

# INFORMACIJE

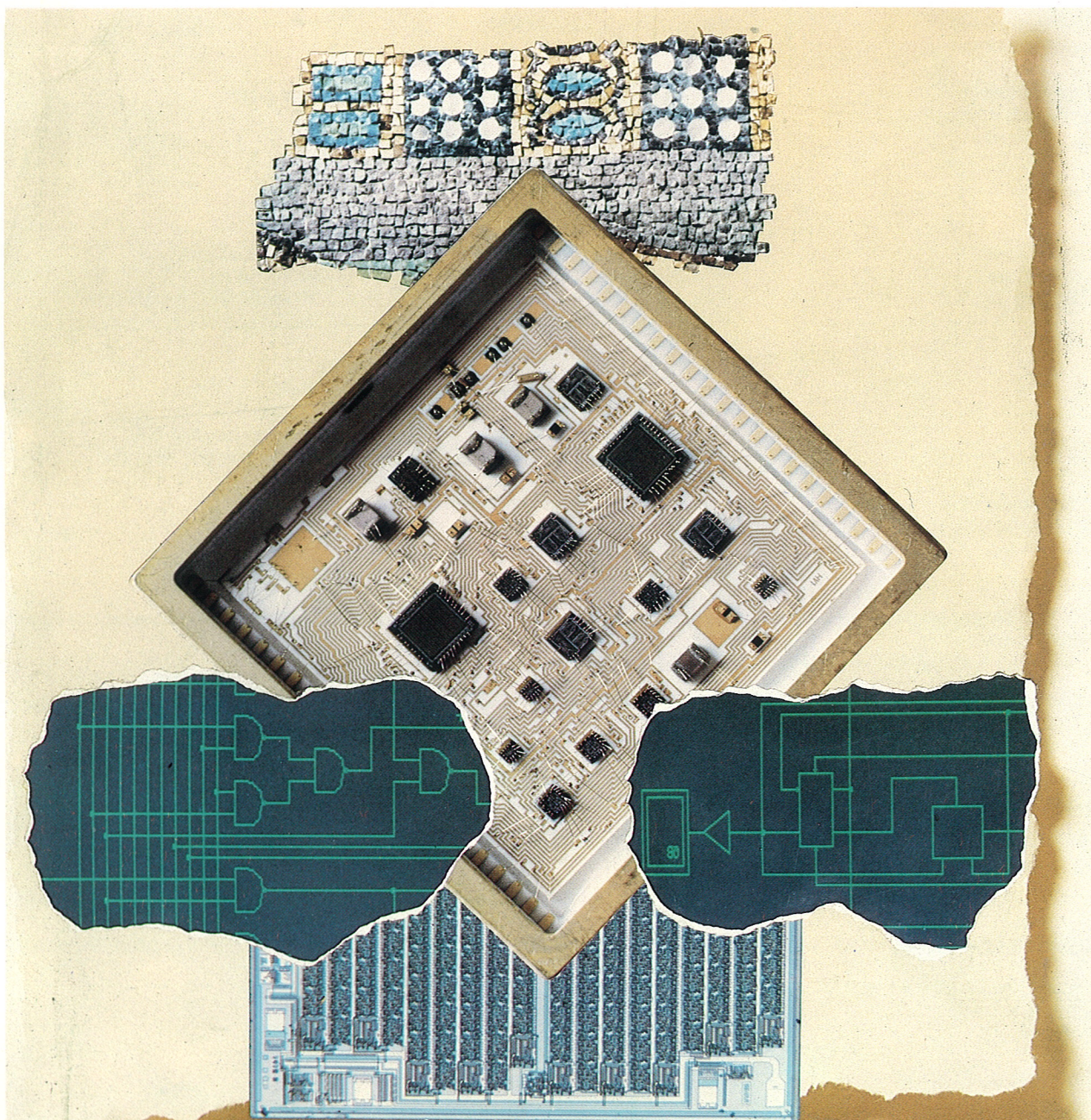
# MIDEM

# 3<sup>o</sup> 1989

Strokovno društvo za mikroelektroniko  
elektronske sestavne dele in materiale

Časopis za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale  
Časopis za mikroelektroniku, elektronske sestavne dijelove i materijale  
Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials

INFORMACIJE MIDEM, LETNIK 19, ŠT. 3 (51), LJUBLJANA, SEPTEMBER 1989



MIDEM — Strokovno društvo za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale

---

INFORMACIJE MIDEM, LETNIK 19, ŠT. 3 (51), LJUBLJANA, SEPTEMBER 1989

---

INFORMACIJE MIDEM, GODINA 19, BR. 3 (51), LJUBLJANA, SEPTEMBAR 1989

---

INFORMACIJE MIDEM, VOLUME 19, NO. 3 (51), LJUBLJANA, SEPTEMBER 1989

Izdaja trimesečno (marec, junij, september, december) Strokovno društvo za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale — MIDEM.

Izdaje tromesečno (mart, jun, septembar, decembar) Stručno društvo za mikroelektroniku, elektronske sestavne dijelove i materijale — MIDEM.

Published quarterly (march, june, september, december) by Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials — MIDEM.

**Glavni in odgovorni urednik**  
**Glavni i odgovorni urednik**  
**Editor-in-Chief**

Iztok Šorli, dipl. ing.,  
MIKROIKS, Ljubljana

**Tehnični urednik**  
**Executive Editor**

Janko Colnar, Ljubljana

**Uredniški odbor**  
**Redakcioni odbor**  
**Editorial Board**

mag. Rudi Babič, dipl. ing., Tehniška fakulteta Maribor  
Dr. Rudi Ročak, dipl. ing., MIKROIKS, Ljubljana  
mag. Milan Slokan, dipl. ing., MIDEM, Ljubljana  
Pavle Tepina, dipl. ing., MIDEM, Ljubljana  
Miroslav Turina, dipl. ing., Rade Končar, Zagreb  
Jože Jekovec, dipl. ing., Iskra ZORIN, Ljubljana

**Časopisni svet**  
**Izdavački svet**  
**Publishing Council**

Prof. dr. Leo Budin, dipl. ing., Elektrotehniški fakultet, Zagreb  
Prof. dr. Dimitrije Čajkovski, dipl. ing., PMF, Sarajevo  
Prof. dr. Georgij Dimirovski, dipl. ing., Elektrotehniški fakultet, Skopje  
Prof. dr. Jože Furlan, dipl. ing., Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana  
Franc Jan, dipl. ing., Iskra-HIPOT, Šentjernej  
Prof. dr. Drago Kolar, dipl. ing., Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana  
Ratko Krčmar, dipl. ing., Rudi Čajevec, Banja Luka  
Prof. dr. Ninoslav Stojadinović, dipl. ing., Elektronski fakultet, Niš  
Prof. dr. Dimitrije Tjapkin, dipl. ing., Elektrotehniški fakultet, Beograd

**Naslov uredništva**  
**Adresa redakcije**  
**Headquarters**

Uredništvo Informacije MIDEM  
Elektrotehniška zveza Slovenije  
Titova 50, 61000 Ljubljana, Jugoslavija  
tel.: (061) 316-886

Letna naročnina za delovne organizacije znaša 700.000 din., za zasebne naročnike 350.000 din., cena posamezne številke je 100.000 din.

Člani in sponzorji MIDEM prejema Informacije MIDEM brezplačno.

Godišnja pretplata za radne organizacije iznosi 700.000 din., za privatne naročnice 350.000 din., cijena pojedinog broja je 100.000 din.

Članovi i sponzori MIDEM primaju Informacije MIDEM besplatno.

Annual Subscription Rate is US\$ 40 for companies and US\$ 20 for individuals, separate issue is US\$ 6.

MIDEM members and Society sponsors receive Informacije MIDEM for free.

Znanstveni svet za tehnične vede I pri RSS je podal pozitivno mnenje o časopisu kot znanstveno strokovni reviji za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale. Izdajo revije sofinancirajo RSS in sponzorji društva.

Po mnenju Republiškega komiteja za informiranje št. 23 z dne 27. 9. 1988 je publikacija oproščena plačila davka od prometa proizvodov.

Mišljenjem Republičkog komiteta za informiranje br. 23 od 27. 9. 1988 publikacija je oslobođena plaćanja poreza na promet.

Oblikovanje besedila in tisk  
Oblikovanje stavka i tisak  
Printed by

BIRO M, Ljubljana

Tisk ovojnice  
Tisak omota  
Front page printed by

KOČEVSKI TISK, Kočevje

Naklada  
Tiraž  
Circulation

1000 izvodov  
1000 primjeraka  
1000 pcs

Znanstveno-tehnološka revolucija ne zahtjeva sposobnost skladištenja već sposobnost stvaranja znanja	R. Ročak: 126	R. Ročak: Scientific and Technological Revolution does not Require the Capacity for Storing but the Ability for Creating Knowledge
ZNANSTVENO - STROKOVNI PRISPEVKI		PROFESSIONAL SCIENTIFIC PAPERS
Ugotavljanje deleža zgodnjih odpovedi kovinskih plastnih uporov s pospešenimi preskusi	I. Likar, Š. Kolenko: 127	I. Likar, Š. Kolenko: Accelerated Test Procedure for Estimating Proportion of Early Failures of Metal Film Resistors
S. Šoba, D. Belavič, M. Murčehajjić, S. Mojstrovic, M. Vodopivec: Senzor krvnega tlaka	132	S. Šoba, D. Belavič, M. Murčehajjić, S. Mojstrovic, M. Vodopivec: Blood Pressure Sensor
M. Milanović, K. Jezernik, M. Čurković: Mikroprocesorsko voden trifazni mostični usmernik	135	M. Milanović, K. Jezernik, M. Čurković: Microcomputers Controller for Three Phase Thyristor Converter
Digitalni generatori sinusnog valnog oblika pogodni za implementaciju u logički niz	T. Švedek: 141	T. Švedek: Digital Sine-Wave Generator Suitable for the Gate Array Implementation
Modularno načrtovanje mikroelektronskih vezij z načrtovalskim paketom SCEPTRE	T. Dogša, R. Babič, M. Solar: 146	T. Dogša, R. Babič, M. Solar: Modular Standard Cell Design with SCEPTRE
Vpliv dodatka ZrO <sub>2</sub> na mehanske in magnetne lastnosti NiZn feritov	S. Beseničar, M. Drogenik, T. Kosmač: 151	S. Beseničar, M. Drogenik, T. Kosmač: The Influence of ZrO <sub>2</sub> Dopant on Magnetic and Mechanical properties of Ni Zn Ferrites
Meritve mehanskih napetosti tankih plasti PECVD silicijevega nitrida in oksinitrida	B. Gspan, R. Osredkar: 155	B. Gspan, R. Osredkar: Mechanical Stress Measurements in Thin PECVD Silicon Nitride and Silicon Oxynitride Films
Primjena polimernih materijala za inkapsulaciju u elektroničkoj i elektroindustriji	K. Milić: 157	K. Milić: Application of Polymer Materials for Incapsulation in Electronic and Electroindustry
MATERIALI		MATERIALS
Povezava med razvojem in standardizacijo pri sodobni tehnični keramiki	D. Uvodič: 160	D. Uvodič: Connection Between Development and Standardization for State-of-the-Art Technical Ceramics
PRIKAZI DOGODKOV, DEJAVNOSTI ČLANOV MIDEM IN DRUGIH INSTITUCIJ		REPRESENT OF EVENTS, ACTIVITIES OF MIDEM MEMBERS AND OTHER INSTITUTIONS
Uporaba FRIGEN 113 TR in HOSTINERT v elektronski industriji	E. Neumann: 165	E. Neumann: Applications of FRIGEN 113 TR and HOSTINERT in the Electronics Industry
PREDSTAVLJAMO DO Z NASLOVNICE		REPRESENT OF COMPANY FROM FRONT PAGE
R. Ročak: Predstavljamo MIDEM	168	R. Ročak: We Represent MIDEM
ČLANI MIDEM		MIDEM MEMBERS
R. Ročak: Velibor Subotić In Memoriam	168	R. Ročak: Velibor Subotić In Memoriam
VESTI, OBVESTILA		NEWS, INFORMATIONS
Publikacije društva MIDEM	169	MIDEM Society Publications
Koledar prireditiv	173	Calendar of Events
JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI	173	YUGOSLAV TERMINOLOGICAL STANDARDS
Slika na naslovnici: Vsebinski elementi mikroelektronike		Front page: Essential Elements of Microelectronics

