

# Metoda ocene primarnih parametara debeloslojnih otpornih struktura

Ivanka Stanimirović, Zdravko Stanimirović

IRITEL a.d. Beograd

Beograd, Republika Srbija

[inam@iritel.com](mailto:inam@iritel.com); [zdravkos@iritel.com](mailto:zdravkos@iritel.com)

**Sažetak**— U radu je predložena metoda ocene primarnih geometrijskih, fizičkih i tehnoloških parametara debeloslojnih otpornika zasnovana na merenjima otpornosti i spektra šuma. Metoda zasnovana na determinističkom modelu debeloslojnih otpornika za cilj ima korelaciju analizu promene izmerenih vrednosti otpornosti i šuma i primarnih parametara strukture odgovornih za registrovane promene kod otpornika izloženih naprezanju.

**Ključne reči**— MEMS; debeloslojni otpornik; deterministički model; spektar šuma; otpornost; primarni geometrijski parametri; primarni fizički parametri; primarni tehnološki parametri.

## I. UVOD

Kada se kasnih 1980-tih godina pojavila tehnologija mikro-elektro-mehaničkih sistema (MEMS) u najvećoj meri se radilo o silicijumskim napravama realizovanim tehnikama površinskog mikromašinstva. Danas se MEMS naprave realizuju različitim tehnologijama pomoću širokog spektra različitih materijala. Keramički (C-MEMS) i hibridni (H-MEMS – kombinacija Si i keramičkih MEMS) mikro-elektro-mehanički sistemi su obično većih dimenzija i uglavnom se koriste u ekstremnim radnim uslovima. Kada se radi o H-MEMS napravama keramički materijali se obično, zbog svojih fizičkih svojstava, koriste kao podloga za montažu silicijumskih MEMS naprava. Sa druge strane, realizacija C-MEMS se bazira na tehnologiji debelog filma koja je u upotrebi već decenijama, i najčešće se koristi u komercijalnoj i specijalizovanoj elektronici. Ponovna aktuelizacija ove tehnologije se može pripisati mogućnostima simultane realizacije senzorskih i aktuatorskih elemenata na zajedničkoj podlozi zajedno sa pratećim elementima za procesiranje signala. Pored toga, jedna od najvećih prednosti tehnologije debelog filma je mogućnost primene debeloslojnih otpornika i kao senzorskih i kao otpornih elemenata. Nove primene ovih otpornika su dovele do smanjenja dimenzija otpornika, strožih zahteva vezanih za tolerancije i sve češću primenu ukopanih komponenti. Međutim, za uspešnu komercijalizaciju C-MEMS naprava od ključnog značaja je i pitanje pouzdanosti otpornika. U tom smislu je od interesa da se razviju adekvatne metode za ocenu glavnih geometrijskih, fizičkih i tehnoloških parametara debeloslojnih otpornika pomoću standardnih električnih merenja. U radu je predložena metoda ocene primarnih

parametara debeloslojnih otpornika zasnovana na merenjima otpornosti i spektra šuma pomoću koje se može analizirati veza promene izmerenih vrednosti i odgovornih primarnih parametara strukture za otpornike izložene različitim vidovima naprezanja.

## II. METODA OCENE PRIMARNIH PARAMETARA DEBELOSLOJNIH OTPORNIKA

Na osnovu determinističkog modela [1] debeloslojni otpornik čini  $M$  provodnih lanaca sa  $N_C = MK_C$  kontakata između dve susedne provodne čestice i  $N_B = MK_B$  metal-izolator-metal ćelija. Ukupni šum se tada može pretstaviti kao:

$$\frac{S_V(f)}{V^2} = F_C \cdot S_{VC0} + F_{BN} S_{VBN0} + F_{NT} S_{VT0}. \quad (1)$$

$1/f$  šum potiče od kontakata susednih provodnih čestica i od metal-izolator-metal ćelija usled modulacija Najkvistovim šumom.  $1/f$  šum koji potiče od kontakata dve provodne čestice dat je izrazom [2]:

$$S_{VC0} = \frac{\alpha_H}{V_{eff} n f}, \quad (2)$$

gde je  $\alpha_H$  Hugov parametar,  $V_{eff}$  efektivna zapremina kontakata dve provodne čestice i  $n$  koncentracija elektrona u oblasti njihovog kontakata. Parametar  $F_C$  dat je izrazom:

$$F_C = \frac{1}{N_C} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{N_B R_B}{N_C R_C}\right)^2} = \frac{K_C R_C^2}{M(K_C R_C + K_B R_B)^2}. \quad (3)$$

