

# Merni instrumenti za testiranje integriteta signala

Jovana Jović i Marjan Urekar, *Member, IEEE*

**Apstrakt** – U ovom radu objašnjen je pojam integriteta signala, kao veoma važno obeležje brzih signala i projektovanja štampanih ploča sa takvim signalima. Definisane su kritične sprege i dati su predlozi za otklanjanje tih uticaja. U kratkom osvrtu prikazani su i konkretni, praktični načini rutiranja čijom se upotrebom mogu izbeći problemi sa očuvanjem integriteta signala. U poslednjem delu rada navodi se značaj merne opreme u ovoj oblasti. Osciloskopi, logički i spektralni analizatori predstavljaju neophodni alat za uspešno testiranje štampanih ploča pre nego što se one proizvedu i stignu do korisnika.

**Ključne reči** — Integritet signala, kritične sprege, merni uređaji.

## I. UVOD

Brzim razvojem računarskih i komunikacionih sistema projektovanje štampanih ploča postaje složen zadatak. Brzina protoka podataka raste, a sa tom pojavom srazmerno se povećavaju i problemi u pogledu očuvanja integriteta signala. Problem sa brzim signalima (eng. *high speed*) je u tome što vodovi na štampanoj ploči u tom slučaju postaju talasovodi. To znači da čak i ako spojimo dva kraja vodom, ne mora da znači da će se uspostaviti električna veza između njih ili da će biti efikasna, tj. bez značajnih gubitaka.

Integritet signala (eng. *signal integrity*) je pojam koji se vezuje za podatak o tome koliko je signal degradiran na putu od predajnika do prijemnika. Integritet signala je ključan faktor u održavanju pouzdanosti i kvaliteta modernih elektronskih sistema. U ovom radu, pažnja je usmerena na integritet signala na štampanim pločama sa brzim signalima. Postoji nekoliko problema koji utiču na integritet, a neki od njih su impedansa sistema, elektromagnetna interferencija, promenljivo napajanje, kašnjenje signala, itd. Većinu ovih problema moguće je otkloniti poštovanjem pravila dobrog rutiranja ili praćenjem preporuka proizvođača komponenata. Impedansa sistema igra važnu ulogu pri projektovanju, posebno kod sistema sa velikim brzinama. U takvim sistemima neophodno je uskladiti vrednost impedanse na celokupnom putu kojim se signal prostire, posebno razmišljajući o povratnoj putanji koja uvek postoji. Pored toga pregledna šema je prvi važan korak ka uspešnoj realizaciji.

Jovana Jović – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [jovanajovic180@gmail.com](mailto:jovanajovic180@gmail.com))

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [urekarm@uns.ac.rs](mailto:urekarm@uns.ac.rs))

Važne faze su simulacije i testiranja. Postoje dve vrste simulacija, a to su *pre-layout* i *post-layout* simulacije. *Pre-layout* simulacija predstavlja simulaciju koja se izvršava pre određivanja rasporeda komponenti, dok *post-layout* simulacija dolazi na kraju, nakon što su sve komponente postavljene i povezane vodovima. Njima se otkrivaju problemi pre nego što se ploča napravi u fizičkom obliku i tako se značajno mogu smanjiti troškovi.

Pored njih, testiranje mernom opremom je poslednji korak u realizaciji uspešnog uređaja. Merni uređaji koji testiraju integritet sistema su neophodni za identifikovanje i dijagnostikovanje problema integriteta signala i održavanje optimalne performanse sistema. Izbor merne opreme je od presudnog značaja. Testiranje uglavnom podrazumeva korišćenje osciloskopa koji daje rezultate u vremenskom domenu, kao i spektralnog analizatora, koji rezultate pak prikazuju u frekventnom domenu.

U ovom radu ćemo istražiti različite metode za održavanje integriteta signala na štampanim pločama sa brzim signalima i kako merni uređaji mogu pomoći u dijagnostici problema i održavanju pouzdanosti sistema. Cilj ovog rada je da pruži uvid u probleme integriteta signala na štampanim pločama sa brzim signalima i da pomogne u razumevanju važnosti održavanja integriteta signala.