## ZNANSTVENO-TEHNOLOŠKA REVOLUCIJA NE ZAHTJEVA SPOSOBNOST SKLADIŠTENJA VEĆ SPOSOBNOST STVARANJA ZNANJA

*Stručno društvo za mikroelektroniku, elektronske sastavne dijelove i materijale, MIDEM, listopada 1988. godine organiziralo je jednodnevno savjetovanje na tematiku međusobnih odnosa društvenih pojava i mikroelektronike. U srpnju ove godine izašla je knjiga u izdanju društva MIDEM: MIKROELEKTRONIKA IN DRUŽBA. Knjiga je vjeran prikaz radnog dana sa integralnim referatima pozvanih predavača i diskusijom učesnika. O samoj knjizi možete pročitati više u ovom broju časopisa a za današnji uvodnik poslužiti ću se jednim odlomkom izlaganja prof. dr. Petra Biljanovića.*

*"Inženjer budućnosti, a u velikoj mjeri već i inženjer sadašnjice, neće stvarati proizvod. Njega će stvarati kompjuter, robot, laserska zraka. Inženjer budućnosti morat će znati stvarati znanje o stvaranju proizvoda. S tim znanjima on će hraniti kompjuter, robot.*

*Stvaranje znanja puno je složenija aktivnost od prihvata gotovih činjenica i šablona. Da bi se studente osposobilo za stvaranje znanja, potrebno ih je tokom obrazovanja dovesti tamo gdje se znanje stvara. Ono se ne stvara u predavaonicama, ma koliko one moderne bile, jer su one poligoni za verbalnu nastavu. Ono se stvara u laboratorijama s vrhunskom opremom i sa adekvatnim istraživačkim programom. Student nije anonimna broj izgubljen u masi, već prepoznatljiva stvaralačka ličnost. Možda će nekome ova transformacija studenta iz anonimusa u stvaralačku ličnost izgledati preambiciozna, ali visoke tehnologije trebaju baš takvog studenta. Ako se student već tokom studija, posebno u završnim semestrima ne nauči metodologije stvaranja znanja, on u praksi niti neće moći stvarati znanje. A to znači da neće biti produktivan, mada će termin produktivnosti biti zamijenjen terminom kreativnost u domeni inženjerskog rada. Profesor- predavač verbalnih činjenica- mora se transformirati u mentora mladih istraživača. Metodologija istraživačkog rada bit će mu, uz struku, temeljna aktivnost. Transformacija studenata u stvaralačku ličnost i profesora u mentora ne može se izvesti u sklopu današnjeg klasičnog univerziteta.*

*Vizija univerziteta kao zajednice jakih istraživačkih instituta, s modernom opremom i svim informatičkim sadržajima, stvara impresiju vrlo skupog pothvata. Transformacija univerziteta danas ka univerzitetu 21. stoljeća bit će toliko radikalna da ju neće biti moguće ostvariti bez velikih ulaganja u kadrovima, opremljenosti, novcu. Sve zemlje, neke prije, neke kasnije, moraju se suočiti s činjenicom da znanje kao temeljni resurs moderne tehnologije ima svoju, sve višu cijenu i da ta cijena mora biti na neki način plaćena, kao što je bila plaćena cijena čelika i nafte u doba utemeljenja industrijske civilizacije. Nije u pravu tko misli da se tu može jeftino proći. Tko mora prijeći preko područja u kojem živi lav, mora kupiti najbolju pušku da se zaštiti od lava. Ako mu je puška preskupa, može izbjeći taj trošak kupujući npr. pračku. Međutim, tada će platiti još skuplje, jer će platiti glavom. Postoje troškovi koji se ne mogu izbjeći".*

*Zar ne bismo mogli riječi profesora Biljanovića jednoznačno preslikati i na pitanje mikroelektronike?*

Predsjednik društva MIDEM  
Rudi Ročak



# ACCELERATED TEST PROCEDURE FOR ESTIMATING PROPORTION OF EARLY FAILURES OF METAL FILM RESISTORS

Presented at 6th EuReData Conference on Reliability Data Collection and Use in Risk and Availability Assessment, 15-17 March 1989, Siena, Italy; published in Informacije MIDEM with kind permission of Springer Verlag.

Igor Likar, Štefka Kolenko

KEY WORDS: accelerated testing, metal film resistors, proportion of early failures, test conditions, Eyring mathematical model, reliability

ABSTRACT: The possibility of estimating the proportion of early failures using accelerated testing was investigated for metal film resistors. The aim of the investigation was to establish a test procedure equivalent to the standard endurance test. Thereby, a quick evaluation of a production lot would be possible to avoid long duration endurance tests on bad lots. In the paper a practical test procedure is presented together with accelerating test conditions which were determined by means of the Eyring mathematical model and on the basis of a series of accelerated tests performed together with the corresponding reference standard endurance tests on approximately 4600 test items. The proposed test procedure can be used as a simple tool for evaluating or/and comparing the reliability of individual lots in the manufacturing process as well as at the incoming inspection.

## UGOTAVLJANJE DELEŽA ZGODNIH ODPOVEDI KOVINSKIH PLASTNIH UPOROV S POSPEŠENIMI PRESKUSI

KLJUČNE BESEDE: pospešeno preskušanje, kovinski plastni upori, delež zgodnjih odpovedi, preskusni pogoji, Eyringov matematični model, zanesljivost

POVZETEK: Članek predstavlja izsledke raziskave, v kateri smo proučili možnosti ugotavljanja deleža zgodnjih odpovedi kovinskih plastičnih uporov s pospešenimi preskusi. Cilj raziskave je bil določiti preskusni postopek ekvivalenten standardnemu preskusu zdržljivosti. S takim pospešenim preskusom bi bilo možno hitro oceniti posamezne proizvedene partije uporov in se na ta način izogniti dolgotrajnim preskusom zdržljivosti na približno 4600 preskušanih. Predlagani postopek za pospešeni preskus je uporaben za enostavno ocenjevanje ali/in primerjavo zanesljivosti, tako posameznih partij uporov v proizvodnem procesu kot tudi posameznih pošiljk uporov pri vhodni kontroli.

### INTRODUCTION

Within the inspection procedures which are carried out during the qualification approval and quality assessment of electronic parts the endurance tests are most time-consuming. It is therefore in the great interest of the manufacturers to speed up the testing process or at least to get an approximate preliminary information on batch quality within a short time in order to avoid lengthy tests on bad lots. A simple accelerated life testing would also provide useful information within a reasonable time frame for improvements and corrective actions in the manufacturing process.

This paper presents the results of an attempt to evaluate the quality of low-power metal film resistors in a short-duration test. The final objective of the investigation was to specify the operating and environmental conditions of an accelerated test that would be equivalent to the standard endurance test, e.g. such as prescribed in IEC Publications 115-1 and 115-2.

According to inspection procedures and environmental conditions given in these publications, the resistors are to be subjected to a test of 1000 hours at ambient temperature of +70 °C; the voltage shall be applied in

cycles of 1.5 h on and 0.5 h off; this voltage shall be the rated voltage or the limiting voltage, whichever is the smaller; the sample size is 20 and the permitted number of defectives is 1 (group acceptance criterion); the item is considered defective if the change in resistance exceeds 1%. With the equivalent accelerated test the proportion of early failures should be assessed in a shorter time, e.g. within a shift (8 hours). The acceptance criterion should be equal or equivalent to the criterion prescribed for 1000 hour test (up to 5% proportion of failures).

All the experiments described in this paper were performed on the resistors of the manufacturer who ordered the investigation.

### INITIAL ESTIMATION OF ACCELERATING CONDITIONS

A general study and a large scale of fundamental experiments concerning the accelerated life testing, which were previously carried out on passive electronic components, provided the guidelines for initially selecting the values of accelerating testing conditions within the appropriate scope. Three types of accelerated tests were conducted on metal film resistors in the course of this

basic preliminary investigation: 1) tests with high voltage pulses at room temperature; 2) tests with different constant elevated voltages at room temperature; and 3) combined stressing tests at elevated (constant) temperature and voltage. The comparison of the cited accelerating techniques showed that the best effects could be achieved by combined voltage- temperature stressing. This mode accomplishes all three principal objectives imposed on accelerated testing:

a) short testing times - from 0.3 h to 13 h b) convenient values for temperatures and voltages, near rated values, which means that smaller risk exists to change the failure mechanisms; and c) well fitted mathematical model (for time-to-failure distribution as a function of combined electrical and temperature stress) that can be extrapolated to normal conditions of use.

The tests were conducted on metal film resistors of 0.33 W rated dissipation. The characteristics of the test samples were the following: rated resistance 301 kΩ, limiting voltage 250 V, isolation voltage 450 V, upper limiting temperature 155°C, temperature coefficient ±50 ppm/K and tolerance on rated resistance ± 1%.

For description of the expected time-to-failure as a function of loading, the Eyring mathematical model was chosen as it takes into account the influence of electrical and temperature stress as well as the interaction between them:

$$t = A \cdot e^{b/kT} \cdot e^{-S(c+d/kT)} \tag{1}$$

where t is the expected time-to-failure, A, b, c and d are constants (model parameters), T is the absolute temperature, S is a normalized stress (other than temperature, e.g., dissipation), and k is Boltzmann's constant.

The parameters of the "main-population model" were determined by fitting the equation (1) to the results of a series of accelerated tests. 13 accelerated tests were performed at the following temperatures and voltages:

An automatic test system with capacity of 30 test specimens was formed around the HP 9836 Computer with Data Acquisition/Control Unit HP 3497 A and HP 3498 A Extender to control the testing and to evaluate the results.

The cumulative distributions of times-to-failure were plotted on Weibull paper. For the main populations, the failure points followed the straight lines with the slope β > 1 in all 13 cases.

	1	2	3*	4*	5	6*	7	8	9*	10*	11	12*	13	
Temperature	155	155	155	175	175	175	175	175	175	200	200	200	200	(°C)
Voltage	460	480	500	340	370	400	460	480	500	340	370	400	460	(V)

Remark: The results of tests denoted by asterix were later applied in defining the "early-failures model."

Thereby, the assumption of the Weibull distribution was confirmed for the tested resistors. For illustration, Fig. 1 shows the distributions of two test samples subjected to 340 V/175°C and 400 V/200°C. In the analysis and modelling, the early failures were neglected. The

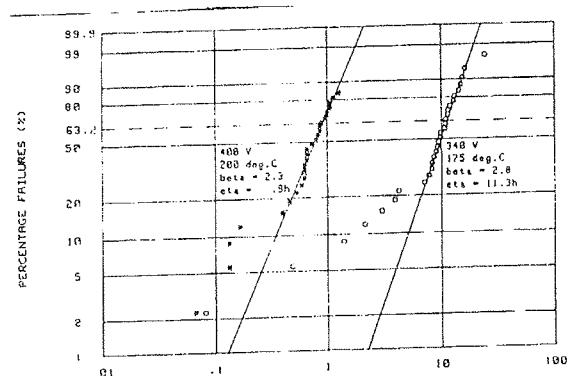


Fig.1: Cumulative distribution of times-to-failure recorded in two accelerated tests on metal film resistors and plotted on Weibull probability paper

parameters of the "main population model" were consequently determined on the basis of the mean characteristic lifetimes (ν), read-off from all 13 distributions which were accordingly re-drawn (without early failures). Graphical analysis and least-squares fitting were applied for determination of the parameters. For this purpose the model (1) is transformed into a more suitable expression:

$$\ln t = \ln A + b/kT - S(c + d/kT) \tag{2}$$

This relation can be presented by two fields of straight lines if S and 1/T, respectively, are assumed to be constant. The pertaining equations, which evidently represent linear functions of 1/T and S, respectively, are namely:

$$\ln t = (b - S \cdot d)/kT + \ln A - S \cdot c \quad S = \text{const.} \tag{3}$$

and

$$\ln t = -(c + d/kT) \cdot S + \ln A + b/kT \quad T = \text{const.} \tag{4}$$

The calculation of parameters is briefly explained later in description of "early-failures model" determination. The obtained parameters (b = 1.579 eV, c = -2.776, d = 0.172 eV and A = 5.61 × 10<sup>-16</sup> h) determine a model

that fits very well to the results of the accelerated tests as shown in Fig. 2.