$1/f$  šum koji potiče od metal-izolator-metal ćelije usled modulacije Najkvistovim šumom dat je izrazom [2]:

$$S_{VBN0} = \frac{4\pi m q k T}{3\Phi_B h^2} \cdot \text{tg} \delta \cdot \frac{s^2}{C} \cdot \frac{1}{f}, \quad (4)$$

gde je  $m$  efektivna masa elektrona,  $q$  naelektrisanje elektrona,  $k$  Bolcmanova konstanta,  $T$  apsolutna temperatura,  $\Phi_B$  visina potencijalne barijere metal-izolator-metal ćelije,  $h$  Plankova konstanta,  $\delta$  ugao gubitaka izolatora metal-izolator-metal

ćelije,  $s$  širina izolacionog sloja metal-izolator-metal ćelije i  $C$  njena kapacitivnost. Tada je parametar  $F_{BN}$ :

$$F_{BN} = \frac{1}{N_B} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{N_C R_C}{N_B R_B}\right)^2} = \frac{K_B R_B^2}{M(K_B R_B + K_C R_C)^2}. \quad (5)$$

Šum usled prisustva klopke u metal-izolator-metal ćeliji rezultuje šumom [2]:

$$S_{VTO} = \frac{8\pi m q^3}{h^2 \Phi_B \epsilon_0^2 \epsilon_r^2} \frac{s^2 x_1^2 \chi}{A^2} \frac{\theta_\tau}{(1 + \theta_\tau)^2} \frac{\tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (6)$$

sa:

$$\chi = \left(1 - \frac{x_1}{s}\right)^2 \left[ \left(1 - \frac{x_1}{s}\right)^2 + \frac{x_1^2}{s^2} \right], \quad \theta_\tau = \frac{\tau_c}{\tau_e}, \quad \frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_c} + \frac{1}{\tau_e}, \quad (7)$$

pri čemu su veličine u ovim izrazima:  $\epsilon_0$  dielektrična konstanta vakuuma,  $\epsilon_r$  relativna dielektrična konstanta izolacionog sloja metal-izolator-metal ćelije,  $x_1$  položaj klopke unutar izolacionog sloja,  $\tau_c$  vremenska konstanta zahvata elektrona klopkom,  $\tau_e$  vremenska konstanta emisije elektrona klopkom a parametar  $F_{NT}$  dat je izrazom:

$$F_{NT} = \frac{1}{N_B} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{N_C R_C}{N_B R_B}\right)^2} \cdot \frac{N_T}{N_B} = \frac{N_T R_B^2}{M^2 (K_B R_B + K_C R_C)^2} = \frac{K_T R_B^2}{M(K_B R_B + K_C R_C)^2}. \quad (8)$$

U gornjim izrazima su:  $N_T$  broj klopki u otporniku,  $R_C$  otpornost kontakta dva provodna zrna [3]:

$$R_C = \frac{\rho}{\pi a}, \quad (9)$$

gde je  $\rho$  specifična otpornost provodne čestice u oblasti kontakta,  $a$  poluprečnik kontakta dve provodne čestice, a  $R_B$  otpornost barijere [3]:

$$R_B = \frac{h^2 s}{q^2 A (2mq\Phi_B)^{1/2}} \exp\left[\left(\frac{32\pi^2 mqs^2 \Phi_B}{h^2}\right)^{1/2}\right], \quad (10)$$

pri čemu je  $A$  je površina kroz koju se vrši tunelovanje i računa se kao  $A = \pi(0.16\sqrt{d})^2$ , gde je  $d$  prečnik provodne čestice.