## II. INTEGRITET BRZIH SIGNALA

Kada se govori o brzim signalima ovaj pojam se ranije vezivao isključivo za signale čiji se takt kreće preko 100 MHz (čije su frekvencije veoma visoke). Na tim visokim frekvencijama vodovi više nisu obične električne veze i postaju talasovodi. Zbog toga, potrebno je uvesti nova pravila u vezi sa projektovanjem ploča na kojima su prisutni brzi signali. Danas ipak pored frekvencije, važna karakteristika brzih signala je i vreme propagacije signala. Odnos između vremena porasta signala i vremena propagacije duž vodove od predajnika do prijemnika određuje potrebu za terminacijom. Terminacija je neophodna kada oscilacije signala ugrožavaju kvalitet signala i ona se u praksi može ostvariti dodavanjem rednih otpornika kako bi se izjednačila vrednost impedanse duž cele putanje.

Integritet signala sa pojavom brzih signala postaje primarni zadatak. Taj pojam odnosi se na kvalitet i pouzdanost električnog signala dok “putuje” kroz sistem. Ono je merilo

koliko dobro se signal može preneti bez obličenja ili gubitka informacija od predajnika do prijemnika. Kako je integritet signala problem interkonekcije, on se odnosi na celokupni put od pedova, do vodova, svih prolaza kroz slojeve (vije) i svih komponenti koje se nađu na tom putu. Na nivou sistema, taj problem se proširuje i tada uključuje i sam predajnik i prijemnik. Integritet signala je podjednako važan i kada se govori o digitalnim sistemima velike brzine, kao što su računarske mreže i magistrale podataka, ali i kada se govori o analognim sistemima, kao što je prenos audio i video signala.

Uvek se pretpostavlja da će uređaji obavljati posao za koji su napravljeni. Ipak ako su signali degradirani ili je integritet signala loš, velike su šanse da će doći do privremenih smetnji ili čak i potpunih kvarova. Iz tog razloga neophodno je da projektant dobro razume pojam integriteta signala, šta sve utiče na njega i kako se ti problemi mogu rešiti.

Projektovanje štampanih ploča sa brzim signalima je složen i izazovan zadatak. Važno je balansirati između zahteva za dizajn kola, tehnologije uređaja, dostupnih materijala i komponenti i metodama proizvodnje, kako bi se isporučila štampana ploča sa očuvanim integritetom signala. *Altium Designer* je softver koji nudi objedinjeno okruženje za projektanta. Daje mu uvid u svaki aspekt procesa projektovanja štampane ploče, uključujući šemu, raspored na PCB-u, 3D model i dokumentaciju [6]. *Altium Designer* ima simulator integriteta signala i zbog toga je veoma važan alat. Ovaj alat omogućava inženjerima da simuliraju ponašanje kola i identifikuju potencijalne probleme sa integritetom signala pre nego što se fizički napravi prototip. Moguće je definisati karakterističnu željenu impedansu sistema ili željenu dužinu vodova. Pomoću funkcija u *Altium*-u moguće je upoređivati dužine vodova, dužine vodova diferencijalnog para, moguće je unapred definisati pravila o minimalnom razmaku između vodova ili definisati impedansu sistema ili dimenzije vije.

Kako bi posao projektovanja bio olakšan, pored iskustva samog projektanta, velika prednost je i korišćenje savremenih razvojnih alata, kao što je *Altium Designer*. Zbog svih funkcija, njime se ubrzava i olakšava svaka razvojna faza. Pored toga, preduslov za dobro projektovanje je dobro definisana i pregledna šema, koju je lako napraviti u pomenutom programu. Posebnu pažnju treba obratiti na pravila koja daje proizvođač komponenti. Sva ograničenja, u vidu pozicioniranja komponenti, dimenzije vodova, razmaka između istih, ograničenja u vidu povezivanja, treba definisati u alatu, kako bi se kasnija provera vršila automatski.