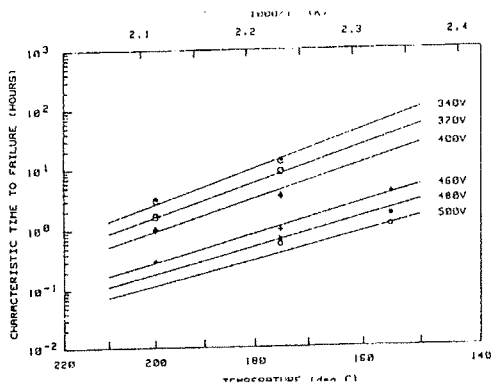


Fig 2: Fitting of "main-population model" (straight lines) to results of accelerated tests (points)

**PARAMETERS OF "EARLY-FAILURES MODEL"**

In the initial stage of the "equivalent test" investigation, the data on early failures recorded during the above basic experiments were applied as it can be expected that mainly early failures occur in standard 1000 hours endurance tests. The majority of test samples exhibited a considerable amount of early failures. The straight lines pertaining to selected failure distributions were drawn through the early failure points using least-squares fitting, and the times to the 5th percentile of failures were read off. This is the proportion of failures equivalent to the reference percentage of failures (approx. 5%) observed in standard 1000-hours endurance tests performed on 3 samples of 1000 resistors from the same batch. The 5th-percentile-points are plotted as points 2 to 7 in Fig. 3. As it is evident from Fig. 3, the selected distributions cover all three applied test temperatures (155°C, 175°C, and 200°C) and the minimal (340 V), a middle (400 V), and the maximal (500 V) voltage applied in accelerated tests. Each straight line in Fig. 3a is thereby defined by two points. The point 1, which is needed for the corresponding field of straight lines in Fig. 3b, has been read off from the line pertaining to 340 V in Fig. 3a. The lines were drawn through the points using the least-squares fitting, and their slopes ( $E_a$  and  $n$ , respectively) were calculated. The slope of the lines in Fig. 3a is denoted by  $E_a$  as it represents the activation energy according to Arrhenius law:

$$t = C \cdot e^{\frac{E_a}{kT}} \tag{5}$$

By comparing the expressions (1) and (5) we get the following relation between the activation energy and the model parameters  $b$  and  $d$ :

$$E_a = b - S \cdot d \tag{6}$$

In a similar way, the slope  $n$  of the lines according to equation (4) is related to parameters  $c$  and  $d$ :

$$n = c + d/kT \tag{7}$$

The equations (6) and (7) express linear relationship between the slopes ( $E_a$  and  $n$ ) and stress  $S$  and  $1/T$ ,

respectively. The corresponding straight lines can be drawn as the best least-squares fit to the three known points for each line. The model parameters are calculated as the intersections on the ordinate ( $b$  and  $c$ ) and the slopes ( $d$ ). In this way, two values are obtained for  $d$ . We take the value that yields smaller spread of parameter  $A$  calculated for all observed points.  $A$  is finally calculated as the mean value of all parameters  $A$  pertaining to individual points.

The "early-failures model" defined by the obtained parameters ( $A = 2.26 \times 10^{-11} \text{ h}$ ,  $b = 0.954 \text{ eV}$ ,  $c = -0.866$ ,  $d = 0.070 \text{ eV}$ ) is not so well fitted as was the "main-population model". The major cause for this lies in the fact that the tested samples exhibited a small proportion of early failures and that the times to failures were not measured with sufficient accuracy, as they were recorded at discrete (relatively long) sample times. The model was nevertheless found to be appropriate for initial estimation of accelerating test conditions. It is presented graphically in Fig. 4 by a field of nearly straight lines for which the time to the 5th percentile of failures is constant. This presentation is suitable for reading-off the voltage-temperature stress required for attaining certain proportion of failures (corresponding to percent-

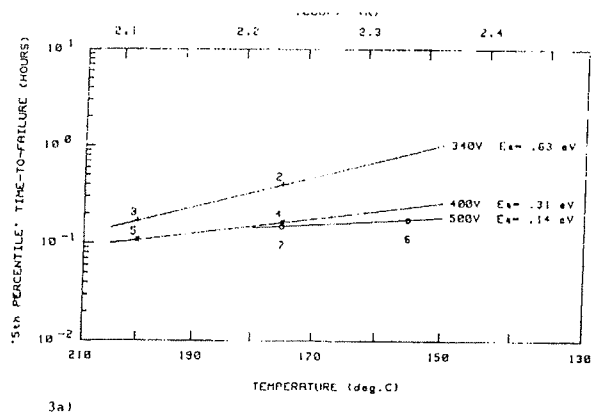


Fig 3 a: "5th percentile" time-to-failure versus temperature and normalized dissipation, respectively, plotted on basis of selected accelerated tests

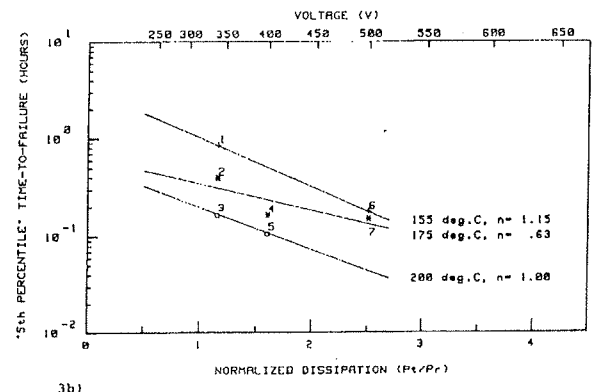


Fig 3b: "5th percentile" time-to-failure versus temperature and normalized dissipation, respectively, plotted on basis of selected accelerated tests

age of failures in 1000 hours in our case) in a predefined time.

**SELECTING THE ACCELERATING CONDITIONS**

When selecting the values of accelerating conditions on the basis of the defined "early-failures model", we have taken into consideration the following requirements in order to define a simple inspection procedure:

- \* The inspection should be performed within the time of a shift. An appropriate time must also be foreseen for measurements at the beginning and at the end of the test as well as for recovery of test specimens at room conditions (e. g. 1 hour to 4 hours).
- \* The stress - temperature and dissipation - should be equal for all resistance values.

In addition, the following statements were considered concerning the extrapolation of the model and the level of the test voltage:

- \* Voltage-temperature stress should be selected so that the model would not be extrapolated too far beyond the values that were used for its determination.
- \* The test voltage should not greatly exceed the rated voltage or the limiting voltage (250 V).

With the respect to the above criterions, the following initial values were selected:

- \* Test duration: 2 to 5 hours
- \* Temperature: 130° C - 155° C
- \* Voltage: corresponding to 1 to 1.5 times rated dissipation

The range that corresponds to these conditions is shown as the encircled area in Fig. 4. As the rated dissipation is very convenient for electrical loading, we calculated the corresponding temperature for the test time of 4 hours. This temperature is equal to 137° C.

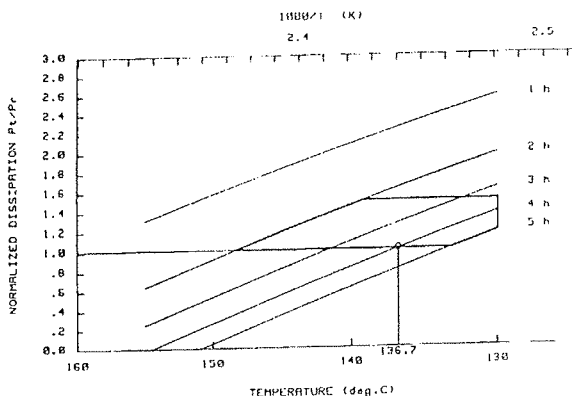


Fig 4: "Early-failures model" presented by a field of straight-lines for which the time to the 5th percentile of failures is constant

**ACCELERATED TESTS AT SELECTED CONDITIONS**

To confirm the model and the selected conditions, we performed about 30 accelerated tests at 137° C. The tests were conducted on subsamples of different resistor batches for which the reference data from standard 1000-hours endurance tests were available. For 12 characteristic samples the results of 4-hours accelerated tests and the reference data from corresponding standard endurance tests are compiled in Table 1.

Beside the proportion of failures (r/N), the mean change in resistance ( $\Delta R/R$ ) and the standard deviation ( $\sigma$ ) of change in resistance were recorded in reference as well as in accelerated tests. This was necessary first of all because of small proportion of failures observed on most reference and accelerated tests. In this way, we introduced three criterions for judging the equivalency of test conditions on standard and accelerated tests, respectively.

The rated voltage was applied to the resistors with the resistance of up to 301 k $\Omega$ . The voltage was decreased below the rated value for 1 M $\Omega$  and 2.2 M $\Omega$  resistors because too great resistance changes (twice the reference values) were observed at the rated voltage (575 V for 1 M $\Omega$ ). The resistance changes were comparable to reference values at 400 V.

**DISCUSSION AND CONCLUSIONS**

For majority of test samples the proportion of failures as well as the mean changes in resistance and the standard deviations of resistance changes observed on accelerated tests were equal to the reference values. Besides, it can be noted that the bad batch of 249 k $\Omega$ -resistors exhibited substantially greater resistance change - 3-times the value that was observed for good batches.

These statements lead to a conclusion that the proportion of failures as well as the change in resistance together with its standard deviation are the appropriate criterions for confirming the "early-failures model" as

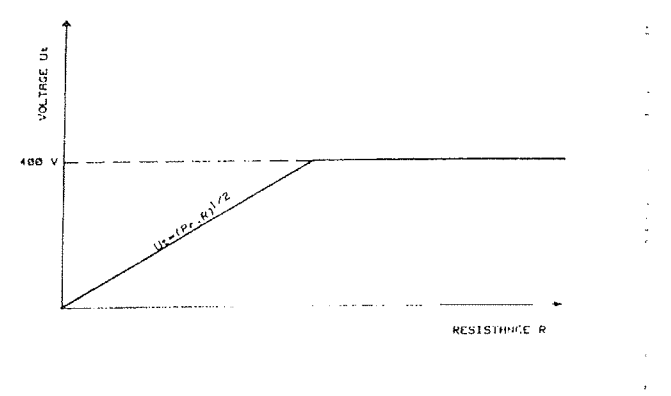


Fig 5: Voltage-resistance relation for an accelerated test equivalent to the standard 1000-hour endurance test



Sample	Reference Tests			Accelerated Tests			
	r/N	$\Delta R/R(\%)$	$\sigma$ (%)	r/N	$\Delta R/R(\%)$	$\sigma$ (%)	Ut(V)
301 k $\Omega$	83/1000	0.316	0.087	2/30	0.214	0.110	315
10 $\Omega$	1/200	0,275	0.285	0/20	0.248	0.140	1.82
				0/20	0.233	0.151	1.82
249 k $\Omega$	197/200	-	-	9/30	0.866	0.089	287
				10/34	0.848	0.088	287
249 k $\Omega$	0/1000	0.237	0.043	0/29	0.247	0.053	287
				0/40	0.305	0.032	287
1 M $\Omega$	6/1000	0.132	0.079	1/30	0.137	0.065	400
150 k $\Omega$	0/7	0.500	0.070	0/40	0.339	0.073	222
1 M $\Omega$	0/6	0.300	0.050	0/40	0.471	0.091	400
2.26 M $\Omega$	1/20	0.040	0.010	1/10	0.069	0.014	400
				0/40	0.032	0.100	400

r/N ... proportion of failures

$\Delta R/R$  ... mean change in resistance

$\sigma$  ... standard deviation

Ut ... applied voltage in accelerated tests

Table 1. Results of some typical 4-hours accelerated tests at 137° C and comparative data of reference 1000-hours tests

well as the selected accelerating conditions, and finally also for evaluating the quality of the produced batch. We also conclude that a short-duration test can be designed using the selected accelerating conditions. The corresponding voltage-resistance relation is shown in Fig. 5.

