

NESIGURNOST MERENJA REFERENTNOG IZVORA RF SNAGE KOD MIKROTALASNIH VATMETARA

Milovan Unković, TOC KoV Poligon Luštica, ML 36 Tivat

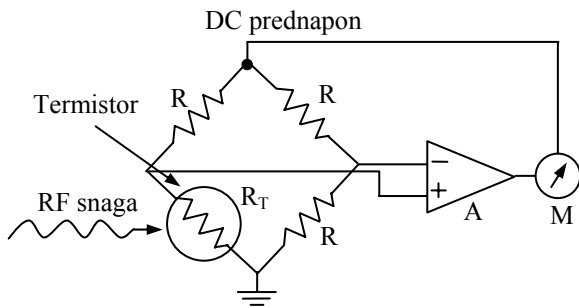
Sadržaj - U ovom radu se razmatra nesigurnost merenja RF snage referentnog izvora 50 MHz; 1,00 mW kod mikrotalasnih vatmetara sa diodnim i termopretvaračkim glavama.

1. UVOD

Mikrotalasni vatmetri sa termopretvaračkim i diodnim glavama rade u režimu otvorene petlje, pa ne postoji direktna mogućnost kompenzacije razlika u osetljivosti glava-senzora. Da bi se ovaj problem rešio u vatmetre navedenog tipa je ugrađen referentni izvor-oscilator koji radi na frekvenciji 50 MHz čija je izlazna snaga 1,00 mW. Vrlo je važno sa što manjom nesigurnošću izmeriti snagu ovog izvora jer navedena nesigurnost bitno određuje ukupnu nesigurnost merenja snage vatmetrima sa termopretvaračkim i diodnim glavama. Snaga referentnog izvora 1,00 mW; 50 MHz se najtačnije određuje posebnom metodom merenja vatmetrom 423A sa termistorskom glavom. U ovom radu se analizira nesigurnost merenja ove metode određivanja RF snage referentnog izvora.

2. PRINCIP RADA VATMETRA SA TERMISTORSKIM GLAVAMA

Termistor je poluprovodnik koji menja svoju otpornost usled promene temperature koja nastaje kada se dolazeća RF snaga disipira na elementu. Termistori sa negativnim temperaturnim koeficijentom koji se koriste za merenje RF snage se zovu bolometri. Promena otpora u odnosu na disipiranu RF snagu je nelinearna i razlikuje se od jednog do drugog termistora. Rešenje ovog problema je nađeno tako što se termistor ugrađuje u kolo Wheastone-ovog mosta (slika 1). Wheaston-ov most je uravnotežen kada su obe grane (strane) mosta jednake, tako da na mostu ne postoji razlika potencijala, odnosno ulazi u pojačavač A su jednaki.



Sl. 1. Wheastone-ov most sa termistorom

Most je u ravnoteži kada RF snaga ne dolazi na termistor. Kada RF snaga dođe na termistor, dolazi do njegovog zagrevavanja i smanjenja otpornosti. Promena otpornosti R_T dovodi do neuravnoteženosti mosta tako da se na ulazu

pojačavača javlja diferencijalni napon. Kako je pojačavač u zatvorenoj petlji, automatski se smanjuje DC prednapon i to za onu vrednost koja utiče na hlađenje termistora, smanjujući njegov otpor do vrednosti koja će most opet dovesti u ravnotežu. Smanjenje DC snage na termistoru je jednako povećanju RF snage koja dolazi na termistor. Instrument M meri veličinu snage koju pojačavač mora smanjiti da bi došlo do ponovnog uravnoteženja mosta, a ovo smanjenje snage odgovara povećanju RF snage koja se disipira na termistoru. Ova tehnika merenja RF snage je poznata kao metod DC zamene jer se RF snaga indirektno meri direktnim merenjem DC snage. Navedeno merenje ne zahteva spoljašnji referentni izvor jer se koristi zatvorena petlja. Na ovaj način se vrši merenje RF snage klasičnim vatmetrom HP 432A sa koaksijalnom termistorskom glavom 8478B, odnosno talasovodnim termistorskim glavama serije 486A.