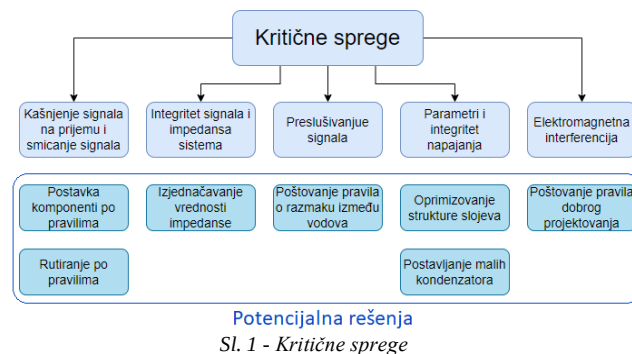
Kod projektovanja štampanih ploča sa brzim signalima javlja se nekoliko kritičnih sprega:

1. Kašnjenje signala na prijemu i smicanje signala
2. Integritet signala i uparivanje impedanse sistema
3. Preslušavanje
4. Parametri i integritet napajanja
5. EMI (Elektromagnetna interferencija)

Najčešće postoji više mogućih rešenja za otklanjanje ovih problema, ali u retkom slučaju se mogu obuhvatiti svi, tako da je kompromis neophodan.

### III. KRITIČNE SPREGJE

Na prvoj slici prikazan je pregled svih kritičnih sprega i potencijalni načini kako ih otkloniti. U daljem radu, svaka kritična sprega je detaljnije objašnjena.



Potencijalna rešenja

Sl. 1 - Kritične spregje

#### A. Kašnjenje i smicanje ivica signala

Veoma česta pojava kod štampanih ploča sa visokim performansama su upravo kašnjenje i smicanje ivica signala. Kašnjenje se odnosi na razliku u vremenu dolaska signala na različite tačke u sistemu, što može uzrokovati smetnje u prenosu podataka i gubitak kvaliteta signala. Smicanje ivica signala se odnosi na fenomen gde se oblik signala izobličuje zbog promenljive impedanse ili kapacitivnosti. Praćenje preporuka proizvođača je prvo rešenje za uklanjanje ovog problema. Dakle, minimizacija problema ostvaruje se definisanjem pravila u *Altium Designer* programu. Ta pravila obuhvataju: ograničenja pri rutiranju, dimenzije vodova, dimenzije praznog prostora na ploči.

Pored toga, uvek prvo treba rutirati najkritičnije signale, ali tako da dužine vodova, posebno kod diferencijalnih parova brzih signala budu u određenom opsegu. Ako to nije slučaj neophodno je izjednačiti dužine tih vodova.

#### B. Integritet signala i impedansa sistema

Svaki signal dok se prostire kroz vodove vidi određenu impedansu. To je ukupna otpornost na koju signal nailazi na putu od predajnika do prijemnika i ako ta impedansa nije jednaka, dolazi do refleksije signala. Deo signala koji se reflektovao, izobličuje signal sa predajnika i u tom slučaju do prijemnika ne stiže validna informacija. To se manifestuje u vidu prebačaja ili podbačaja napona.

Najčešći razlog za nastajanje ovih problema su pedovi kondenzatora i vije koje prolaze kroz čitavu debljinu štampane ploče, ili dugački vodovi [1]. Kako nije uvek moguće skratiti dužine vodova, pribegava se terminaciji pomoću serijskih i paralelnih otpornika.

### C. Preslušavanje signala

Preslušavanje predstavlja negativni uticaj (odnosno smetnju) jednog voda na drugi, putem međusobne magnetne indukcije, koji se nalaze u neposrednoj blizini. U štampanim pločama to se uglavnom dešava sa signalima koji su rutirani jedan pored drugog, ili sa signalima koji se preklapaju u susednim slojevima. To dovodi do pojave da jedan od signala može da oponaša karakteristike drugog signala i ne izvrši svoj zadatak. Ako se prate preporuke koje se odnose na udaljenost vodova iz različitih grupa, moguće je značajno smanjiti preslušavanje. Kao što je već naglašeno, pažljivim definisanjem pravila o rastojanju u *Altium Designer* alatu, projektantu se značajno olakšava posao.