In the following, we summarize the basic elements of an accelerated test which can be considered equivalent to the standard 1000-hours endurance test:

- \* Sample size: 20 specimens
- \* Test duration: 4 hours
- \* Ambient temperature: 137° C
- \* Applied voltage: constant direct voltage, corresponding to rated dissipation, or 400 V (whichever is the smaller)
- \* Time for recovery: more than 1 hour and less than 4 hours (at room conditions)
- \* Conditions for initial and end measurements: standard room conditions
- \* Failure criterion: resistance change  $\Delta R/R > 1\%$
- \* Acceptance criterion: permitted defectives equal to 1

The testing and analysis approach applied in the investigation is estimated to be appropriate for further work,

which could lead to effective collection and evaluation of reliability data obtained from accelerated testing and which could finally permit faster determination of reliability characteristics.

## REFERENCES

1. Institute for Quality Testing and Metrology, Ljubljana, Reports on Investigations "Development of Accelerated Life Testing", (1985/1986), and "Development of Screening Techniques for Assurance of Professional Quality in the Manufacturing Process of Electronic Parts", (1983/1984)
2. J. Nadrah, A. Pirih, I. Likar, "Accelerated Life Tests of Multilayer Ceramic Capacitors and Metal Film Resistors" *Elektrotehniški vestnik*, Ljubljana, 54 (1987)
3. IEC Publication 115-1 (1982), Fixed resistors for use in electronic equipment, Part 1: Generic Specification
4. IEC Publication 115-2 (1982), Fixed resistors for use in electronic equipment, Part 2: Sectional Specification: Fixed low-power non-wirewound resistors

*Igor Likar, dipl.ing.*  
*Štefka Kolenko, dipl.ing.*  
*Inštitut za kakovost in metrologijo*  
*Tržaška 2, Ljubljana*

*Prispelo: 10.08.1989      Sprejeto: 28.08.1989*

# SENZOR KRVNEGA TLAKA

**Stojan Šoba, Darko Belavič, Muharem Murčehajić, Silvo Mojstrovic,  
Milan Vodopivec**

**KLJUČNE BESEDE:** senzori tlaka, piezouporovni senzori, silicijevi senzori, debeloplastno vezje, hibridno vezje, debeloplastna tehnologija, merjenje krvnega tlaka, termistorji, silicijev čip.

**POVZETEK:** Predstavljen je senzor, v medicini namenjen za merjenje krvnega tlaka, ki je izdelan s pomočjo piezouporovnega senzora tlaka in debeloplastnega kompenzacijskega vezja na keramičnem substratu. Osvojeni tehnološki postopek omogoča velikoserijsko izdelavo teh senzorjev.

## BLOOD PRESSURE SENSOR

**KEY WORDS:** pressure sensors, piezoresistive sensors, silicon sensors thick film circuits, hybrid circuits, thick film technology, blood pressure measurement, thermistor, silicon chip.

**ABSTRACT:** The sensor intended in medicine for blood pressure measure is described. It is made from piezoresistive pressure sensor and thick film compensation network on ceramic substrate. The technology of blood pressure sensor mass production is attained.

### 1. UVOD

Svetovni trg medicinske opreme zahteva vse večje količine različnih senzorjev, med njimi pa največ senzorjev tlaka. Uvedba piezouporovnega senzora tlaka je omogočila velikoserijsko proizvodnjo senzora, ki je namenjen enkratnemu merjenju krvnega tlaka. Potrebe po tem tipu senzora nenehno rastejo. Hkrati prinaša uvedba te proizvodnje možnost za izdelavo senzorjev tlaka za druge, sorazmerno cenene aplikacije v medicini, avtomobilski industriji in drugod, kjer je potrebno hitro zaznavanje sprememb tlaka.

Najustreznejši način za velikoserijsko proizvodnjo senzora krvnega tlaka s piezouporovnim silicijevim senzorjem tlaka je uporaba debeloplastnega hibridnega vezja, ki je hkrati mehanski substrat za silicijevo tabletko (senzor tlaka) in kompenzacijsko vezje. Uvedba te proizvodnje v Iskri Elementi, TOZD HIPOT, Šentjerneji je zahtevala inovacijske posege v več ključnih fazah tehnološkega postopka, ki smo jih opravili s sodelovanjem razvojne skupine na Institutu Jožef Štefan. Za opravljeno delo je skupina dobila nagrado sklada Borisa Kidriča na področju izumov in izboljšav.

### 2. OPIS IZDELKA

Senzor krvnega tlaka uporabljamo za invazivno merjenje krvnega tlaka, ki se prek stolpca fiziološke raztopine v katetru prenaša na pretvornik, ki je silicijev piezouporovni senzor tlaka. Ta je izdelan iz silicijevega monokristala, v katerem je s selektivnim jedkanjem izdelana membrana debeline 10 mikrometrov. Na membrani so difundirani upori, ki so povezani v Wheastoneov mostič (slika 1) in orientirani v smeri maksimalnega odziva. Ko se pojavi razlika tlakov na nasprotnih straneh membrane, se ta upogne, kar povzroči spremembo difundiranih uporov (piezouporovni efekt). Za

radi anizotropičnosti tega efekta in različnih razporeditev uporov na membrani, se enemu paru uporov upornost poveča, drugemu pa zmanjša. Na izhodnih sponkah napetostno ali tokovno vzbujenega mostiča dobimo torej neko napetost, ki je skoraj linearno odvisna od relativnega tlaka (krvni tlak/atmosferski tlak).

Omenjena uporaba silicijevega monokristala za merjenje krvnega tlaka zahteva vzbujanje mostiča s konstantno napetostjo, kar prinaša naslednje slabosti:

- \* znatno nično napetost (napetost na izhodnih sponkah nevzbujenega mostiča),
- \* neenako tlačno občutljivost in
- \* znatno temperaturno odvisnost tlačne občutljivosti.

Za odpravo in zmanjšanje teh slabosti silicijev senzor tlaka pritrdimo na debeloplastno uporovno vezje, na katerem s postopki doravnavanja uporov z laserjem uravnotežimo mostič in nastavimo tlačno občutljivost.

Bistvo inovacije, ki izstopa iz standardnih postopkov izdelave hibridnih debeloplastnih vezij, so izvirne rešitve v načrtovanju debeloplastnega vezja, razvoju tehnoloških postopkov izdelave, računalniško podprtem umerjanju in doravnavanju z laserjem. Ključne točke inovacijskih rešitev podajamo v nadaljevanju.

### 3.1 NAČRTOVANJE DEBELOPLASTNEGA UPOROVNEGA VEZJA

Pri načrtovanju sta uporabljeni dve izvirni rešitvi, ki bistveno prispevata k doseganju visokih izkoristkov pri aktivnem doravnavanju in bondiranju.

a) izvirna oblika debeloplastnih uporov omogoča aktivno doravnavanje z dovolj veliko natančnostjo v širokem obsegu, tako pri doravnavanju uporov R1 in R2 za

nastavitev občutljivosti (slika 2), kot tudi uporov R3 in R4 za uravnoteženje mostiča (slika 3).

b) Izvirna uporaba debelo tiskanega steklenega obroča okoli silicijeve tabletki oblikuje obliko silikonske zaščite in preprečuje razlivanje le-te po substratu.

### 3.2 PRITRJEVANJE IN BONDIRANJE SILICIJEVE TABLETKE

Silicijev senzor tlaka mora biti pritrjen na keramiko z elastičnim lepilom, ki kompenzira različna temperaturna razteznostna koeficienta keramike in silicija. Tako elastično pritrjena silicijeva tabletki pa je postavila povsem nove zahteve pri postopkih bondiranja. Pri standardnih postopkih bondiranja v polprevodniški industriji je silicijeva tabletki vedno togo pritrjena na podlago, kar je tudi predpogoj za kvaliteten zvar.

Med izvirnimi rešitvami, ki zagotavljajo kvalitetne in zanesljive zveze zlate žice k elektrodam elastično pritrjene silicijeve tabletki, sta ključna naslednja dva postopka:

a) nastavitev optimalnih parametrov bondiranja

Mehanski pritisk kapilare je nastavljen do nivoja vdiranja tabletki v lepilo, čas trajanja ultrazvoka pa na mejo izpodrivanja tabletki izpod kapilare.

b) vakuumsko držanje silicijevih tabletki

Z izdelavo posebne podajalne mizice, ki nosi keramični substrat, s podtlakom pod silicijevimi senzori, smo ustvarili pogoje, ki pri optimalnih nastavitvah parametrov bondiranja zagotavljajo 99 % proizvodni izkoristek bondiranja.

### 3.3 UMERJANJE

Od načina izvedbe umerjanja za nastavitev občutljivosti in uravnoteženje mostiča je ključno odvisna proizvodnja senzorja krvnega tlaka v večjih količinah. Izvirne rešitve teh dveh postopkov umerjanja nam to danes omogočajo.

#### 3.3.1 Nastavitev občutljivosti

Neenako občutljivost na tlak silicijevega monokristala kompenziramo z dvema zaporedno vezanima uporoma (R1, R2) v umerjevalnem debeloplastnem vezju (slika 2). Postopek meritve napravimo v dveh korakih. Na izvirnem, doma izdelanem merilnem mestu, napravimo funkcionalne meritve na senzoru pri diferencialnem tlaku nič in 40 kPa. Meritve posameznih šarž shranimo na računalniku in jih nato z disketo prenesemo na računalniško vodeni sistem za doravnavanje uporov z laserjem. Ta analizira funkcionalne meritve in se odloči za stopnjo doravnavanja uporov R1 in R2.

#### 3.3.2 Uravnoteženje mostiča

Mostič uravnotežimo z uporoma R3 in R4, ki sta vzporedno z vejami mostiča (slika 3). Uravnoteženje iz-

vedemo z aktivnim doravnavanjem na laserju. Specifičen problem pri postopku uravnoteženja je zelo majhen merjeni signal (velikostni razred okoli 10 mikrovolto) v motečem industrijskem okolju. Postopek aktivnega doravnavanja smo uspešno rešili z izdelavo posebnega ojačevalnika majhnih signalov.

### 3.4. TEMPERATURNNA KOMPENZACIJA

Umerjen senzor ima znaten, vendar ponovljiv temperaturni koeficient tlačne občutljivosti. Za njegovo kompenzacijo smo dodali uporoma R1 in R2 še dva debeloplastna termistorja T1 in T2 (slika 4). To v našem primeru predstavlja izvirno tehnološko rešitev, ki je zahtevala dolgotrajno preizkušanje in ovrednotenje debeloplastnih materialov in ustreznih postopkov tiskanja in žganja. Rezultat tega je tehnološki postopek, ki v proizvodnem okolju zagotavlja izdelavo stabilnih termistorjev z relativno majhnim koeficientom variacije uporovnih vrednosti tako, da večine termistorjev ni potrebno doravnavati.

### 4. SKLEP

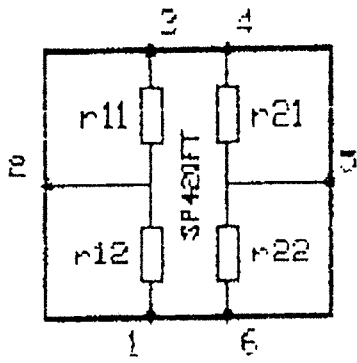
Predstavili smo ključne prispevke inovacije, ki so kot nadgradnja utečene hibridne debeloplastne tehnologije omogočile proizvodnjo senzorja krvnega tlaka. Ta glede na uporabljena proizvodna sredstva kot: avtomatska naprava za ožičenje - bonder, računalniško krmiljeni sistem za doravnavanje uporov z laserjem, računalniško krmiljenih funkcionalnih meritev in ustvarjalno vloženo znanje na vseh stopnjah proizvodnega procesa, sodi med izdelke visoke tehnologije.