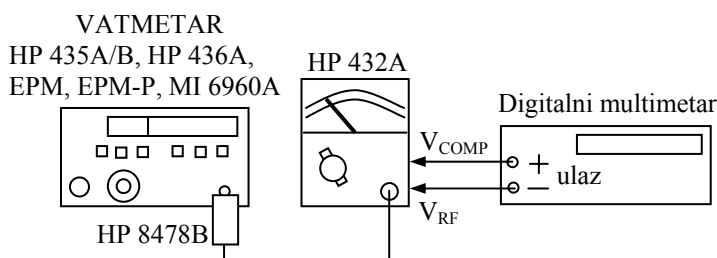
Glavni problem merenja, ako se koristi prosto kolo sa slike 1, javlja se jer se otpornost termistora menja i sa promenom temperature okoline. Bilo koja promena temperature okoline utiče na tačnost merenja RF snage. Da bi se ovaj uticaj korigovao dodaje se još jedan most sa termistorom koji detektuje promenu temperature okoline. Vatmetar HP 432A se postavlja prvobitno na nulu kada se ne meri RF snaga. RF most, koji sadrži merni termistor, automatski menja DC prednapon usled promene temperature okoline i dolazeće RF snage, i na taj način se uravnotežava. Supstituišući DC prednapon je označen sa V_{RF} . Kompenzacioni most, koji sadrži termistor za kompenzaciju promene temperature okoline, automatski se uravnotežuje menjajući DC prednapon (V_{COMP}) što odgovara promeni temperature ambijenta. Vatmetar HP 432A koristi DC spregu za uravnoteženje oba mosta. Instrumentalna tačnost vatmetra HP 432A je $\pm 1,0\%$. Postoji poseban metod merenja snage ovim vatmetrom koji instrumentalnu grešku smanjuje na $\pm 0,2\%$ [1]. Na zadnjoj strani HP 432A postoje BNC izlazi V_{RF} i V_{COMP} .

3. MERENJE SNAGE REFERENTNOG IZVORA KOD VATMETARA KOJI KORISTE TERMOPRETVARAČKE I DIODNE GLAVE

Kod vatmetara za termopretvaračke i diodne glave (HP 435A/B, HP 436A, Agilent: serije EPM i EPM-P, MARCONI MI 6960A, itd.) merenje se vrši u otvorenoj petlji pa je merenje termistorskim glavama inherentno tačnije. Međutim razlike osetljivosti raznih glava ili promena osetljivosti jednog senzora (glave) ovde je rešeno na drugi način. Naime, kod ovih vatmetara je uveden referentni izvor-oscilator na 50 MHz čija se snaga kontroliše sa povišenom tačnošću. Za kontrolu sistema, ili podešavanje na različite osetljivosti glave, korisnik priključuje glavu na izvor i odvrtkom preko trimer-potencijometra podešava vatmetar na očitavanje 1,00 mW. Prema tome, vrlo je važno odrediti sa što je moguće manjom nesigurnošću snagu referentnog

izvora. Snaga ovog izvora se najtačnije određuje specijalnom metodom merenja termistorskom glavom i vatmetrom HP

432A prema blok šemi na slici 2 [2], [3].



Sl. 2. Merenje snage referentnog izvora

Snaga referentnog oscilatora se računa po formuli:

$$P = \frac{2V_{COMP}(V_1 - V_0) + V_0^2 - V_1^2}{4R \cdot CF} \quad (1)$$

mereći napone V_0 , V_1 i V_{COMP} i otpornost R . CF je oznaka za faktor etaloniranja termistorske glave. U jednakosti (1) veličine imaju sledeće značenje:

- V_0 je napon meren između V_{COMP} i V_{RF} kada se ne dovodi RF snaga na termistorsku glavu vatmetra 432A nakon što je vatmetar postavljen na nulu ("nulovan"),
- V_1 je napon meren između V_{COMP} i V_{RF} kada je dovedena RF snaga na termistorsku glavu vatmetra 432A,
- V_{COMP} je napon između konektora V_{COMP} na zadnjoj strani vatmetra 432A i mase kada je na vatmetar dovedena RF snaga,
- R je nominalna otpornost termistora termistorske glave,
- CF je faktor etaloniranja (engl. calibration factor) termistorske glave na frekvenciji 50 MHz.