### D. Parametri i integritet napajanja

Kako su integrisana kola jako osetljiva na kolebanja napona napajanja, potrebno je obezbediti konstantno napajanje. To je moguće realizovati na dva načina:

1. Optimizovanjem strukture slojeva
2. Pravilnim postavljanjem kondenzatora.

Smanjivanje rastojanja između naponskih slojeva, povećanje njihovih površina i povećanje permitivnosti izolatora su načini za poboljšanje napajanja sa aspekta projektovanja. Tako će se smanjiti impedansa vodova napajanja. Kondenzatore je na štampanoj ploči potrebno postaviti što bliže pinovima integrisanih kola. Poželjno je koristiti više malih kondenzatora, tj. najveći mogući kapacitet u što manjem kućištu.

### E. Elektromagnetna interferencija (EMI)

Elektromagnetna interferencija se definiše kao uticaj neželjenih signala na uređaje i sisteme, čineći rad uređaja otežanim ili nemogućim. Kako bi se elektromagnetna interferencija ispoljila, mora da postoji tri sastavna elementa: izvor, put kojim se prenosi signal i uređaj koji prima neželjenu energiju.

Pojam elektromagnetne interferencije je veoma širok i može uključiti bilo koji šum izazvan iz bilo kog spoljnog izvora. Preslušavanje, ali i prebačaji i podbačaji napona utiču na EMI. Ponovo od presudnog značaja za izbegavanje ovih problema je poštovanje pravila dobrog projektovanja štampanih ploča. Dužina vodova i povratna putanja signala su glavni uzroci za pojavu elektromagnetne interferencije. Da bi se obezbedila EMI kompatibilnost sa standardima važno je pratiti referentne dizajne proizvođača integrisanih kola. Takođe, poželjno je unositi male promene u dizajn štampane ploče za koju je već potvrđena EMI kompatibilnost. To je lakši način rešavanja problema, nego što bi bio slučaj da se pravi potpuno nova štampana ploča [1].

## IV. IMPEDANSA SISTEMA

Impedansa je jedan od razloga za nastajanje svih gore navedenih smetnji. Štampane veze kontrolisane impedanse nazivaju se transmissionim linijama. To je putanja od predajnika, preko voda, sve do nekog prijemnika, kao i povratna putanja. Uvek mora postojati zatvorena putanja i o tome treba posebno razmišljati. Ako nije pažljivo projektovana povratna putanja je duža, samim tim se povećava i petlja kojom signal „putuje“, pa i jačina polja koje emituje, što je loša praksa. Povratni put je uvek onaj sa najmanjom impedansom. Kontrolisana impedansa u današnje vreme postaje neophodna zbog pojave sve složenijih elektronskih sistema, manjih, bržih i višefunkcionalnih komponenti.

Impedansa je karakteristika naizmjenične struje gde je frekvencija signala važan element. Što duži vod na štampanoj ploči i što viša frekvencija, kontrola impedanse je potrebna. Na impedanse brzih signala utiču: dielektrična konstanta, širina vodova, razmak između njih, njihova debljina, itd. [2].

Na štampanoj ploči postoje dve vrste vodova:

- Mikrotrakasti (eng. *microstripline*)
- Trakasti (eng. *stripline*)

Mikrotrakasti vodovi su vodovi koji se nalaze na površinskim slojevima i imaju samo jednu referentnu ravan (tj. ili napajanje ili GND). Trakasti vodovi su oni koji se nalaze u unutrašnjem sloju i imaju dve referentne ravni (tj. napajanje i/ili GND). Važno je pomenuti da postoje ove dve vrste, jer se na drugačije načine računa njihova impedansa. Na slici 2 prikazani su ovi vodovi.

Figure 1. Microstrip Transmission Line Layout Note (1)

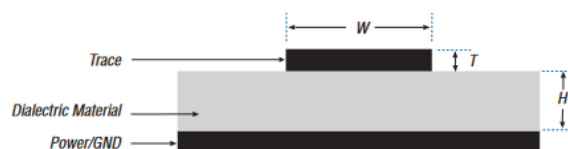
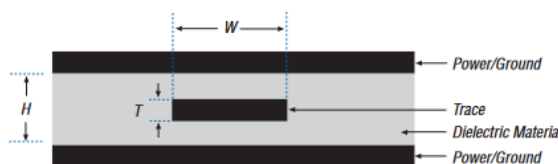