Opisane inovacije so rezultat odziva na povpraševanje tujega naročnika medicinske opreme, ki je iskal proizvajalca za senzor krvnega tlaka, ki mora ustrezati predpisanim medicinskim standardom, njegova proizvodna cena pa mora zagotavljati konkurenčnost na svetovnem trgu (Japonska, ZDA, Zahodna Evropa), kjer že ima vpeljana prodajno mrežo.

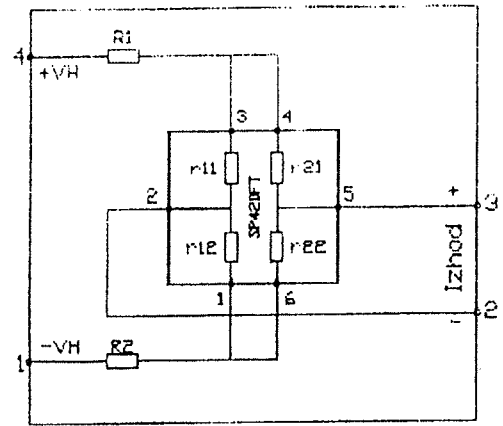
### 5. USPEHI PRENOSA V PROIZVODNJO

Osvojena je redna serijska proizvodnja senzorja krvnega tlaka. V letu 1987 smo tujemu naročniku dobavljali samo hibridno vezje, v letošnjem letu pa smo pričeli z montažo hibridnega vezja v plastični okrov. Izdelano je zaporedje tehnoloških postopkov, normativi časa in materiala. Pripravljamo se za nadaljnji razvoj vrste drugih senzorjev tlaka, konkurenčnih na svetovnem trgu.

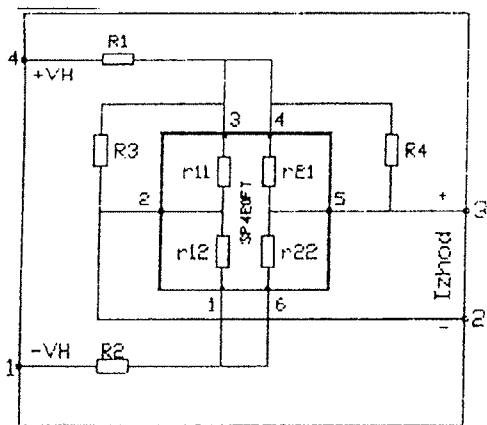
*Stojan Šoba, dipl. ing.*  
*Darko Belavič, dipl. ing.*  
*Muharem Murčehajić, ing.*  
*Silvo Mojstrovic, ing.*  
*Milan Vodopivec*  
*vsi ISKRA Elementi,*  
*HIPOT, 68310 Šentjerneji*  
*Prispelo 11.07.1989 Sprejeto: 28.8.1989*



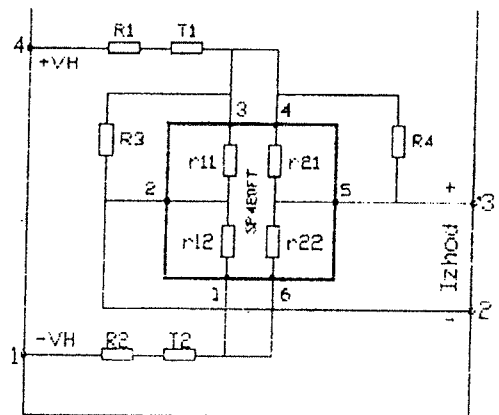
Slika 1: Povezava uporov na silicijevem monokristalu



Slika 2: Senzor tlaka z dodatnima uporoma za nastavitev občutljivosti



Slika 3: Senzor tlaka z dodanimi uporoma za uravnoteženje mostiča



Slika 4: Celotno vezje senzorja. Začetne vrednosti uporov:  $T1-T2=125\ \Omega$  20% pri  $25\ ^\circ C$  ( $B = 1400\ K$ )  $R1+T1 = R2+T2 =$  od 700 do 1200 ohm pri  $25\ ^\circ C$   $R3=R4=$  od 18 K do 23 K  $\Omega$

# MIKROPROCESORSKO VODENI TRIFAZNI MOSTIČNI USMERNIK

M. Milanović, K. Jezernik, M. Čurkovič

KLJUČNE BESEDE: usmerniki, usmerniki tiristorski, regulacije, regulacije mikroračunalniške

POVZETEK: V članku bomo opisali vpeljavo mikroračunalnika v trifazni tiristorski mostični usmernik. V mikroračunalniku smo združili vse funkcije, ki jih je prej izvajala konvencionalna elektronika. Vgrajenemu mikroračunalniku smo opredelili naslednje funkcije: regulacijo toka in napetosti, meritev toka in napetosti, proženje tiristorjev, vodenje nadzorov in zaščito, za potrebe optimizacije regulatorjev parametrov smo razvili matematični model celotnega procesa. Rezultate, dobljene s simulacijo, smo verificirali na realizirani napravi.

## MICROCOMPUTERS CONTROLLER FOR THREE-PHASE THYRISTOR CONVERTER

KEY WORDS: DC-Converter, DC-thyristor converter, Control, Microcomputer control

ABSTRACT: The paper describes the implementation of a microcomputer in a three-phase full wave thyristor converter. The microcomputer includes all the functions which were performed by conventional electronics: control of current and voltage, current and voltage measuring, thyristor firing, protection and supervision. For the optimization of control parameters the mathematical model was developed. The results we got with the simulation are verified on the actual device.

### 1. UVOD

V napravah energetske elektronike se vedno bolj uveljavljajo tudi mikroračunalniki. Ti omogočajo boljše povezavo med človekom in napravo, opravljajo vodenje naprave in povezujejo več naprav v sistem. Opravljajo tudi diagnostiko naprave, da se preprečijo okvare. Odločili smo se zgraditi trifazni tiristorski mostični mrežno vodeni usmernik, ki ga upravlja mikroračunalnik. Ta mikroračunalnik prioriteten opravlja regulacijo toka in napetosti, meritev toka in napetosti ter proženje tiristorjev, poleg tega pa opravlja še druge prej naštetje funkcije.

Naš usmernik je namenjen za uporabo v telekomunikacijskih napravah. Zato ima vgrajen tudi gladilni filter, ki pa zakomplicira regulacijsko progo.

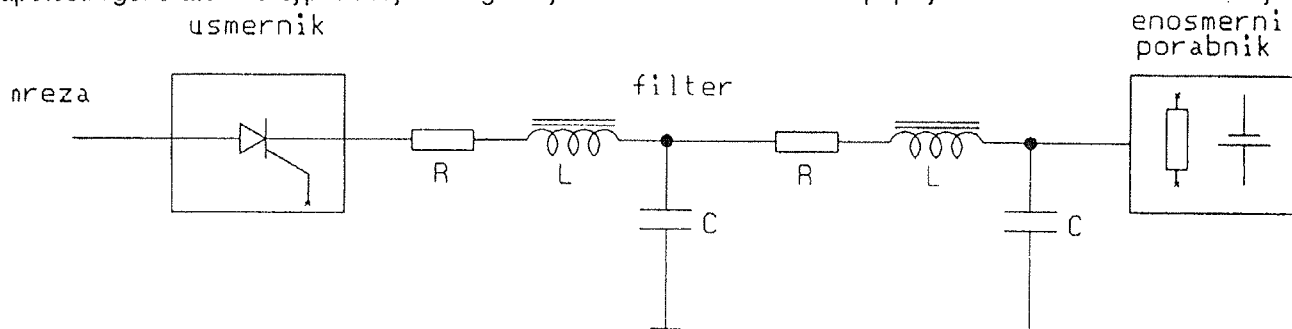
Usmernik napaja porabnike ali polni akumulatorske baterije. Glede na stanje baterije deluje kot tokovni ali napetostni generator. Torej potrebujemo regulacijo toka

in napetosti. Regulatorja sta paralelna, vendar nikoli ne delujeta sočasno.

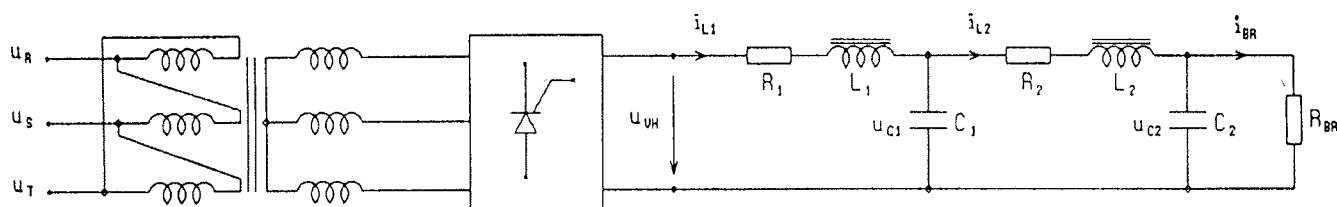
### 2. SIMULACIJA USMERNIKA

Za določanje parametrov tokovnega in napetostnega regulatorja smo razvili matematični model celotne regulacijske proge. Z njim smo si pomagali pri sintezi regulatorjev v diskretnem časovnem prostoru.

Matematični model obsega mostič s tremi fazno premaknjenimi napajalnimi napetostmi, merilnik toka in napetosti in filter. Pri sami sintezi regulatorja vpeljemo dve poenostavitvi, s katerima si olajšamo nadaljnje delo. Usmerniški blok obravnavamo kot D/A pretvornik, ker nas v intervalu pretvorbe binarne informacije v analogno napetost zanima le srednja vrednost analogne napetosti. Podobno obravnavamo merilni blok kot A/D pretvornik. Na vhod pripeljemo trenutno vrednost merjenega



Slika 1: usmernik z regulacijsko progo

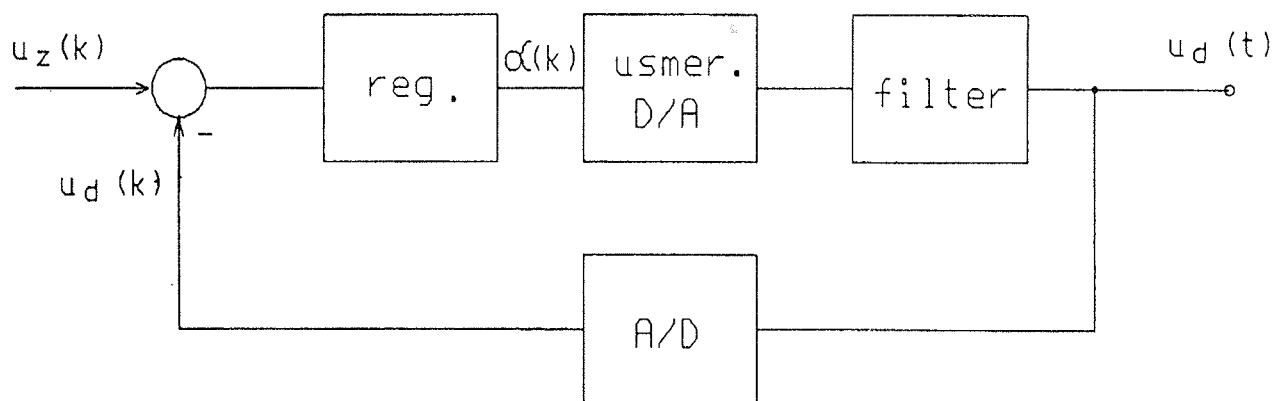


Slika 2: Usmerniško vezje s filtrom

signala, na izhodu pa dobimo po času otipavanja kvan-  
tizarano srednjo vrednost merjenega signala. S sliko 3 si  
lahko sedaj ponazorimo regulacijsko zanko za napetost.

$$s.x(s) = A.x(s) + B.u(s)$$

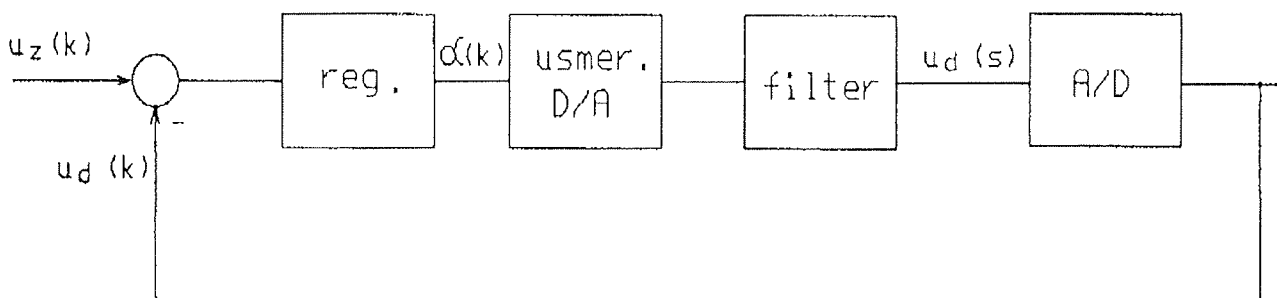
$$y(s) = c^T x(s)$$



Slika 3: napetostna regulacijska zanka

Usmernik je predstavljen z D/A pretvornikom, merilnik  
pa z A/D pretvornikom. Regulacijsko zanko lahko po-  
nazorimo še s sliko 4.

