

## LOGARITAMSKI DETEKTOR RF SIGNALA NA X I Ku FREKVENCIJSKOM OPSEGU

Petar Janković, Ivana Radnović  
Institut IMTEL, Beograd, www.insimtel.com

**Sadržaj** – Rad prikazuje primenu poslednje generacije logaritamskih detektora nivoa RF signala na mikrotalasnim frekvencijskim opsezima. Rezultati dobijeni u mikrotalasnoj laboratoriji Instituta IMTEL kombinovani su sa rezultatima dobijenim u laboratorijama Euro-Linear agencije za istraživanje i razvoj. Izložen je kratak prikaz dosadašnjih realizacija detektora nivoa mikrotalasnih signala, a opisani su metodi minimizacije greške merenja u akvizicionom postupku, mogućnosti kalibracije, kao i metode postprocesiranja.

### 1. UVOD

Centar sistema logaritamskog detektora predstavlja integrisano kolo AD8318 najnovije generacije višenamenskih logaritamskih pojačavača sa mogućnostima konverzije RF signala u korespondenciono decibelski skaliran naponski nivo. Proizvođač je za ovo kolo specificirao frekvencijski radni opseg od 1MHz do 8GHz. U cilju primene ovog kola za detekciju mikrotalasnih signala u Ku opsegu, tj. izvan deklarisanog radnog opsega, izvršena je serija merenja čiji su rezultati izloženi u ovom radu. Na osnovu njih su izvedeni zaključci o mogućnostima upotrebe ovakvog detektora u merenim područjima.

### 2. OBJAŠNENJE PROBLEMA

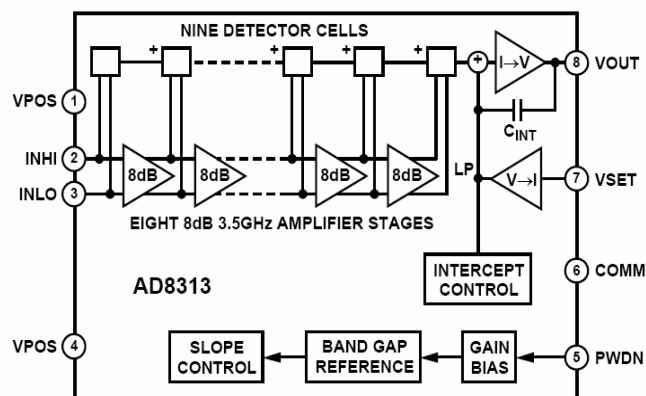
Logaritamski detektori se primenjuju za: merenje i kontrolu izlazne snage kod RF pojačavača snage, RSSI (Receive Signal Strength Indication) merenje prijemnog polja kod baznih stanica, u prijemnicima kod uređaja sa OOK modulacijom, detekciju prijemnog signala kod vojnih i civilnih radara, WLAN. Osnovne karakteristike u specificiranom frekventnom opsegu su:

- dinamika od 60dB @50Ω sa stepenom greške  $\pm 1$ dB,
- jedinstveni napon napajanja +5V uz potrošnju od 68mA u operativnom modu,
- integrisani temperaturni senzor sa korakom 2mV/K (primenljiv prilikom detektovanja temperature pregrevanja kod izlaznih mikrotalasnih pojačavača snage),
- brzina odziva pri promeni nivoa ulaznog signala: 10ns,
- mogućnost promene nagiba logaritamske krive promenom napona na VSET pristupu.

AD8318 je devetostepeni integrisani logaritamski pojačavač koji poseduje mogućnost merenja RF signala ili kontrole izlazne snage RF pojačavača konverzijom RF signala u DC napon.

Svaki stepen logaritamskih pojačavača sadrži detektorsku ćeliju sa nominalnim naponskim pojačanjem od

8.5dB za 3dB širine do 10.5GHz. Izlazni nivoi detektora su sabrani i filtrirani niskopropusnikom, čime se dobija naponski nivo koji je logaritamski proporcionalan naponu RF signala na ulazu, slika 1.