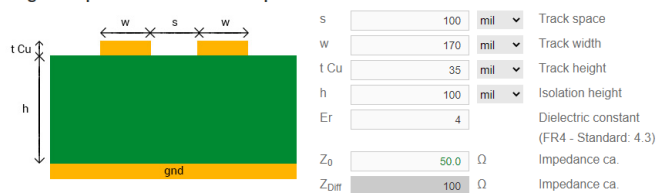
Figure 2. Stripline Transmission Line Layout Note (2)



Sl. 2 - Mikrotrakasti i trakasti vodovi [7]

Alat za izračunavanje impedanse voda koriste Vadlove jednačine. Ove jednačine su veoma složene i sastoje se od 67 međusobno povezanih jednačina [3]. Na slici 3 vidimo izgled jednog takvog online kalkulatora. Pored toga prikazani su svi parametri koji utiču na izračunavanje impedanse ( $w$ ,  $s$ ,  $h$ ,  $t$ ,  $\epsilon_r$ ,  $\epsilon_r$ ).

## Edge-Coupled Surface Microstrip



Sl. 3 - Kalkulator za izračunavanje impedanse [8]

## V. SPECIFIČNA PRAVILA RUTIRANJA

Sve brze signale potrebno je rutirati pažljivo, prateći preporuke samih proizvođača komponenata i pravila dobrog rutiranja. Sa pojavom savremenih alata proces rutiranja je olakšan, jer je moguće unapred definisati određena pravila. Pravila koja su definisana se automatski izvršavaju i nije potrebno ručno proveravati svako ograničenje.

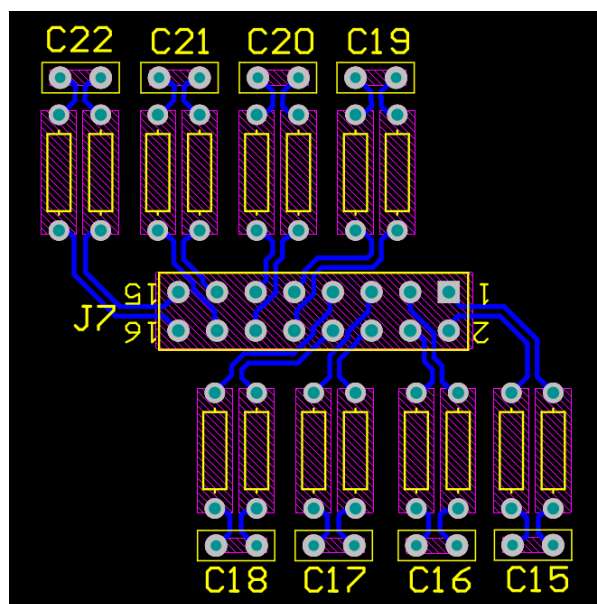
Proizvođači komponenata daju svoje preporuke o načinu rutiranja, tj. preporučenom razmaku između komponenti, razmaku između vodova, itd. Neke od praksi dobrog rutiranja:

- Prilikom rutiranja signala treba izbegavati krivine. Kako to nije uvek moguće, preporuka je da se koriste krivine od 135°, umesto onih od 90°.
- Minimalno rastojanje između dva voda bi trebalo da iznosi minimum (3-5) puta širina voda.
- Krivine bi trebalo da budu minimum 1.5x širina voda.
- Serpentine su najbolji način rutiranja, kada nije moguće pravolinijsko rutiranje. Takođe, koriste se i za izjednačavanja dužine vodova.
- Vodove je potrebno udaljiti gde god je to moguće.
- Oba para diferencijalnog signala neophodno je rutirati na istom sloju.
- Postavljanje komponenti između diferencijalnih parova nije dozvoljeno.
- Dužina vodova para mora biti u određenom opsegu.

Konkretni primer rutiranja diferencijalnog para brzih signala prikazan je na slici 4. Postoji nekoliko aspekata o kojima je potrebno razmišljati. Ako su konektori THT komponente, važno je signal rutirati na donjem sloju (eng. *Bottom layer*) kako ne bi došlo do pojave staba. Stab je parazitska struktura koja može uticati na refleksiju signala.