Iz sistema enačb izračunamo prenosno funkcijo G(s) v  
"s" prostoru:



Slika 4: napetostna regulacijska zanka prirejena za analiz ov diskretnem prostoru

Takšno regulacijsko zanko lahko sedaj obravnavamo v  
"z" prostoru, če preslikamo vanj prenosno funkcijo G(s)  
ter bloka D/A in A/D (L4). G(s) je prenosna funkcija  
zveznega sistema, ki jo lahko dobimo iz enačb stanja:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = c^T \cdot (sI - A^{-1}) \cdot B$$

$$\underline{x}(t) = A \underline{x}(t) + B u(t)$$

Za konkreten primer vzamemo enačbe stanj našega  
filtra, ki je vgrajen v usmerniku. Če pogledamo sliko 2,  
lahko zapišemo enačbe stanj:

$$y(t) = C^T \cdot \underline{x}(t) + D u(t)$$

$$\frac{di_{L1}}{dt} = \frac{1}{L_1} (u_{UH} - R_1 i_{L1} - u_{C1})$$

Če matriko D izenačimo z nič in naredimo Laplaceovo  
transformacijo sistema, dobimo:

$$\frac{di_{L2}}{dt} = \frac{1}{L_2} (u_{C1} - R_2 i_{L2} - u_{C2})$$

$$\frac{du_{c1}}{dt} = \frac{1}{c_1} (i_{L1} - i_{L2})$$

$$\frac{du_{c2}}{dt} = \frac{1}{c_2} (i_{L2} - \frac{u_{c2}}{R_{BR}})$$

Spremenljivke stanj so tokovi skozi induktivnosti in napetosti na kondenzatorjih. Enačbe zapišemo z matrikami:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_{L1}}{dt} \\ \frac{di_{L2}}{dt} \\ \frac{du_{c1}}{dt} \\ \frac{du_{c2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R_1}{L_1} & 0 & -\frac{1}{L_1} & 0 \\ 0 & -\frac{R_2}{L_2} & \frac{1}{L_2} & -\frac{1}{L_2} \\ \frac{1}{c_1} & -\frac{1}{c_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{c_2} & 0 & -\frac{1}{R_{BR} \cdot c_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ u_{c1} \\ u_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u_{vh}$$

$$u_{c2} = \begin{bmatrix} 0, 0, 0, 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{L1} \\ u_{L2} \\ u_{c1} \\ u_{c2} \end{bmatrix}$$

Vstavimo še vrednosti posameznih elementov ( $R_1=R_2=10m\Omega$ ,  $L_1=L_2=1mH$ ,  $c_1=c_2=200000 \mu F$ ,  $R_{BR}=0,5$ ) in dobimo prenosno funkcijo za napetostno regulacijsko zanko:

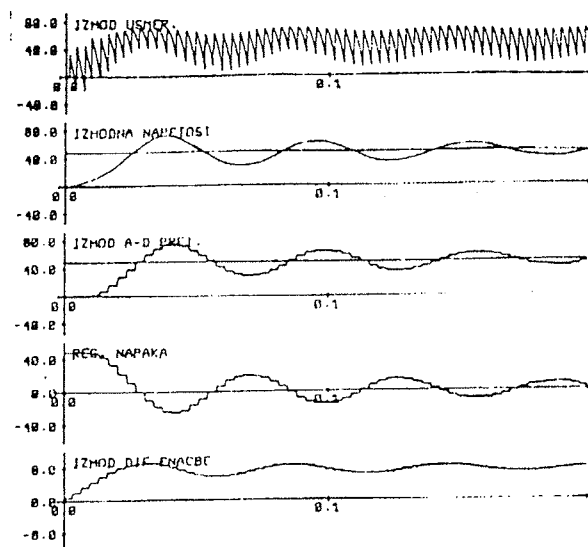
$$G_u(s) = \frac{U_2(s)}{\alpha} (s) = 0,25 \cdot 10^{10} \cdot \frac{1}{0,24 \cdot 10^{10} - 0,851 \cdot 10^7 s + 0,148 \cdot 10^6 s^2 - 80 s^3 + s^4}$$

Prenosno funkcijo filtra  $G_u(s)$  in bloka D/A in A/D (slika 8) nato z metodo stopničaste invarijance preslikamo prek "z" prostora v "q" prostor. Narišemo Bodejev diagram, iz njega pa dobimo parametre regulatorja.

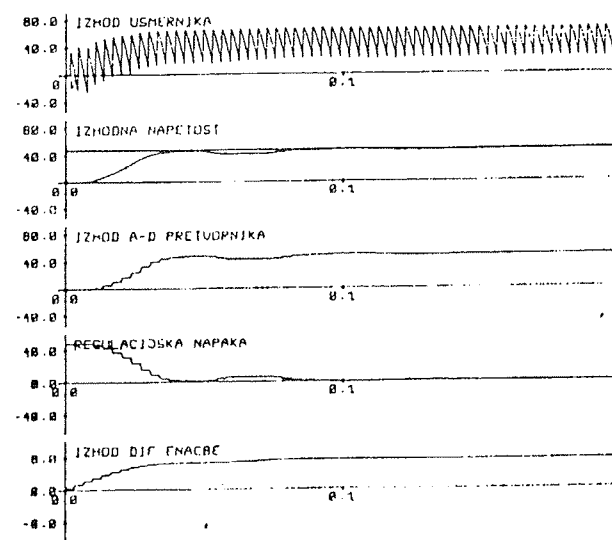
Napetostni regulator sedaj zapišemo z diferencialno enačbo:

$$\alpha u(k) = 0,5117 \cdot \epsilon_u(k) + 0,3126 \cdot \epsilon_u(k-1) + \alpha u(k-1)$$

Rezultat simulacije so parametri regulatorjev za tok in napetost modela usmernika. Parametre skaliramo in jih direktno prenesemo na mikroračunalnik. Na sliki 5a in 5b so prikazani rezultati simulacije z izbranimi parametri regulatorja. Rezultati so pri skočni vzbujalni funkciji zadovoljivi, še ugodnejši pa so pri zvezni vzbujalni funkciji - rampi.



$$\alpha(k) = 0,208 \cdot \epsilon_u(k) + 0,559 \cdot \epsilon_u(k-1) + \alpha(k-1)$$



$$\alpha(k) = 0,5117 \cdot \epsilon_u(k) + 0,3126 \cdot \epsilon_u(k-1) + \alpha(k-1)$$

Slika 5: a,b: simulacijski rezultati pri dveh različnih diskretnih regulatorjih

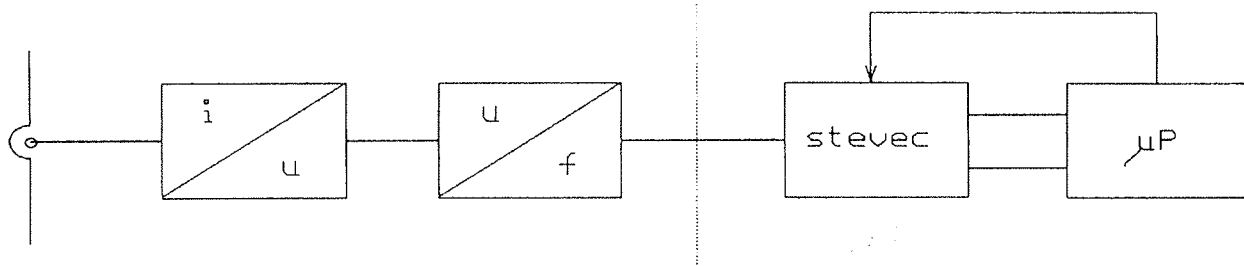
### 3. REALIZIRANI USMERNIK

#### 3.1. Meritev toka in napetosti

Ugotovili smo, da mora usmernik delovati kot tokovni ali napetostni generator, zato potrebujemo informacije o teh velikostih. Za regulacijo potrebujemo srednje vrednosti toka in napetosti, ki jih lahko dobimo iz izraza:

$$i_{SR} = \frac{1}{T} \int_0^T i dt$$

Torej moramo v določenem časovnem intervalu dobiti integral neke fizikalne veličine. Lahko bi ga realizirali z analognim integratorjem in analogno digitalnim pretvornikom. Izdelali smo merilnik z digitalnim integratorjem, ki ima nekatere prednosti.

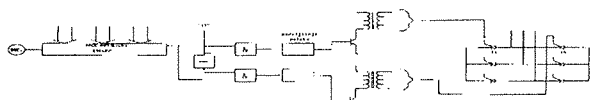


Slika 6: *principialno vezje vmesnika za proženje tiristorjev*

Osnova merilnika je napetostno frekvenčni pretvornik in binarni števec (L2). Vhod je napetost ali tok, izhod pa določeno število pulzov v časovnem intervalu. Binarni števec ima funkcijo integratorja. Prednosti takšnega merilnika so v enostavnejši in cenejši izvedbi, enostavnejši galvanski ločitvi močnostnega dela od mikroračunalnika, hkrati pa nam opravlja celotno meritev toka in napetosti kar mikroračunalnikova periferna enota. Zato meritev časovno ne obremenjuje samega mikroprocesorja.

**3.2. Proženje tiristorjev**

Proženje je povezano s sinhronizacijo, ker nam sinhronizacija določa tiristor, ki prevaja. Za sinhronizacijo potrebujemo informacijo o prehodih medfaznih napetosti skozi ničelno lego ter o pozitivni in negativni polperiodi medfaznih napajalnih napetosti. Iz teh informacij določamo tiristor, ki dobi prožilni pulz (L1). Ta odločitev se ponavlja ob vsakem prehodu medfazne napajalne napetosti skozi ničelno lego. Poleg tega mora prožilna enota spremeniti informacijo o zamuditvi prožilnega pulza v ustrezen pulz. Prožilno enoto smo zgradili na osnovi programabilnega števca, ki smo ga uporabili za kvantizacijo časovne osi.



Slika 7: *princip meritve toka*

V register števca vpišemo informacijo o zakasnitvi prožilnega pulza. Ko števec pride na ničlo, se na izhodni liniji števca pojavi ozek pulz. Ta pulz določa trenutek, ko moramo sprožiti tiristor. Pulz je potrebno še okrepiti in podaljšati, nato pa ga vodimo na tiristor. Z enim števcem lahko prožimo dva tiristorja, torej potrebujemo za celoten mostič tri takšne programabilne števce. Ti so za mikroračunalnik le pomnilniške celice, hkrati pa predstavljajo tiristorje. Naslov števca in pravi trenutek vpisa podatkov pa nam določa prej omenjeni sinhronizacijski postopek. Proženje prevzame nase v glavnem mikroračunalnikova periferna enota, potreben program pa je kratek in enostaven.

ročačunalnikova periferna enota, potreben program pa je kratek in enostaven.