Slika 1. Blok šema integrisanog logaritamskog detektora.

Ovom metodom, u frekvencijskom opsegu od 1MHz do 8GHz, obezbeđuje se dinamika merenja od 60dB. Izvan definisanog opsega dolazi do degradacije osetljivosti detektora, povećanja stepena greške prilikom merenja, odstupanja prilikom temperature tranzicije i gubitka linearnosti krive. Ovi podaci kao i rezultati merenja Euro Linear-a poslužili su kao osnov za detaljnije ispitivanje tehničkih mogućnosti ovog detektora. Delimično je na to uticala i činjenica da je za novu generaciju digitalnih radio-relejnih uređaja IMTEL Instituta bilo potrebno realizovati jedinicu za kontrolu izlazne snage u predajniku 13GHz.

Integracijom mikrotalasnih jedinica na jedinstvenu ploču popularnim MMIC kolima koja su obezbedila veliko smanjenje kompletnog mikrotalasnog bloka u fizičkom smislu, takodje je obezbeđen i visok stepen linearnosti sa određenom zalihom pojačanja.

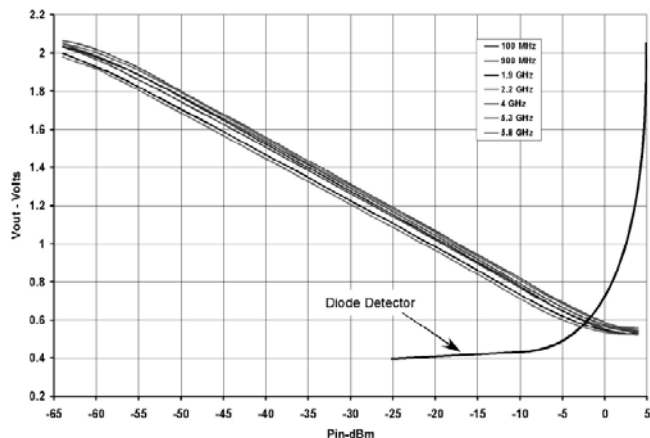
Pokušavajući da izbegnemo zastarele načine detekcije, slika 2, AD8318 se nametnuo kao nezamenjivo rešenje (uključenjem kompresivnih metoda, arhitektura AD8318 je bazirana na Silicon-Germanium bipolarnom procesu izgradnje; dimenzije modula zauzimaju prostor 4X4mm MLFCSP pakovanja, ne sadrže olovo čime su svrstane u kategoriju ekološki propisanih komponenti i specificirane su za radni temperaturni opseg od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+85^{\circ}\text{C}$ ). Medjutim, rezultati merenja koje nam je dostavio Euro Linear pokazivali su da se za potrebe našeg uređaja rezultati merenja nalaze na granici izvodljivosti.

Analizom metode merenja, konstrukcije i prilagodjenja detektora na učestanostima koje su za nas bile od interesa, konstatovano je da metoda nije bila propisno postavljena, što

je otvorilo prostor za detaljnije ispitivanje i analizu koja je nastavljena u institutu IMTEL.

### 3. METOD DEFINISANJA NAGIBA KRIVE LOGARITAMSKOG DETEKTORA – FUNKCIJA

Kalibracija logaritamskog detektora je veoma važna, bez obzira na merne tabele tj. karakteristike proizvođača.