Pored toga diferencijalne signale je neophodno rutirati paralelno, sa unapred zadatim razmakom između ta dva voda. Potrebno je i izjednačiti dužine, takođe u unapred zadatom opsegu koji zahteva korisnik. Druga dva diferencijalna para ne smeju biti preblizu prvog para. To je sve unapred urađeno u *Altium Designer* paketu. Kreiranjem klasa i odabirom da njeni članovi budu svi diferencijalni signali, omogućeno je zadavanje različitih ograničenja. Klasom je obezbeđeno da se pravila jednom postave i da važe uvek. Preporučena razdaljina

je između tri do pet puta širina voda, ali je u praksi poželjno obezbediti i veći razmak, ako za to postoje uslovi.



Sl. 4 - Rutiranje dif. para

## VI. PROVERA INTEGRITETA SIGNALA

Najbolji načini za otkrivanje problema vezanih za integritet signala su direktna posmatranja i merenja signala. Savremeni alati pružaju mogućnost simulacije i pre nego što je ploča proizvedena u fizičkom obliku.

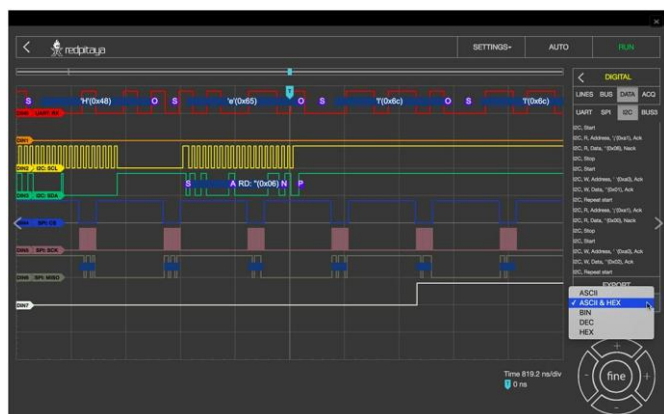
Odgovarajućom opremom testiranje postaje lakše. Većina merenja integriteta signala oslanja se na poznatu kombinaciju mernih instrumenata. Postoje različiti tipovi mernih uređaja za testiranje integriteta signala, a neki od najčešće korišćenih su osciloskopi i logički analizatori, a pored njih i analizatori spektra i vektorski mrežni analizator. Sonde i odgovarajući softveri upotpunjuju ovaj osnovni paket alata. Svaki od njih uglavnom je moguće pronaći u laboratorijama za elektroniku. Ako je potrebno, izvori napajanja se mogu koristiti za obezbeđivanje izobličениh signala, radi procene novih uređaja ili stres testiranja. Kako osciloskop daje rezultate u vremenskom domenu, a analizator spektra u frekventijskom domenu, neophodno je korišćenje Furijeove i inverzne Furijeove transformacije.

Štampane ploče na kojima se rutiraju brzi signali moraju da prođu niz testova kako bi se osigurala pouzdanost i usklađenost sa industrijskim standardima [4]. Mnoge od tih testova sprovode upravo proizvođači PCB-ova. Dizajner ima zadatak da izoluje i eliminiše problem integriteta. Uz pomoć navedenih alata, ali i savremenim softverskim rešenjima u ovim oblastima, dizajnerima se posao vremenski skraćuje i značajno olakšava.



### A. Logički analizator

Logički analizator je alat koji se koristi za analizu neperiodičnih digitalnih pojava, posebno kod sistema sa puno ulaza i izlaza. On poseduje veliki broj kanala za prikupljanje digitalnih informacija [5]. Prikazivanje tih informacija je koherentno, kako bi identifikacija problema bila što jednostavnija. Ovaj instrument detektuje prelaze pragova na signalima koje prati i prikazuje ih kao logičke signale. Signali koji se mogu videti na logičkim analizatorima su jasni, razumljivi i lako ih je uporediti sa očekivanim podacima, kako bi se potvrdilo da uređaj radi ispravno. Ovi talasi su polazna tačka u potrazi za problemima koji ugrožavaju integritet signala. Na slici 5 prikazan je izgled ekrana logičkog analizatora tokom testiranja.