**3.3. Regulacija toka in napetosti**

Ker izvajamo regulacijo z mikroračunalnikom, smo nadomestili analogni regulator z digitalnim. V praktičnih aplikacijah se je pokazalo, da v glavnem zadostuje PI algoritem, preveden v diskretni prostor. Po izpeljavi (L3) zato zapišemo:

$$y(j) = K (1 + T_s/T_i) \Delta x(j) - K \Delta x(j-1) + y(j-1) ,oz.$$

$$y(j) = K_A \cdot \Delta x(j) - K_B \cdot \Delta x(j-1) + y(j-1)$$

Pri tem je  $K_A = K(1 + T_s/T_i)$  in  $K_B = K$

$T_s$  je čas otipavanja in je v našem primeru enak času med dvema točkama komutacij, torej 3,3 ms.  $T_i$  je časovna konstanta integratorja,  $K$  je ojačanje.

Ker enačba predstavlja regulator napetosti ali toka, jo lahko zapišemo še v drugačni obliki:

$$\alpha(j) = K_{A_u} \cdot \epsilon_u(j) - K_{B_u} \cdot \epsilon_u(j-1) + \alpha(j-1)$$

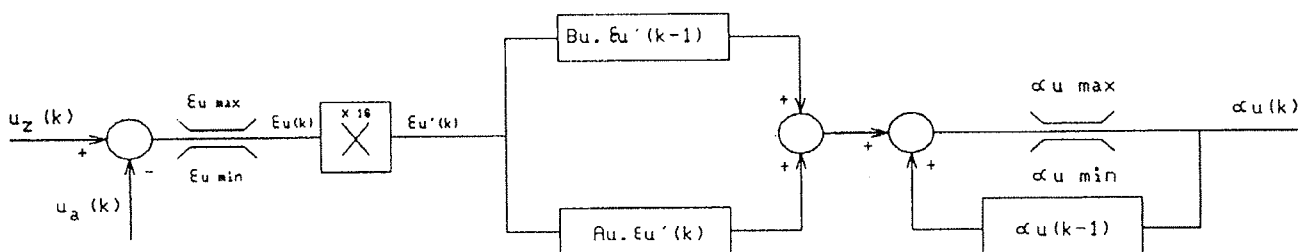
To je enačba za regulator napetosti.

Vhodna veličina je regulacijska napaka napetosti  $\epsilon_u(j) = u_z(j) - u_d(j)$ , izhodna veličina je informacija o zamuditvi prožilnega pulza  $\alpha$ . Regulator je ponazorjen z diferenčno enačbo 1. reda, parametra regulatorja sta  $K_{A_u}$  in  $K_{B_u}$ . Takšna enačba ustreza za reševanje na mikroračunalniku. Težavo predstavlja množenje, ker je program za množenje dokaj zamuden. Problem smo rešili z uporabo aritmetičnega procesorja. Smo pa uporabili celoštevilčno aritmetiko, ker bi nam aritmetika s plavajočo vejico časovno preveč obremenila mikroprocesor. Da ne pride do prekoračitve celoštevilčnega formata pri aritmetičnih operacijah, omejujemo napako  $\epsilon_u(j)$  na vходу regulatorja. Omejujemo tudi izhodno veličino  $\alpha(j)$ , ker je dovoljen vžigni kot med 0 in 150 stopinjami. Enačba za regulator toka je:

$$\alpha(j) = K_{A_i} \cdot \epsilon_i(j) - K_{B_i} \cdot \epsilon_i(j-1) + \alpha(j-1)$$

Vhodna veličina je regulacijska napaka toka  $\epsilon_i(j) = i_z(j) - i(j)$ , izhodna veličina je informacija o zamuditvi prožil-

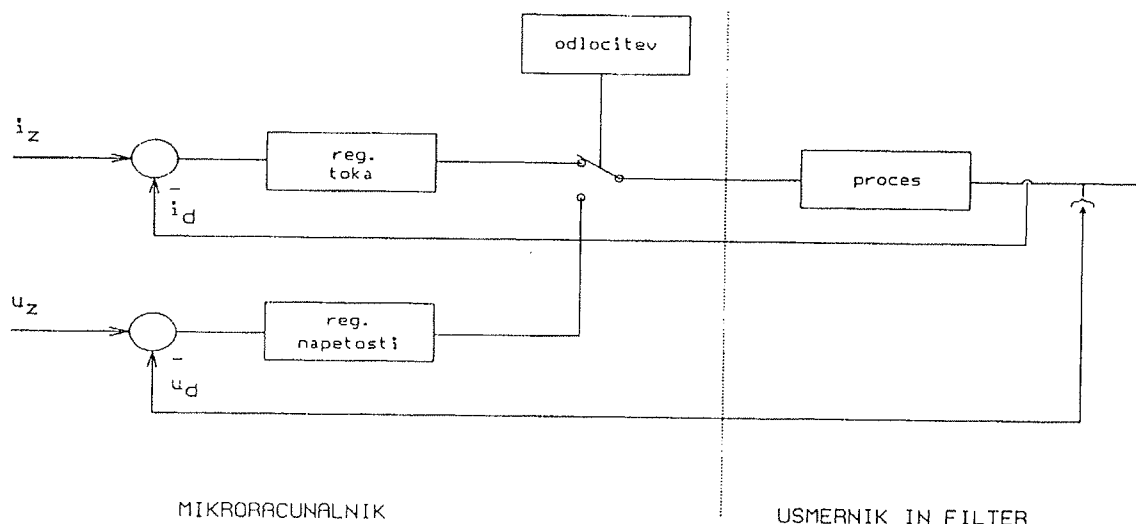




Slika 8: blokovna shema regulacijskega algoritma

nega pulza. Oba regulatorja sta programsko enaka, razlikujeta se le v vhodnih veličinah in parametrih.

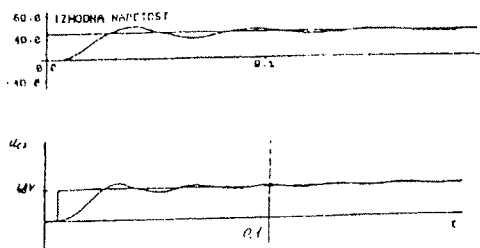
Rezultat računalniške simulacije prikazujeta sliki 10 a in 11 a, sliki 10 b in 11 b pa prikazujeta rezultate, izmerjene na tiristorskem usmerniku.



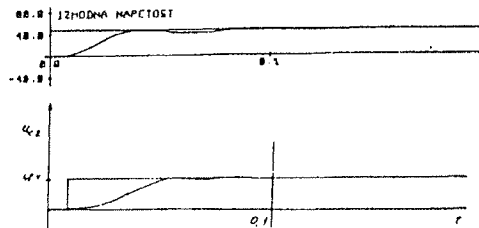
Slika 9: princi pparalelne regulacije

Na sliki 9 je shema naše regulacijske zanke. Merimo tok in napetost na bremenu, z mikroračunalniškim programom za vodenje pa generiramo zelene vrednosti toka in napetosti ter izbiramo regulator toka ali napetosti. Z dobljeno informacijo prožilna enota generira dejanske prožilne pulze za usmernik.

Meritve smo opravili pri vzburjanju usmernika s stopnično funkcijo 48 V. Posneli smo jih s pomočjo osciloskopa z digitalnim spominom in jih nato izrisali na x-y risalnik. Odziva na stopnico na simulacijskem modelu in na realiziranem usmerniku se ujemata. To potrjuje zadovoljivo izdelane simulacijske bloke in metodo simulacije. Vodenje regulatorja z zvezno vzbujujalno funkcijo, torej rampo namesto stopnične funkcije je še ugodnejše. Dobljeni rezultati so zato zadovoljivi.



Slika 10: primerjava simulacijskih merilnih rezultatov z različnimi parametri regulatorja



Slika 11: primerjava simulacijskih merilnih rezultatov z različnimi parametri regulatorja

#### 4. ZAKLJUČEK

Z vgradnjo mikroračunalnika v mostični usmernik je možno realizirati dodatne funkcije, ki opravičujejo višjo ceno naprave. Velik napredek je v komunikaciji med človekom in napravo. Možna je s pomočjo manjše tipkovnice in LCD prikazovalnika ali terminala. Prek tipkovnice vklapljam in izklapljam tiristorski usmernik, izbiramo režim delovanja, vnašamo podatke o želenih vrednostih in karakteristikah. Na zaslonu se izpisuje režim delovanja, izmerjeni tok in napetost na porabniku, čas obratovanja v urah in minutah ter diagnostika, ki je tudi del nove kvalitete. V primeru okvare se naprava samodejno izklopi, napaka pa se izpiše na LCD prikazovalniku ali terminalu. Vgrajena diagnostika skrajša in poenostavi servisiranje, ker mikroračunalnik sam pretestira večje število enot. Ta test opravi tudi pred vsakim vklopom naprave. Vgrajeni mikroračunalnik opravlja tudi funkcijo vodenja. Režim delovanja sicer izbiramo glede na porabnika. Če polnimo akumulatorske baterije, se zahtevajo posebne polnilne karakteristike. S programskim preklapljanjem tokovnega in napetostnega regulatorja lahko realiziramo poljubne polnilne karakteristike. Ob tem lahko napajalnik deluje samostojno, možna pa je povezava več napajalnikov v sistem.

#### 5. LITERATURA

1. M. Milanović, A. Steinbach, K. Jezernik, B. Medved, A. Šuštaršič: Mikroračunalniška prožilna enota tiristorskega šestpulznega omrežno vodenega mostičnega usmernika; Energetska elektronika, Ljubljana 1984.
2. A. Šuštaršič, A. Steinbach, M. Milanović, K. Jezernik, V. Muha: Mikroračunalniški merilnik aritmetične srednje vrednosti toka in napetosti; Energetska elektronika, Ljubljana 1984.
3. H.P.Becker: Entwurf und Realisierung digitaler Regler mit Mikroprozessoren; Elektronik 5/9.3.1984
4. D.Matko: Diskretni regulacijski sistemi; Ljubljana 1984

*M. Milanović,  
K. Jezernik,  
M. Čurkovič,  
Tehniška fakulteta Maribor,  
VTO Elektrotehnika, računalništvo in informatika,  
Smetanova 17, 62000 Maribor*

*Prispelo: 16.05.1989 Sprejeto 06.08.89*

# DIGITALNI GENERATORI SINUSNOG VALNOG OBLIKA POGODNI ZA IMPLEMENTACIJU U LOGIČKI NIZ

Tomislav Švedek

**KLJUČNE RIJEČI:** digitalni generatori sinusnog valnog oblika, Walshove funkcije, logički nizovi, pulsno-kodna modulacija (PCM), pulsno-širinska modulacija (PWM), delta modulacija (DM).

**SAŽETAK:** U članku je dan pregled arhitektura digitalnih generatora sinusnog valnog oblika pogodnih za realizaciju u logičkom nizu. Pregled je rađen na osnovu zahtjeva da se referentni trofazni sustav sinusoida realizira sa manje od 200 2-NI ekvivalentnih sklopova i to u logičkom nizu bez specijaliziranih ROM ćelija.

## DIGITAL SINE-WAVE GENERATOR SUITABLE FOR THE GATE ARRAY IMPLEMENTATION

**KEY WORDS:** digital sine-wave generators, Walsh functions, gate arrays, pulse-code modulation (PCM), pulse-width modulation (PWM), delta modulation (DM).

**ABSTRACT:** In the article the review of digital sine-wave generator architectures suitable for the implementation in gate array is given. The goal is implementation of the three-phase sine-wave reference generator in ROM-less gate array with less than 200 gates.

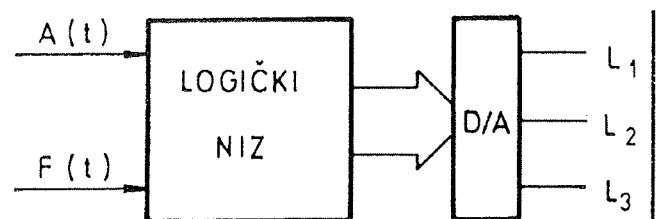
### 1. UVOD

U industrijskoj elektronici česta je potreba za sklopovima koji mogu generirati razne valne oblike - pravokutne, trokutaste, sinusne. Takvi sklopovi koriste se u upravljačkoj elektronici elektromotornih pogona, u sistemima za mjerenje električnih veličina, A/D konverziji. U klasičnoj izvedbi na tiskanoj pločici (PCB) ili u debelom filmu, ti u biti nelinearni sklopovi sastoje se obično od komparatora, operacionih pojačala, otpornika, kondenzatora i dioda. Izravno preslikavanje u MOS tehniku je nemoguće iz razloga što neke od tih komponenata imaju u toj tehnici nezadovoljavajuće karakteristike. Kao kod filtera i A/D konvertera u MOS tehnici i ovdje je potrebno pronaći specifična sklopovska rješenja kojima će biti moguće ostvariti zadanu funkciju, u ovom slučaju generiranje zadanog valnog oblika.