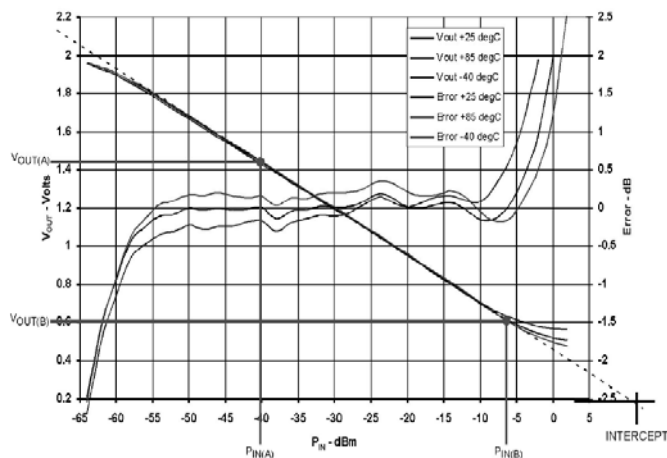


Slika 2. Uporedne karakteristike izlaznog napona u zavisnosti od nivoa RF signala kod diodnog detektora i integrisanog logaritamskog detektora RF signala.

Kalibracija se obavlja da bi se obezbedila veća tačnost merenja (tipično 1dB) i da bi se detektor prilagodio uslovima postprocesiranja u uređajima koji ga koriste kao akvizicioni element (blokovski pojačavači sa naponskom kontrolom, naponski kontrolisani atenuatori, AD konvertori i sl.). Detaljni postprocesiranja su opisani u jednom od sledećih podnaslova). Prenosna funkcija logaritamskog detektora može se predstaviti sledećom jednačinom:

$$V_{out}(mV) = Slope(mV/dB) \times [P_{in}(dBm) - Intercept(dBm)] \quad (1)$$

Iz ove jednačine možemo izračunati koliki ćemo izlazni napon dobiti za određeni nivo prijemnog signala. Grafički prikaz elemenata prenosne funkcije može se videti na slici 3, gde je iskorišćena prenosna karakteristika logaritamskog detektora AD8318 na frekvenciji 5.8GHz. Kao osnovne elemente funkcije vidimo pojmove *Slope*, *Error* i *Intercept*.



Slika 3. Grafički prikaz metode proračuna nagiba (*Slope*) krive prenosne funkcije logaritamskog detektora i greške prilikom merenja na frekvenciji 5.8GHz.

*Slope* predstavlja nagib krive promene izlaznog napona u zavisnosti od promene nivoa prijemnog signala, *Error* je odstupanje izmerenog napona od idealne prenosne funkcije, dok je *Intercept* tačka preseka imaginarne prave idealno ravne prenosne funkcije logaritamskog detektora sa x-osom. Kalibracija se obavlja merenjem napona na izlazu detektora za dve različite vrednosti ulaznog signala. Za dobijanje prenosne funkcije i proračuna stepena greške u što boljoj tačnosti, potrebno je odabrati dve tačke koje se nalaze na graničnim vrednostima nivoa merenja za detektor. Proračun nagiba idealne imaginarne prave (*Slope*) kao i tačke presecanja za x-osom (*Intercept*) mogu se dobiti iz funkcija:

$$Slope = [V_{out}(B) - V_{out}(A)]/[P_{in}(B) - P_{in}(A)] \quad (2)$$

$$Intercept = P_{in}(B) - V_{out}(B)/Slope \quad (3)$$

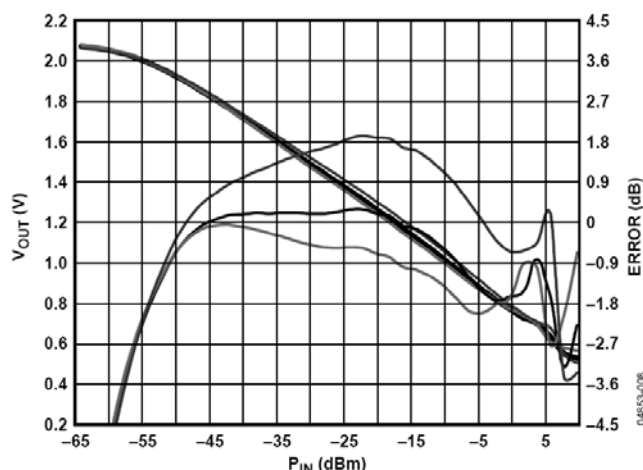
Iz funkcije (2) može se jednostavno izračunati odstupanje izmerenog napona od idealne prenosne funkcije – *Error* (4).