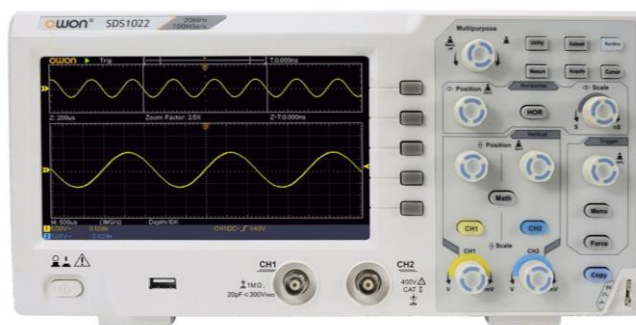
Sl. 5 - Rezultati merenja logičkim analizatorom [9]

### B. Digitalni osciloskop

Kada logički analizator snimi problem u digitalnom obliku, osciloskop se koristi za izolovanje njihovih analognih delova [5]. Osciloskop može da prikaže detalje tih talasnih oblika, kao što su ivice, šumovi. Dakle, on može da otkrije prelazne pojave i sposoban je da precizno meri vremenske odnose. Osciloskop se koristi za rekonstrukciju merenja u vremenski domen. On je dragocen alat jer je mnogo digitalnih problema povezano sa integritetom analognih signala. Postoji nekoliko različitih vrsta digitalnih osciloskopa, a najvažniji za pronalaženja problema integriteta signala na štampanim pločama su:

1. Digitalni osciloskop za skladištenje (eng. *digital storage oscilloscope - DSO*)
2. Digitalni fosforni osciloskop (eng. *digital phosphor oscilloscope - DPO*)
3. Digitalni osciloskop za uzorkovanje (eng. *digital sampling oscilloscope*)

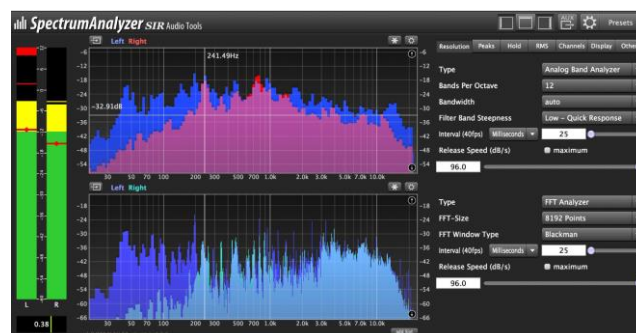
Na izbor osciloskopa utiče: propusni opseg, vreme porasta, brzina uzorkovanja, dužina zapisa, itd. Na slici 6 prikazan je osciloskop sa rezultatima merenja.



Sl. 6 - Izgled merenja osciloskopom [10]

### C. Analizator spektra

Za neke neuhvatljive događaje potreban je merni instrument sa poboljšanom rezolucijom frekvencije. Tako se mogu locirati suptilni frekvencijski događaji kao što su fazno pomeranje takta, mikrofonija, itd. Analizator spektra se obično koristi za preciznija saznanja o frekvenciji i amplitudi, njihovom ponašanju u kratkim, ali i dugim vremenskim intervalima. Ovi uređaji su posebno korisni za dijagnostikovanje problema sa elektromagnetnom kompatibilnošću (EMC), jer mogu identifikovati frekvencijske smetnje. Njime se mere karakteristike signala, a ne samog uređaja. Ne poseduju izvor napajanja i imaju jedan prijemnik. Ovi analizatori koriste se za merenje performansi Wi-Fi signala. Na slici 7 prikazan je izgled ekrana spektralnog analizatora tokom testiranja.



Sl. 7 - Izgled merenja analizatorom spektra [11]

### D. Vektorski mrežni analizator (VNA)

VNA se koristi za testiranje specifikacija komponenti i verifikaciju simulacija dizajna kako bi se potvrdilo da uređaj radi ispravno. Jedinstvena karakteristika je da vektorski mrežni analizator sadrži izvor, pomoću kojeg se generišu poznati signali. Pored toga ima i skup prijemnika koji se koriste za praćenje promena ovog signala izazvanih uređajem koji se testira. VNA se koristi za merenje mrežnih parametara, posebno S-parametara [4].