Tada se ocena promene spektara šuma može vršiti na osnovu sledećih relacija:

$$\Delta F_C = \frac{\partial F_C}{\partial K_C} \Delta K_C + \frac{\partial F_C}{\partial K_B} \Delta K_B + \frac{\partial F_C}{\partial M} \Delta M + \frac{\partial F_C}{\partial R_C} \Delta R_C + \frac{\partial F_C}{\partial R_B} \Delta R_B, \quad (11)$$

$$\Delta F_{BN} = \frac{\partial F_{BN}}{\partial K_C} \Delta K_C + \frac{\partial F_{BN}}{\partial K_B} \Delta K_B + \frac{\partial F_{BN}}{\partial M} \Delta M + \frac{\partial F_{BN}}{\partial R_C} \Delta R_C + \frac{\partial F_{BN}}{\partial R_B} \Delta R_B, \quad (12)$$

$$\Delta F_{NT} = \frac{\partial F_{NT}}{\partial K_C} \Delta K_C + \frac{\partial F_{NT}}{\partial K_B} \Delta K_B + \frac{\partial F_{NT}}{\partial M} \Delta M + \frac{\partial F_{NT}}{\partial R_C} \Delta R_C + \frac{\partial F_{NT}}{\partial R_B} \Delta R_B, \quad (13)$$

$$\Delta S_{VC0} = \frac{\partial S_{VC0}}{\partial V_{eff}} \Delta V_{eff}, \quad (14)$$

$$\Delta S_{VBN0} = \frac{\partial S_{VBN0}}{\partial \Phi_B} \Delta \Phi_B + \frac{\partial S_{VBN0}}{\partial s} \Delta s + \frac{\partial S_{VBN0}}{\partial C} \Delta C, \quad (15)$$

$$\Delta S_{VTO} = \frac{\partial S_{VTO}}{\partial \Phi_B} \Delta \Phi_B + \frac{\partial S_{VTO}}{\partial s} \Delta s + \frac{\partial S_{VTO}}{\partial x_1} \Delta x_1. \quad (16)$$

Za male izmene promena spektra šuma na osnovu relacije (1) postaje:

$$\Delta\left(\frac{S_V(f)}{V^2}\right) = \Delta(F_C \cdot S_{VC0}) + \Delta(F_{BN} S_{VBN0}) + \Delta(F_{NT} S_{VTO}), \quad (17)$$

$$\Delta\left(\frac{S_V(f)}{V^2}\right) = S_{VC0} \Delta F_C + F_C \Delta S_{VC0} + S_{VBN0} \Delta F_{BN} + F_{BN} \Delta S_{VBN0} + S_{VTO} \Delta F_{NT} + F_{NT} \Delta S_{VTO}. \quad (18)$$

Ovaj izraz omogućava da se izvrši analiza uticaja pojedinih parametara na tok promene šuma tj. da se uspostavi korelacija između izmene šuma i parametara u determinističkom modelu.

Ukupna otpornost debeloslojnog otpornika prema determinističkom modelu data je u obliku [2]:

$$R = \frac{K_C R_C + K_B R_B}{M^2}, \quad (19)$$

dok je totalni diferencijal otpornosti:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial K_C} dK_C + \frac{\partial R}{\partial R_C} dR_C + \frac{\partial R}{\partial K_B} dK_B + \frac{\partial R}{\partial R_B} dR_B + \frac{\partial R}{\partial M} dM. \quad (20)$$

Za konačne razlike, analiza uticaja pojedinih parametara strukture na tok promene otpornosti se može izvršiti na osnovu izraza:

$$\Delta R \approx \frac{R_C}{M} \Delta K_C + \frac{K_C}{M} \Delta R_C + \frac{R_B}{M} \Delta K_B + \frac{K_B}{M} \Delta R_B - \frac{R}{M} \Delta M. \quad (21)$$

### III. ANALIZA METODE

Prilikom izlaganja debeloslojnih otpornika različitim vidovima naprežanja kao što je npr. podešavanje vrednosti otpornosti energijom visokonaponskih impulsa [4] ili rad u uslovima visokonaponskog [5, 6] i/ili mehaničkog naprežanja [7] dolazi do strukturalnih promena otpornika. Prisutni mehanizmi provođenja u otporniku zavise od upotrebljenih debeloslojnih otpornih materijala odnosno od slojne otpornosti otpornika koja je određena zapreminskim udelom provodnih čestica u upotrebljenom otpornom sastavu. Na primeru podešavanja otpornosti debeloslojnih otpornika energijom visokonaponskih impulsa analizirana je korelacija izmene otpornosti, šuma i primarnih parametara otpornika za otpornike slojnih otpornosti  $1\text{k}\Omega/\text{sq}$ ,  $10\text{k}\Omega/\text{sq}$  i  $100\text{k}\Omega/\text{sq}$ , pri čemu primarni parametri uključuju glavne geometrijske, fizičke i tehnološke parametre strukture. Kada su geometrijski parametri u pitanju reč je o širini potencijalne barijere i površini kroz

koju se vrši tunelovanje. Primarni fizički parametri su kapacitivnost metal-izolator-metal ćelije i visina potencijalne barijere. Broj kontakata, barijera i klopki u jednom provodnom lancu kao i broj provodnih lanaca u debeloslojnom otporniku su primarni tehnološki parametri.

