougaoni; b) trougaoni sa kapom; c) trapezni.

Krajem sedamdesetih godina su realizovane aktivne integrisane antenske strukture sa integrisanim modulatorima i detektorima za frekvencije do 40 GHz<sup>9</sup>, sl. 7.

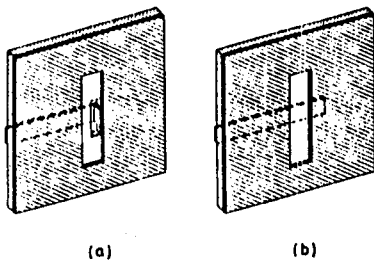


Slika 7. Antenski niz integrisan sa modulatorom i detektorom za opseg od 8 GHz do 40 GHz.

### Antenske strukture sa štampanim prorezima

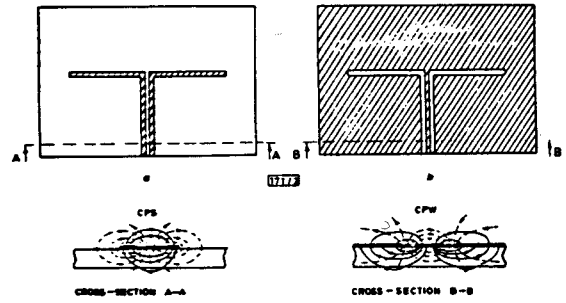
Paralelno sa istraživanjem antenskih struktura sa trakastim dipolima, istraživane su i komplementarne strukture - štampani prorezi.

Do 1982. štampani prorezi i nizovi sa štampanim prorezima su napajani sa mikrostrip vodom koji se nalazi sa suprotne strane dielektrične podloge, sl. 8.



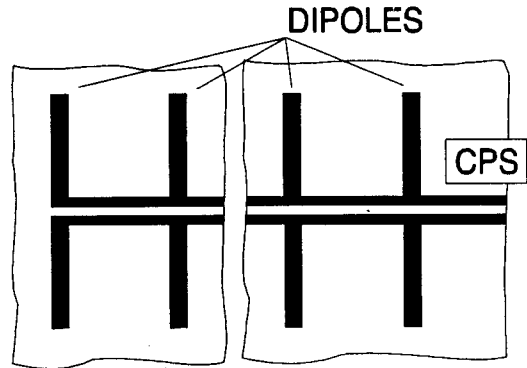
Slika 8. Prorez napajan mikrostrip vodom koji se nalazi sa suprotne strane dielektrične podloge.

Međutim, ako formiramo strukturu komplementarnu dipolu napajanom koplanarnim vodom, uočićemo da smo dobili prorez napajan koplanarnim talasovodom<sup>10,11</sup>, sl. 9.

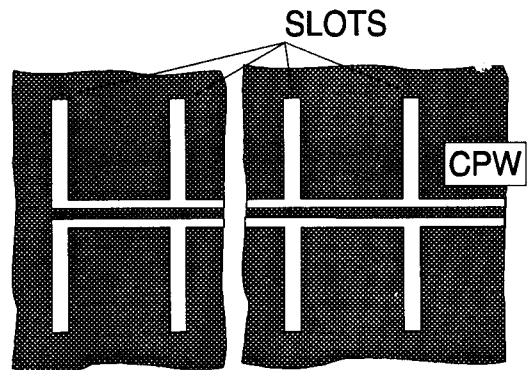


Slika 9. a) Štampani dipol napajan koplanarnim vodom, b) prorez napajan koplanarnim talasovodom.

Ovo je bila ideja na osnovu koje je 1982. otkrivena mogućnost napajanja proreza koplanarnim talasovodom koji se nalazi sa iste strane podloge. Takođe, niz dipola napajanih sa CPS, sl. 10., komplementaran je niz proreza napajan sa CPW<sup>10,11</sup>, sl. 11.



Slika 10. Niz dipola napajanih koplanarnim vodom.



Slika 11. Niz proreza napajan koplanarnim talasovodom.

Prikazane strukture su uniplanarne (cela struktura se izvodi sa jedne strane dielektrične podloge). Ova osobina posebno dolazi do izražaja kod aktivnih integrisanih - monolitnih antenskih struktura čije istraživanje počinje krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina. Prvi eksperimentalni modeli (početkom 1982.) projektovani su korišćenjem grube aproksimacije sa korekcijama zbog uticaja dielektrične podloge koje su izvedene empirijski.

U periodu između 1982. i 1984. je izvedena teorija o proširenju čuvenog Bukerovog principa i na nehomogene strukture. Naime, pokazao je da poznata Bukerova relacija

$$Z_{\text{dipola}} \cdot Z_{\text{proreza}} = \frac{Z_0^2}{4}$$

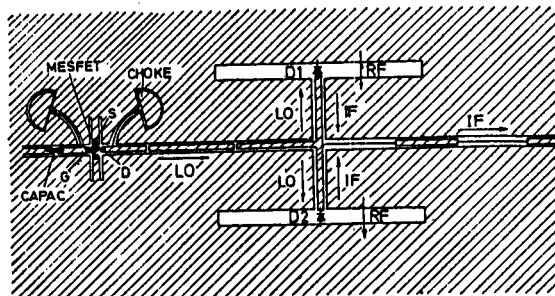
važi i za nehomogene strukture pod uslovom da su komplementarno-dualne, tj., da su geometrijski komplementarne i na podlogama kod kojih su relativna permeabilnost i relativna permitivnost zamenile mesta ( $\mu_r' = \epsilon_r$ ;  $\epsilon_r' = \mu_r$ )<sup>4,12</sup>.