Iz grafičkog prikaza možemo videti da stepen greške nikada nije 0, što govori da postoji odstupanje u odnosu na idealnu imaginarnu pravu. Naravno, na stepen greške u velikoj meri utiče i promena radne temperature detektora.

$$Error(dB) = [V_{out}(MEASURED) - V_{out}(IDEAL)]/Slope \quad (4)$$

### 4. REZULTATI MERENJA LOGARITAMSKOG DETEKTORA NA MIKROTALASNOM PODRUČJU

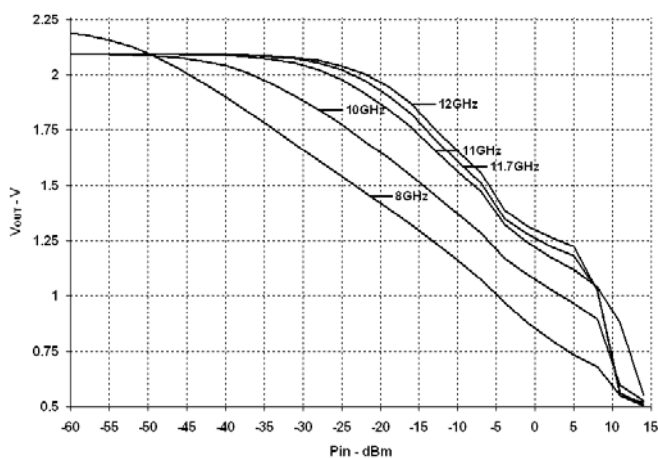
Kao granična frekvencija detektora AD8318 deklarirano je 8GHz, slika 4. Iz grafika se može videti da detektor poseduje sličnu karakteristiku izlaznog napona u odnosu na ulazni signal kao i kod izmerenih rezultata na 5.8GHz, dok je karakteristika proračunate greške u odnosu na izmereni rezultat znatno veća u delu kod višeg nivoa ulaznog signala.



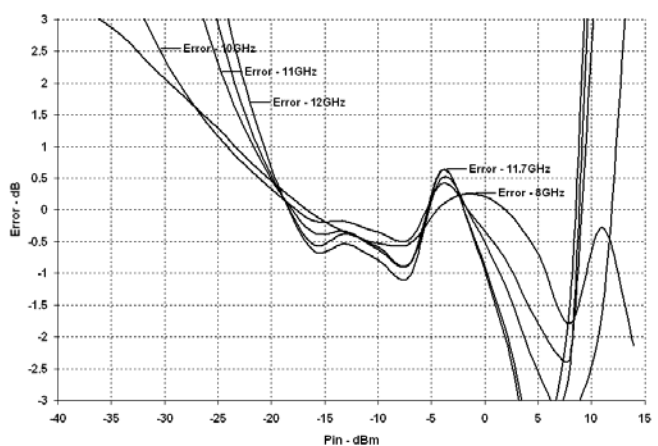
Slika 4. Tipična karakteristika izlaznog napona i greške prilikom merenja kod logaritamskog detektora u različitim temperaturnim uslovima na radnoj frekvenciji 8.0GHz

Elementi ovakve devijacije, tačnije povećanja greške prilikom merenja, izazvani su nekolikim faktorima. Glavni faktor izobličenja je nedovoljno prilagođenje impedanse na RF ulazu u detektor gde se pri većim signalima javlja

povećana refleksija. Problem nedovoljnog prilagođenja uglavnom je izazvan neadekvatno dizajniranim džigom za ispitivanje detektora (razvojna ploče AD8318 realizovana je na supstratu FR4, debljine 1.6mm sa dielektričnom konstantom  $\epsilon_r=4.5$ ). Takođe, faktor izobličenja je i približavanje graničnoj učestanosti pojačanja integrisanih pojačavačkih blokova unutar detektora. Da bi se ispitala tendencija devijacije krive i maksimalne mogućnosti na originalnoj razvojnoj ploči Analog Devices, izvršena su merenja na učestanostima iznad predviđene granične 8GHz, a zatim je projektovana nova razvojna ploča na tanjem supstratu i manjim parazitima u CPWG strukturi kod koje su ispunjena pravila prilagođenja impedanse na mikrotalasnim učestanostima. Rezultati se u znatnoj meri razlikuju, što je vidljivo i na grafikonima, slika 5 i 6. Detaljno je utvrđena tendencija porasta greške i smanjenja dinamike merenja logaritamskog detektora.