Kod debeloslojnih otpornika niskih slojnih otpornosti ( $1\text{k}\Omega/\text{sq}$ ) je dominantan mehanizam provođenja metalno provođenje kroz metalne čestice i kontakte između susednih provodnih čestica u lancu. Visokonaponski tretman kod njih izaziva makrostrukturne promene. Ono može izazvati različite promene: promene u kontaktnoj oblasti otpornik-provodnik, migracije provodnog materijala iz kontaktne oblasti provodnik-otpornik, narušavanje integriteta otpornog sloja usled prisustva ili migracija defekata i nečistoća što rezultuje porastom otpornosti i šuma. Najizraženije makrostrukturne promene kao što su sagorevanje i isparavanje otpornog sloja koje dovode do smanjenja zapremine otpornika potpadaju pod promene koje narušavaju integritet otpornog sloja i dovode do nadrastičnije izmene parametara. Primarni parametri odgovorni za pojavu ovih efekata su tehnološki parametri:  $M$ ,  $K_C$ ,  $K_B$  i  $K_T$ . Rast vrednosti otpornosti koji je posledica makrostrukturnih promena se vezuje za pad broja kontakata, povećanje broja barijera i smanjenje broja lanaca u smislu narušavanja integriteta otpornog sloja pri čemu izmena broja centara zahvata u izolatorskim slojevima metal-izolator-metal ćelija ne utiče na promenu vrednosti otpornosti već samo na šumne performanse otpornika.

Kod otpornika viših slojnih otpornosti ( $100\text{k}\Omega/\text{sq}$ ) dominantan mehanizam provođenja je tunelovanje kroz staklene barijere. Visokonaponski tretman ovih otpornika dovodi do izmena na nivou mikrostrukture. Dolazi do izmene vezanog opterećenja u izolatoru metal-izolator-metal ćelije ili do promene koncentracije klopki unutar staklenih barijera rezultujući padom otpornosti i rastom šuma. Izraz za otpornost pretpostavlja da je sa stanovišta otpornosti dominantni transportni proces direktno tunelovanje kroz barijeru, a ne uzima u obzir tunelovanje posredstvom klopki, pretpostavljajući da je njihov broj u jednoj metal-izolator-metal ćeliji mali. Kao takvo, tunelovanje posredstvom klopki ne mora da bude dominantno u transportu nosilaca, ali može da utiče na fluktuacije transporta, odnosno na šum. Stoga je primarni parametar odgovoran za ponašanje otpornika viših slojnih otpornosti fizički parametar  $\Phi_B$  (visina potencijalne barijere), dok tehnološki parametar  $K_T$  (broj klopki u jednom provodnom lancu) utiče samo na šumne performanse a ne utiče na izmenu vrednosti otpornosti, osim u slučaju kada je broj klopki u metal-izolator-metal ćeliji veliki te verovatnoća tunelovanja raste što rezultuje padom otpornosti.

Otpornici srednjih vrednosti slojne otpornosti ( $10\text{k}\Omega/\text{sq}$ ) objedinjuju efekte viđene kod otpornika nižih i viših slojnih otpornosti. Promena otpornosti ovih otpornika se vezuje za promene na nivou mikrostrukture viđene kod otpornika slojne otpornosti  $100\text{k}\Omega/\text{sq}$  i promene na nivou makrostrukture viđene kod otpornika slojne otpornosti  $1\text{k}\Omega/\text{sq}$ . Shodno tome, primarni parametri odgovorni za pad otpornosti, tj. mikrostrukturne promene su u prvom redu visina potencijalne barijere  $\Phi_B$ , dok broj klopki u jednom provodnom lancu  $K_T$  ne utiče na izmenu vrednosti otpornosti već samo na šumne performanse otpornika, osim u slučaju kada je broj klopki u metal-izolator-