4. PRORAČUN NESIGURNOSTI MERENJA

Proračun nesigurnosti merenja snage referentnog oscilatora vatmetra sa termopretvaračkim i diodnim glavama je ilustrovan konkretnim merenjem koje je izvedeno u metrološkoj laboratoriji ML 36. Kao izvor RF signala 1,00 mW; 50 MHz se koristio vatmetar za termopretvaračke i diodne glave HP 436A, s/b 2515U03190. Za merenje referentnog signala se koristio vatmetar HP 432A, s/b 1848A19809 sa termistorskom glavom HP 8478B, s/b 2106A18742. Za merenje napona V_{COMP} , V_1 i V_0 i otpornosti R koristili su se multimetri HP 3490A, s/b 1211A00815 i JF 8505A, s/b 4428012.

Izvršeno je deset merenja i rezultati su dati u tabeli 1.

Tabela 1 Rezultati merenja veličina V_{COMP} , V_1 , V_0 , R i proračun P

Red. broj	R [Ω]	V_{COMP} [V]	V_0 [μ V]	V_1 [mV]	P [mW]
1.	200,548	4,6776	84	88,237	1,0289386
2.	200,562	4,6834	79	88,098	1,0286030
3.	200,542	4,6859	67	88,022	1,0282391
4.	200,537	4,6761	89	88,252	1,0287771
5.	200,540	4,7034	78	87,686	1,0283907
6.	200,536	4,6957	83	87,861	1,0286627
7.	200,537	4,6840	77	88,063	1,0284851
8.	200,538	4,6870	82	88,027	1,0286667
9.	200,537	4,6775	86	88,214	1,0286841
10.	200,551	4,6734	102	88,300	1,0285053

Aritmetička sredina proračuna snage referentnog oscilatora je $\bar{P}=1,0285952$ mW. Eksperimentalno standardno odstupanje je $s(P)=2,0076095 \cdot 10^{-8}$ W.

Standardna nesigurnost A tipa je:

$$U(P) = s(\bar{P}) = \frac{2,0076095}{\sqrt{10}} = 0,634862 \cdot 10^{-8} \text{ W} \quad (2)$$

Koristeći postupak dat u [4] možemo izvršiti proračun nesigurnosti merenja. Ovaj proračun je dat u tabeli 2. Veličine $U_i(y)$ u ovoj tabeli predstavljaju doprinos standardnoj nesigurnosti koja je pridružena proceni izlazne veličine y . Veza procene izlazne veličine y i procene ulaznih veličina x_i je data relacijom:

$$U_i(y) = C_i U(x_i) \quad (3)$$

gde su C_i koeficijenti osetljivosti pridruženi proceni ulazne veličine x_i . Koeficijenti osetljivosti se dobijaju preko relacije:

$$C_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial X_i} \Big|_{X_1=x_1 \dots X_N=x_n} \quad (4)$$

Primenjujući relaciju (4) na jednakost (1) imamo:

$$C_1 = \frac{\partial P}{\partial R} = -\frac{1}{4CF \cdot R^2} [2V_{COMP}(V_1 - V_0) + V_0^2 - V_1^2] \quad (5)$$

$$C_2 = \frac{\partial P}{\partial CF} = -\frac{1}{4R \cdot (CF)^2} [2V_{COMP}(V_1 - V_0) + V_0^2 - V_1^2] \quad (6)$$

$$C_3 = \frac{\partial P}{\partial V_{COMP}} = \frac{V_1 - V_0}{2CF \cdot R} \quad (7)$$

$$C_4 = \frac{\partial P}{\partial V_0} = \frac{1}{2CF \cdot R} [V_{COMP} + V_0] \quad (8)$$