Ti parametri koriste se za opisivanje električnih osobina komponenti, jer je jednostavnije meriti pojačanje, gubitke i koeficijent refleksije nego struju ili napon na visokim frekvencijama. S-parametri se kasnije mogu uporediti sa

rezultatima simulacija. VNA daje informacije o amplitudi i fazi (frekvenciji i snazi). Na slici 8 vidimo izgled vremenskog mrežnog analizatora.



Sl. 8 - Izgled merenja vektorskim mrežnim analizatorom [12]

Uz pravilnu upotrebu ovih alata, inženjeri mogu identifikovati i rešiti probleme integriteta signala na štampanim pločama i osigurati optimalni rad elektronskih sistema.

## VII. ZAKLJUČAK

Veoma je važno ispratiti razvoj na polju komunikacionih računarskih sistema, sve manjih integrisanih kola u pogledu dimenzija, a sve složenijih zadataka koje obavljaju. Integritet signala sa pojavom brzih signala postaje važan parametar na koji se mora uticati. Da bi se taj razvoj pratio i iz ugla hardvera neophodno je korišćenje savremenih alata. U njima je moguće jednom definisati pravila i ograničenja koja će važiti za ceo projekat i koja će se u narednim trenucima automatski poštovati. Pored toga, savremeni alati nude mogućnosti simulacije koje mogu skratiti vreme proizvodnje, otkriti potencijalne probleme, ali i smanjiti finansijske troškove.

Testiranje je poslednji korak koji nikako ne sme biti zaboravljen. Merna oprema daje pouzdane rezultate i potvrđuje uspešnu realizaciju uređaja od obične šeme, do gotovog proizvoda.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Departmana za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, u okviru realizacije projekta pod nazivom: "Istraživanja u cilju unapređenja nastavnog procesa i razvoja naučno-stručnih oblasti Departmana za energetiku, elektroniku i telekomunikacije".

## LITERATURA

- [1] I.R. Danko Miočinović, Dušan Majstorović, "Transformacija preporuka i ograničenja proizvođača integrisanih kola u realni dizajn štampanih ploča pomoću alata alata Altium Designer", 54th ETRAN Conference, Donji Milanovac, Serbia, 2010
- [2] [Controlled Impedance PCB Fabrication | Fuchuangke Technology \(pcbboardassembly.com\)](https://www.pcbboardassembly.com/)
- [3] [Impedance Calculation - PCB Prototype the Easy Way - PCBWay](https://www.pcbway.com/)
- [4] [The Basics of Signal Integrity Testing | System Analysis Blog | Cadence](https://www.cadence.com/)
- [5] [54W-22137-1.qxd \(mouser.com\)](https://www.mouser.com/)
- [6] [Altium Designer - PCB Design Software](https://www.altium.com/)
- [7] [High-Speed Board Layout Guidelines, Alerts, August 2009., ver 1.2](https://www.altium.com/)
- [8] [Impedance Calculation - PCB Prototype the Easy Way - PCBWay](https://www.pcbway.com/)
- [9] [Logic-analyzer-7-1.jpg \(1000×624\) \(redpitaya.com\)](https://www.redpitaya.com/)
- [10] [15d49a63660a179cd1a516a41ebe4fe8\\_1600x.jpg \(1524×818\) \(shopify.com\)](https://www.shopify.com/)
- [11] [spectrumAnalyzer overview.jpg \(3000×1600\) \(siraudiotools.com\)](https://www.siraudiotools.com/)
- [12] [OIP.PguEiqvIwP9fP7X2uzPV3wHaEK \(2048×1152\) \(bing.com\)](https://www.bing.com/)

## ABSTRACT

In this paper, the concept of signal integrity is explained as a very important characteristic of high-speed signals, as well as the design of printed circuit boards with such signals. Critical constraints are defined, and proposals are given to eliminate these influences. In a brief overview, concrete, practical ways of routing are shown, the use of which can avoid problems with preserving the integrity of the signal. The last part of the paper states the importance of measuring equipment in this area. Oscilloscopes, logic and spectrum analyzers are necessary tools for successful testing of printed circuit boards before they are produced and reach the user.

## Measuring instruments for signal integrity testing

Jovana Jović, Marjan Urekar