metal ćeliji veliki te verovatnoća tunelovanja raste što rezultuje padom otpornosti. Za porast otpornosti otpornika slojne otpornosti  $10\text{k}\Omega/\text{sq}$  odgovorni su parametri  $M$ ,  $K_C$ ,  $K_B$  i  $K_T$  koji se, slično kao kod otpornika slojne otpornosti  $1\text{k}\Omega/\text{sq}$ , menjaju na sledeći način: broj kontakata  $K_C$  opada, broj barijera  $K_B$  raste, broj lanaca  $M$  opada dok izmena broja centara zahvata u izolatorskim slojevima metal-izolator-metal ćelija  $K_T$  utiče samo na šumne performanse otpornika.

U Tabeli I prikazana je ocena toka promena otpornosti i šumnih performansi na osnovu toka promena primarnih geometrijskih, fizičkih i tehnoloških parametara debeloslojnih otpornika: širine staklene barijere metal-izolator-metal ćelije  $s$ , površine kroz koju se vrši tunelovanje  $A$ , kapacitivnosti metal-izolator-metal ćelije  $C$ , visine potencijalne barijere  $\Phi_B$ , broja paralelnih provodnih lanaca koji čine debeloslojni otpornik  $M$ , broja kontakata  $K_C$ , broja barijera  $K_B$  i broja klopki  $K_T$  u jednom lancu provodnih čestica. Tokovi promena parametara su određeni na osnovu jednačina iz poglavlja II za početne vrednosti parametara  $\Phi_B=1\text{eV}$ ,  $\text{tg}\delta=0.1$  i sledeće zapreminske udele provodne faze:  $v_c(1\text{k}\Omega/\text{sq})=0.28$ ,  $v_c(10\text{k}\Omega/\text{sq})=0.2$  i  $v_c(100\text{k}\Omega/\text{sq})=0.1$ .

TABELA I. OCENA TOKA PROMENA OTPORNOSTI ŠUMNIH PERFORMANSI NA OSNOVU TOKA PROMENA PRIMARNIH GEOMETRIJSKIH, FIZIČKIH I TEHNOLOŠKIH PARAMETARA DEBELOSLOJNIH OTPORNIKA

<b>Geometrijski param.</b>	<b>Tok promene</b>	<b>Otpornost</b>	<b>Šum</b>
<i>Širina staklene Barijere</i>	raste	raste	raste
	opada	opada	opada
<i>Površina kroz koju se vrši tunelovanje</i>	raste	opada	opada
	opada	raste	raste
<b>Fizički param.</b>	<b>Tok promene</b>	<b>Otpornost</b>	<b>Šum</b>
<i>Kapacitivnost metal-izolator-metal ćelije</i>	raste	-	opada
	opada	-	raste
<i>Visina potencijalne barijere</i>	raste	raste	opada
	opada	opada	raste
<b>Tehnološki param.</b>	<b>Tok promene</b>	<b>Otpornost</b>	<b>Šum</b>
<i>Broj kontakata</i>	raste	opada	raste
	opada	raste	opada
<i>Broj barijera</i>	raste	raste	opada
	opada	opada	raste
<i>Broj klopki</i>	raste	-	raste
	opada	-	opada
<i>Broj paralelnih provodnih lanaca</i>	raste	opada	raste
	opada	raste	opada

#### IV. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana metoda ocene primarnih parametara debeloslojnih otpornih struktura zasnovana na merenjima otpornosti i spektra šuma. Na primeru podešavanja otpornosti debeloslojnih otpornika energijom viskonaponskih impulsa analizirana je korelacija izmene otpornosti, šuma i primarnih

parametara otpornika za otpornike slojnih otpornosti  $1k\Omega/sq$ ,  $10k\Omega/sq$  i  $100k\Omega/sq$ .

Kada su u pitanju otpornici niskih slojnih otpornosti ( $\leq 1k\Omega/sq$ ) makrostrukturne promene se tokom izlaganja otpornika energiji visokonaponskih impulsa dešavaju na nivou makrostrukture i posledica su fluktuacija dominantnog provodnog mehanizma - metalnog provođenja kroz provodne čestice i kontakte između susednih provodnih čestica u lancu. Primarni parametri odgovorni za promene otpornosti i šumnih performansi su tehnološki parametri: broj kontakata, broj barijera, broj klopki i broj paralelnih provodnih lanaca u debeloslojnom otporniku.