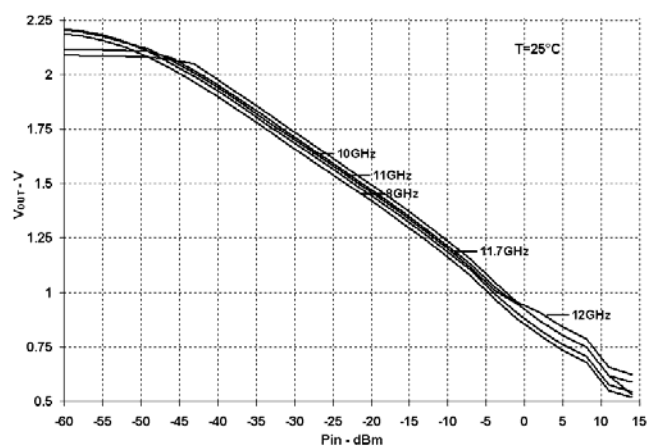
Slika 5. Rezultati merenja izlaznog napona u zavisnosti od ulaznog signala na originalnoj razvojnoj ploči sa nedovoljnim prilagođenjem na Ku frekvencijskom osegu (merenje izvršeno promenom nivoa ulaznog signala u koracima po 3dB; grafik generisan Excel tabelom).



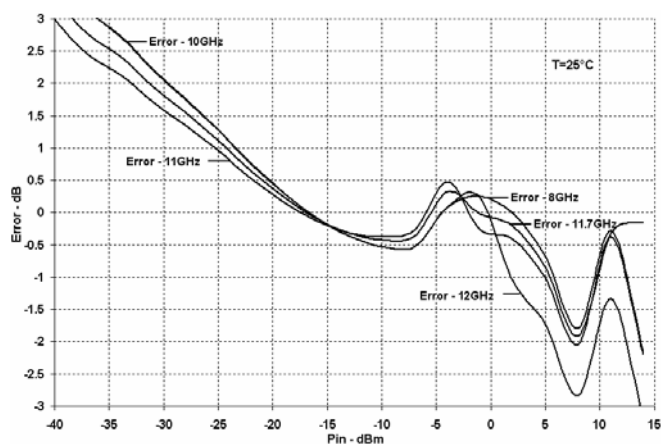
Slika 6. Rezultati proračuna greške prilikom merenja na originalnoj razvojnoj ploči kod logaritamskog pojačavača AD8318 na Ku frekvencijskom opegu.

Na osnovu rezultata prikazanih na graficima (slike 5 i 6), može se zaključiti da greška merenja kao i osetljivost detektora na višim učestanostima znatno degradira sa porastom frekvencije, a dinamika se smanjuje za grešku