Tabela 2. Proračun nesigurnosti za P

Veličina	Procena x_i	Standardna nesigurnost $U(x_i)$	Raspodela verovatnoće	Koeficijent osetljivosti C_i	Doprinos nesigurnosti $U_i(y)$
R	200,5428	$4,2839 \cdot 10^{-3}$	ravnomerna	$-0,0513 \cdot 10^{-3}$	$-0,2197 \cdot 10^{-6}$
CF	0,9897	0,01106	U-tip	$-1,039 \cdot 10^{-3}$	$-11,4949 \cdot 10^{-6}$
V_{COMP}	4,6844	$0,5211 \cdot 10^{-3}$	ravnomerna	$0,22167 \cdot 10^{-3}$	$0,115524 \cdot 10^{-6}$
V_0	$82,7 \cdot 10^{-6}$	$2,8939 \cdot 10^{-6}$	ravnomerna	0,01256	$0,03634 \cdot 10^{-6}$
V_1	$88 \cdot 10^{-3}$	$10,5143 \cdot 10^{-6}$	ravnomerna	0,01158	$0,12176 \cdot 10^{-6}$
P	$1,02859 \cdot 10^{-3}$				$11,496 \cdot 10^{-6}$

$$C_5 = \frac{\partial P}{\partial V_1} = \frac{1}{2CF \cdot R} [V_{COMP} + V_0] \quad (9)$$

nesigurnosti merenja referentnog izvora 50 MHz; 1,00 mW i ovaj proračun će ući u registar nesigurnosti merenja metrološke laboratorije ML 36 prilikom njene akreditacije kod JUAT-a.

Sve navedene raspodele gustine verovatnoće u tabeli 2 su ravnomerne, osim raspodele verovatnoće za faktor etaloniranja koja je U-tipa. Raspodela U-tipa se dobija kada se u ravnomernoj raspodeli verovatnoće faktor 1/3 zameni sa 1/2.

Iz table 2 se vidi da je kombinovana merna nesigurnost tip A χ tip B jednaka 11,4962 μ W.

Proširena nesigurnost merenja je:

$$U = k \cdot U(P) = 2 \cdot 11,496 \mu W = 22,992 \mu W$$

gde je $k=2$ koeficijent proširenja.

U tehničkom uputstvu [3] su dati sledeći podaci za referentni izvor 50 MHz:

- u fabrici je postavljena tačnost izvora od $\pm 0,7$ % (sledljivost prema NIST-u),
- vremenska stabilnost je $\pm 1,2$ % (metod najgoreg slučaja), odnosno $\pm 0,9$ % (metod kvadratnog korena iz zbira kvadrata - RSS) za godinu dana.

U našem slučaju odstupanje od nominalne vrednosti 1,00 mW iznosi 28,59 μ W, odnosno 2,78 %, ali i ukupna nesigurnost merenja sa faktorom proširenja $k=2$ iznosi 22,99 μ W, odnosno 2,247 % od nominalne vrednosti snage izvora.

5. ZAKLJUČAK

Za svaku metodu merenja standard JUS ISO/IEC 17025: 2001: "Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i etaloniranje", zahteva proračun i prikaz nesigurnosti merenja. Proračun nesigurnosti merenja referentnog izvora RF snage vatmetra za termistorske i termopretvaračke glave bitno utiče na ukupnu nesigurnost merenja mikrotalasne snage i nesigurnosti prenosa faktora etaloniranja. U ovom radu je dat postupak evoluiranja

ZAHVALNOST

Autor rada se zahvaljuje svojim saradnicima u metrološkoj laboratoriji ML 36: Grle Robertu i Zoranu Markoviću na korektno izvršenim merenjima i proračunu nesigurnosti, Rastku Stankovu na pregledu teksta rada i davanju korisnih sugestija i Ivanu Backoviću na posebnom zalaganju pri tehničkoj pripremi rada.

LITERATURA

- [1] HP Application Note 64-1: "Fundamental of RF and Microwave Measurements", Hewlett Packard, Palo Alto, CA, USA, August 1977.
- [2] Agilent Application Note 64-1A: "Fundamental of RF and Microwave Measurements", Agilent Technologies, Lit. No. 5965-6630, April 2000.
- [3] "Agilent E4418B/E4419B Service Guide", Agilent Technologies, Part. No. E4418-90059, November 2001.
- [4] EA-4/02, "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration", European Cooperation for Accreditation: 2002.

Abstract - This article covers RF power measuring uncertainty of reference source 50 MHz; 1,00 mW of the microwave power meters for diode and thermocouple sensors.

UNCERTAINTY OF MEASUREMENT MICROWAVE POWER METER'S REFERENCE OSCILLATOR RF POWER

Milovan Unković