Kod otpornika visokih vrednosti slojnih otpornosti ( $\geq 100k\Omega/sq$ ) promene se dešavaju na nivou mikrostrukture usled fluktuacija dominantnog transportnog procesa - direktnog tunelovanja kroz barijeru. Primarni parametar odgovoran za mikrostrukturne promene je u prvom redu promena visina potencijalne barijere dok broj klopki u jednom provodnom lancu utiče samo na šumne performanse otpornika.

Kada je reč o otpornicima srednjih slojnih otpornosti promene se dešavaju na nivou mikro i makrostrukture zato što otpornici ovih slojnih otpornosti objedinjuju dominantne mehanizme provođenja karakteristične za otpornike viših i nižih slojnih otpornosti: metalno provođenje i tunelovanje kroz staklene barijere. Pad otpornosti kod ovih otpornika se pripisuje promenama na nivou mikrostrukture, a porast makrostrukturnim promenama. Shodno tome primarni parametri odgovorni za promene na nivou mikrostrukture su fizički parametar visina potencijalne barijere i broj klopki u jednom provodnom lancu kao tehnološki parametar. Za makrostrukturne promene odgovorni su broj kontakata, broj barijera, broj klopki i broj paralelnih provodnih lanaca kao tehnološki parametri debeloslojnih otpornika.

Treba naglasiti da se standardna karakterizacija debeloslojnih otpornika izloženih naprezanju obično zasniva na merenjima drifta otpornosti i šuma bez osvrta na prirodu ovih promena. Definisane primarnih parametara odgovornih za primene na nivou makro i mikrostrukture otpornika trebalo

bi da pruži dodatne informacije o očekivanom ponašanju debeloslojnih otpornika u uslovima naprezanja ne bi li se obezbedile predvidive, ponovljive i pouzdane vrednosti otpornosti i predvidive šumne performanse otpornika.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan zahvaljujući podršci Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru angažovanja na projektima III44003 i III45007.

#### LITERATURA

- [1] Jevtić, M.M.–Stanimirović, Z.– Stanimirović, I.: Evaluation of thick-film structural parameters based on noise index measurements, *Microelectronics Reliability* 41, pp. 59-66, 2001.
- [2] I. Mrak, M.M. Jevtić, Z. Stanimirović, "Low-frequency Noise in Thick-film Structures Caused by Traps in Glass Barriers", *Microelectronics Reliability*, 38, pp. 1569-1576, 1998.
- [3] A. Kusy, A. Szpytma, "On  $1/f$  Noise in  $RuO_2$ -based Thick Resistive Films", *Solid-State Electronics*, 29, pp. 657-665, 1986.
- [4] Z. Stanimirović, I. Stanimirović, "Effects of High Voltage Pulse Trimming on Structural Properties of Thick-Film Resistors", *Science of Sintering*, accepted for publication on March 03, 2016.
- [5] I. Stanimirović, M.M. Jevtić, Z. Stanimirović, "High-Voltage Pulse Stressing of Thick-Film Resistors and Noise", *Microelectronics Reliability*, 43, pp. 905-911, 2003.
- [6] I. Stanimirović, M.M. Jevtić, Z. Stanimirović, "Multiple High-Voltage Pulse Stressing of Conventional Thick-Film Resistors", *Microelectronics Reliability*, 47, pp. 2242-2248, 2007.
- [7] Z. Stanimirović, M.M. Jevtić, I. Stanimirović, Simultaneous Mechanical and Electrical Straining of Conventional Thick-Film Resistors, *Microelectronics Reliability*, 48, pp. 59-67, 2008.

#### ABSTRACT

In this paper a method for evaluation of thick-film resistor primary geometrical, physical and technological parameters based on resistance and noise spectrum measurements is presented. Described method, based on the deterministic model of thick-film resistor, aims to correlate measured changes in resistance and noise spectrum values caused by resistor straining to primary parameters responsible for observed behavior.

#### METHOD FOR EVALUATION OF THICK-FILM RESISTOR PRIMARY PARAMETERS

Ivanka Stanimirović, Zdravko Stanimirović