merenja od  $\pm 1$ dB od 45dB (na 8GHz) do 25dB (na 12GHz). Uzimajući u obzir da pojačanje integrisanih pojačavačkih blokova ne može naglo da opadne i da granica detekcije anvelope merenog signala ostaje ista bez obzira na učestanost, zaključili smo da poboljšanjem prilagođenja po impedansi možemo dobiti na dinamici i smanjenju greške merenja. Daleko bolji rezultat će se dobiti ako se odredi konkretni raspon dinamike detektora, čime bi se stepen greške orijentisao samo za ograničeno područje merenja. Konkretna primer, nevezan za ovo ispitivanje, je upotreba logaritamskog detektora za kontrolu nivoa snage izlaznog pojačavača u novoj generaciji radio-relejnih uređaja na 13GHz Instituta IMTEL. Za ovu primenu, područje merenja nalazilo se između 0dBm i -30dBm, za grešku merenja  $\pm 1$ dB na temperaturnim područjima od  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $+55^{\circ}\text{C}$ . Izlazni vod predajne jedinice spregnut je prilagođenim sprežnikom 30dB i doveden na ulaz detektora. CPWG struktura kompletne mikrotalasne jedinice obezbedila je veliku izolaciju od nazračivanja, tako da nije bilo potrebno izvršiti dodatna oklapanja ili filtraciju spregnutog bloka za merenje izlaznog nivoa.



Slika 7. Rezultati merenja izlaznog napona u zavisnosti od nivoa ulaznog signala kod modula sa poboljšanim prilagođenjem - korekcija Ku opseg. (merenje izvršeno promenom nivoa ulaznog signala u koracima po 3 dB; grafik generisan Excel tabelom).

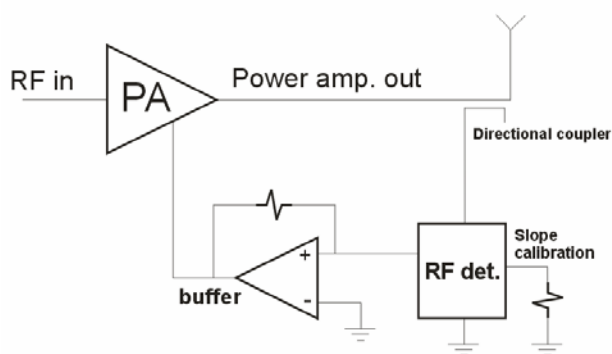


Slika 8. Rezultati proračuna greške prilikom merenja na prilagođenoj razvojnoj ploči kod logaritamskog pojačavača AD8318 na Ku frekvencijskom opegu.

## 5. METODE POSTPROCESIRANJA

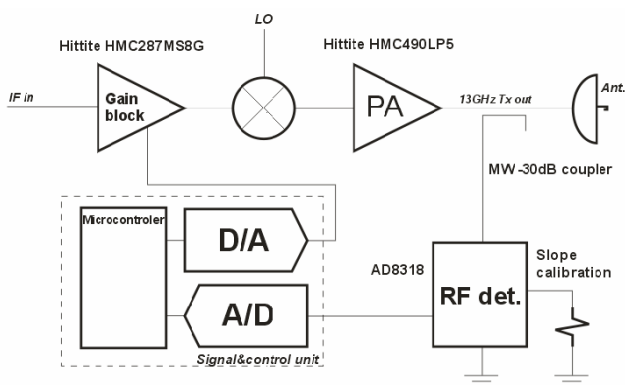
U uvodnom delu je bilo reči o primeni logaritamskog detektora u različitim telekomunikacionim uređajima i uređajima posebne namene. U ovom odeljku prikazali smo neke od mogućnosti kontrole snage pojačavača. Najveća pažnja posvećena je sistemu za kontrolu izlazne snage realizovanom u poslednjoj generaciji digitalnog radio-relejnog uređaja Instituta IMTEL.

Dva su osnovna principa upotrebe logaritamskog detektora. Shodno svrsi i iskorišćenju dinamike od 60dB, realizacija AGC bloka na učestanostima milimetarskog područja sa logaritamskim detektorom je vrlo jednostavna. Potrebno je spregnuti RF ulaz detektora na takav način da se obezbedi maksimalno iskorišćenje.



Slika 9. Jednostavna realizacija analogne kontinualne kontrole pojačanja RF pojačavača, AGC blok.