Za rad u kome je izložena pomenuta teorija dobijena je Maksvelova nagrada IEE-a za 1986. godi-nu<sup>12</sup>.

Suštna postupka u analizi sastoji se u tome da se niz proreza na dielektričnoj podlozi transformiše u komplementarno - dualnu strukturu, tj., u niz trakastih dipola na podlozi od magnetika, napajan sa CPS<sup>13</sup>. Dobijena struktura se, zatim, primenom teorije ekvivalencije<sup>5</sup>, transformiše u niz dipola kružnog poprečnog preseka sa magnetskom prekrivkom i analizira poznatim metodama.

Pomenuta metoda je primenjena kod projektovanja većeg broja nizova štampanih proreza napajanih sa CPW. Eksperimentalni rezultati su pokazali veoma dobro slaganje sa teorijskim predviđanjima.

1990. godine je istražena i realizovana uniplanarna integrisana struktura antena - mešač sa lokalnim oscilatorom bazirana na prorezima napajanim koplanarnim talasovodom<sup>14,15</sup>, sl. 12.



Slika 12. Aktivna integrisana uniplanarna antena-mešač sa lokalnim oscilatorom.

Ove strukture imaju više značajnih prednosti u odnosu na druga rešenja aktivnih - integrisanih antena od kojih su dve najznačajnije:

- promenom dimenzija proreza (dužine i širine) koji radi u blizini druge rezonanse moguće je veoma lako direktno prilagođenje imedanse mikrotalasnih poluprovodnika (mešačkih dioda, izlaznih i ulaznih kola tranzistora i td.) na impedansu proreza;
- pošto je struktura uniplanarna sve komponente u sastavu integrisane strukture se nalazi na jednoj strani podloge, tako da nije potrebno praviti rupe u podlozi radi povezivanja pojedinih komponenti ili povezivanja sa masom.

## Zaključak

Prikazan je hronološki put istraživanja i razvoja novih štampanih antenskih struktura: sa štampanim dipolima napajanim koplanarnim vodovima i sa štampanim prorezima napajanim koplanarnim talasovodima, koji imaju niz značajnih prednosti u odnosu na konvencionalne štampane strukture sa patch-evima. Prikazano je više primera linearnih, dvodimenzionalnih, tejerovanih, mono-impulsnih i aktivnih antenskih nizova u kojima su pomenute strukture primenjene. Takođe su ukratko prikazane jednostavne metode koje su izvedene za analizu pomenutih struktura.

## Reference

1. A. Nešić: "A Printed Array of Symmetrical Dipoles with Novel Feeding Configuration", IEE Conference Publication, No. 195, Second International Conference on Antennas and Propagation, 1981, pp. 504-507.
2. A. Nešić, V. Trifunović, B. Jokanović: "Highly Efficient Two-dimensional Printed Antenna Array with a New Feeding Network" 12th European Microwave Conference, Liege, 1984, Conference Proceeding, pp. 697-701.
3. V. Trifunović: M. Sc. Thesis, University of Belgrade.
4. A. Nešić: D. Sc. Dissertation, University of Belgrade.
5. B. D. Popović, A. Nešić: "Generalisation of the Concept of Equivalent Radius of Thin Cylindrical Antennas, Proc. IEE, Vol. 131, Pt. H., No. 3, June 1984, pp. 153-158.
6. A. Nešić: "Monopulse Printed Antenna Array with a New Feeding Network Structure", 18th European Microwave Conference, 1988., Stockholm, Conference Proceedings, pp. 1086-1091.
7. A. Nešić, D. Paunović, M. Mikavica: "Broadband Two Dimensional Printed Antenna Array", 20th European Microwave Conf., 1990, Budapest, Conference Proceedings, pp. 252-256.
8. A. Nešić, I. Radnović: "Experimental Study in the New Broadband Printed Antenna Structure", Radio Science Meeting, Program and Abstract, p.21, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1993.
9. A. Nešić, B. Jokanović: "A Miniature Surveillance Detector for the 8-40 GHz frequency Range", MIOP 90. Stuttgart, Conference Proceedings, pp. 614-617.
10. A. Nešić: "Printed Slotted Array Excited by a Coplanar Waveguide", 12th European Microwave Conference, Helsinki, 1982, Conference Proceeding, pp. 478-482.
11. A. Nešić: "Slotted Antenna Array Excited by a Coplanar Waveguide" Electronic Letters, 18th March 1982, Vol. 18, No. 6, pp. 275-276.
12. B. D. Popović, A. Nešić: "Some Extensions of the concept Complementary Electromagnetic Structures", Proc. IEE, Pt. H., Vol. 132, No.2, 1985, pp. 131-137.
13. A. Nešić, B. D. Popović: "Analysis of Slot Antenna on Dielectric Substrate", Proc. IEE, Pt. H. Vol. 132, 1985, pp. 474-476
14. A. Nešić: "Uniplanar Quasi-Optical Antenna Mixer", JINA 90 (IEE, URSI, CNET, SEE), Nice, 1990., Conference Proceedings, pp. 290-294.
15. A. Nešić: "An Integrated Uniplanar Antenna-mixer and local Oscillator", Electronic Letters, 1991. Vol. 27. No.1, pp. 56-58.