Pozitivna reakcija promene napona na gain bloku AGC pojačavača omogućava realizaciju bez upotrebe dodatnih blokova za inverziju kontrolnog napona. Ovo se odnosi i na mogućnost setovanja nagiba krive detektora  $V_{set}$  interfejsom, čime je obezbeđena pravilna monotonija promene pojačanja AGC bloka. Primena logaritamskog detektora kao AGC bloka postaje sve aktuelnija metoda, naročito kod prijemnika sa direktnom demodulacijom. Bez višestepenih konverzija, projektovanje AGC bloka na međufrekvenciji nije moguće, tako da je detekcija prijemnog signala na radnoj učestanosti jedino rešenje. Osim ove realizacije, logaritamski detektor može biti upotrebljen i za kontrolu predajne snage kod mikrotalasnih blokova.



Slika 10. Jedinica za kontrolu nivoa predajne snage kod poslednje generacije radio-relejnih uređaja Instituta IMTEL u frekventijskom opsegu 13GHz.

Primer prikazan na slici 10 je originalno rešenje digitalne kontrole predajne snage integrisane mikrotalasne jedinice poslednje generacije RR uređaja 13GHz IMTEL instituta. Za razliku od primera na slici 9, digitalno rešenje kontrole snage je znatno sporije, međutim mogućnosti su daleko veće - od digitalne kontrole izlazne snage pojačavača u visokoj rezoluciji, do kompenzacije promene pojačanja prilikom temperaturne tranzicije. Koncept je baziran na softverskom algoritmu koji se nalazi u obliku firmware-a unutar mikrokontrolera. Promenom nivoa RF signala na ulazu detektora, dobijeni napon se konvertuje preko A/D konvertora visoke rezolucije, obrađuje unutar kontrolera i preko D/A konvertora prosleđuje na kontrolni pin promenljivog pojačavača. Ovakav sistem kontrole je veoma upotrebljiv iz razloga što je podatak raspodeljiv sa ostalim interfejsima kod kojih je akvizicija ovakvog tipa potrebna.

## 4. ZAKLJUČAK

Logaritamski detektori će razvojem tehnologije izrade integrisanih kola zauzimati sve veći primat nad klasičnim metodama merenja nivoa RF signala. Iz rezultata koje smo dobili se vidi da je detektor najefikasniji u opsegu u kome ga je proizvođač deklarirao, ali i da je njegova primena moguća na višim frekventijskim opsezima, s tim da je greška merenja znatno veća, a dinamika smanjena. Najvažniji zaključak je to da ovaj detektor nalazi komercijalnu primenu u savremenim telekomunikacionim uređajima, da pored električnih karakteristika, njegove dimenzije, cena i fleksibilnost adaptacije pokazuju dosta kvalitetnije rezultate od prethodnih rešenja. U radu je takođe skrenuta pažnja na to da integracija modernih komponenti u module u velikoj meri doprinosi poboljšanju njihovih karakteristika, kao i proširenju dijapazona primene u telekomunikacionoj industriji.

**ZAHVALNICA** – Autori se zahvaljuju Ministarstvu za nauku tehnologiju i razvoj Republike Srbije za sufinansiranje rada.

## LITERATURA

- [1] M.Pilotte, "60 dB Log Amp provide Measurement and control up to 8GHz," *RF Globalnet magazine*, July 2004.
- [2] [www.analog.com](http://www.analog.com)
- [3] Wei Yu, Huang Chang, Sun Debao, Lou Yunfei, The *Detection of the Linear Frequency modulated Signal by Fractional Fourier Transform*, Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technology for Application (ICITA 2004.)
- [4] [www.hittite.com](http://www.hittite.com)

**Abstract** – The paper presents application of the latest generation of logarithmic RF signal detectors in microwave frequency ranges. The results obtained in the microwave laboratory of the IMTEL Institute are combined with results from Euro-Linear laboratories. A brief review of earlier realizations is given and methods of minimization of error ratio in measuring procedure as well as possibilities of calibration and post-processing methods are presented.

## LOGARITMIC RF SIGNAL DETECTOR FOR X AND Ku FREQUENCY RANGE

Petar Janković, Ivana Radnović, Siniša Jovanović