Ako je takav sklop potrebno realizirati u logičkom nizu (engl. gate-array), izbor sklopovskih rješenja je još uži. U ovom radu opisuje se analiza podobnosti pojedinih metoda digitalnog generiranja referentnog trofaznog sustava sinusoida za implementaciju u logički niz manje složenosti. Zahtjevi na takav sklop su:

- \* mogućnost kontinuiranog upravljanja amplitudom i frekvencijom,
- \* implementacija pomoću manje od 200 ekvivalentnih 2-NI sklopova u logičkom nizu bez specijaliziranih ROM ćelija,
- \* jednostavna D/A konverzija izvan logičkog niza (slika 1).

Postoji nekoliko načina digitalnog generiranja sinusnog signala, od kojih su:



Slika 1: *struktura generatora referentnog trofaznog sustava sinusoida*

- 1) filtracija osnovnog harmonika iz pravokutnog valnog oblika,
- 2) sinteza pomoću Walshovih funkcija i
- 3) isčitavanje iz ROM look-up tabela, najpogodniji za implementaciju u logički niz.

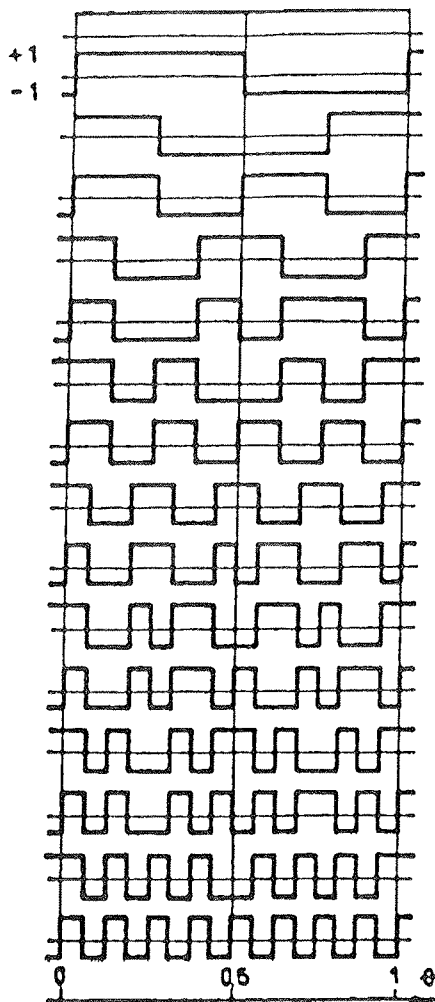
### 2. IZDVAJANJE OSNOVNOG HARMONIKA IZ SIGNALA PRAVOKUTNOG VALNOG OBLIKA

Prva metoda je ujedno i najjednostavnija. Temelji se na činjenici da amplitudni spektar pravokutnog signala sadrži osnovni harmonik  $f_1$  i harmonike višeg reda. Korištenjem niskopropusnog filtera višeg reda osnovni harmonik se može izdvojiti bez značajnih izobličenja. Kako se kontinuiranom promjenom odnosa impulsa-pauza (engl. duty-cycle modulation) u spektru pravokutnog signala kontinuirano mijenja i udio osnovnog harmonika, to je na taj način moguće upravljati amplitudom

generiranog sinusnog signala i to u opsegu od 0 do 100%. Zahtjev za upravljanjem promjenom frekvencije traži uz promjenu frekvencije pravokutnog signala adekvatnu adaptaciju granične frekvencije NF filtera, kako bi generirani sinusni signal zadržao isti faktor izobličenja. To predstavlja očito ograničenje ove metode. Kombinacijom djelitelja moguće je generirati digitalni trofazni signal precizno definiranog faznog odnosa, čija simetrija nakon filtriranja ovisi znatno o uparenosti (engl. matching) karakteristika NF filtera.

### 3. SINTEZA POMOĆU WALSHOVIH FUNKCIJA

Ova metoda daje stepeničastu aproksimaciju sinusnog valnog oblika /lit 1,2/. Realizacija je moguća vrlo jednostavnim logičkim sklopovima i D/A konverterom (otporničkom težinskom mrežom). Na slici 2 je prikazan sustav Rademacherovih i Walshovih funkcija (baze N=16). Rademacherove funkcije za N=16 predstavljaju izlaze binarnog djelitelja sa 16. Potpuni sustav Walshovih funkcija dobiva se jednostavnom logičkom operacijom EX-ILI nad pojedinim Rademacherovim funkcijama. Sustav Walshovih funkcija je ortogonalan sustav, što znači da

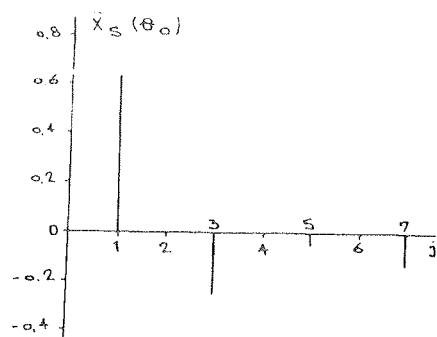


Slika 2: sustav Rademacherovih i Walshovih funkcija baze N=16

se bilo koji valni oblik  $X(\Phi)$  može razviti u Fourierov red na bazi Walshovih funkcija:

$$X(\Phi) = \sum_{j=1}^N D(j) wal(j, \Phi) \tag{1}$$

Ovdje  $X(\Phi)$  označava razvoj u konačan red,  $D(j)$  predstavlja koeficijente konačnog reda, a  $wal(\Phi, j)$  Walshove funkcije iz sustava baze N. Ako signal  $\sin(2\pi\Phi)$  razvijemo u red prema jedn.(1) dobiveni koeficijenti  $D(j)$  poprimaju vrijednosti kao u Tablici 1. Na slici 3 je prikazan amplitudni spektar signala  $\sin(2\pi\Phi)$  na sustavu Walshovih funkcija baze N=16. Sa slike je vidljivo da za tu bazu u sintezi sinusnog signala sudjeluju samo četiri Walshove funkcije. Uz definirane koeficijente  $D(j)$  moguće je pomoću tih Walshovih funkcija sintetizirati sinusni valni oblik. Svakoj od njih potrebno je tada pridjeliti vrijednost koeficijenta  $D(j)$ - težinski faktor, i zatim izvršiti sumiranje. Apsolutna vrijednost koeficijenata  $D(j)$  proporcionalna je vrijednosti otpornika u D/A konverteru, dok se negativna vrijednost dobiva komplementiranjem sekvence odgovarajuće Walshove funkcije. Na slici 4 je prikazan sintetizirani valni oblik sinusoide.

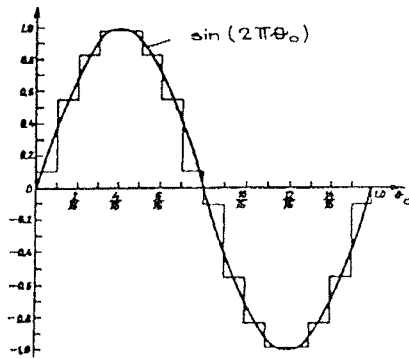


Slika 3: amplitudni spektar sinusnog signala na sustavu Walshovih funkcija baze N=16

J	D(j)
1	0,636
5	-0,265
9	-0,052
13	-0,128

Tablica 6.1. Vrijednosti koeficijenata D(j)

Realizacija ovog tipa generatora referentne sinusoide vrlo je jednostavna (mogućnost izravnog preslikavanja u MOS tehnologiju), pri čemu se otpornička mreža mora izvesti izvan sklopa diskretnim elementima (za N=16 sa četiri otpornika) - slika 5. Upravljanje frekvencijom je moguće kontinuiranom promjenom frekvencije takta generatora Walshovih funkcija, dok se upravljanje

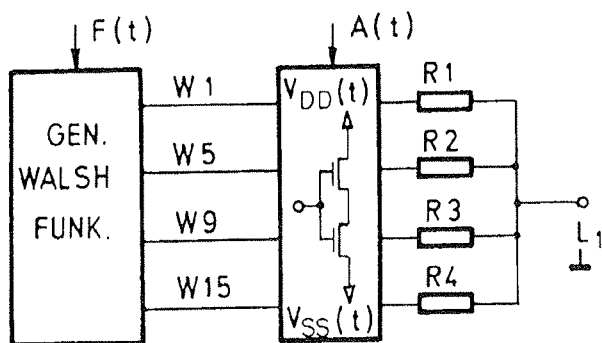


Slika 4: sintetizirani sinusni valni oblik

amplitudom može realizirati modulacijom amplitudnih vrijednosti logičkih stanja izlaza sklopa. Nelinearnost tako generirane sinusoide ovisi o točnosti omjera težinskih otpornika. Izlazni signal je vrlo jednostavno filtrirati (izraženiji tek 15-ti harmonik), te je za razliku od prethodne metode bez promjene granične frekvencije NF filtera moguće postići znatno širi dijapazon promjene frekvencije sinusnog signala uz manju degradaciju karakteristika. Fazni odnos trofaznog sustava sinusoide je precizno definiran djeljiteljem, te eventualna neuparenost karakteristika filtera znatno manje utiče na njegovu simetriju. Za trofazni sustav je potrebno koristiti tri identična D/A konvertera.

#### 4. SINTEZA POMOĆU ROM "LOOK-UP" TABELA

Treći tip čija je primjena i najrasprostranjenija u mnogim sklopovskim rješenjima, omogućava aproksimaciju analognog sinusnog signala generiranjem digitalnog niza dobivenog pulsno- kodnom (PCM), pulsno širinskom (PWM), ili delta (DM) modulacijom sinusnog valnog oblika. U sva tri slučaja generator se sastoji od ROM memorije u koju je upisana sinusoida (dio ili cijeli period), logike i D/A konvertera.



Slika 5: realizacija generatora referentne sinusoide pomoću generatora Walshovih funkcija (jedna faza)

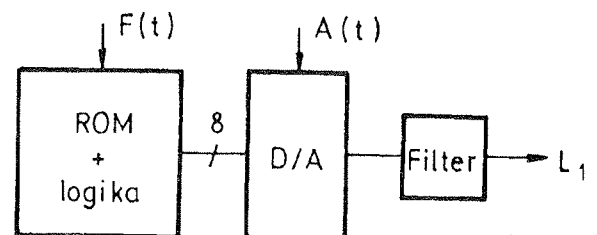
#### 4.1. PCM kodiranje

Kod PCM kodiranja sinusoide se obično uzorkuje u 256 točaka, a svakoj od njih se pridjeljuje kodna riječ duljine 8 bitova. Za upis cijele sinusoide potrebno je stoga zauzeti  $256 \times 8 = 2048$  bitova ROM memorije. Pomoću upravljačke logike isčitavaju se redom sve točke sinusoide (paralelni 8-bitni kod) koje se zatim pomoću 8-bitnog D/A konvertera transformiraju u diskretne amplitudne vrijednosti (slika 6). Frekvencija se može mijenjati kontinuiranom promjenom frekvencije takta. Dijapazon upravljanja frekvencijom je vrlo širok i ograničava ga samo izlazni filter koji guši više harmonike stepeničastog sinusnog signala. Amplitudu je moguće kontinuirano mijenjati promjenom referentnog napona D/A konvertera. Trofazni sustav traži trostruko veći ROM, dodatnu logiku i tri D/A konvertera.

#### 4.2. PWM modulacija

Modulacija širine ili trajanja impulsa (engl. PWM-Pulse Width Modulation) karakterističan je modulacijski postupak za impulsne prijenosne sisteme koji nema ekvivalenta među kontinuiranim postupcima modulacije sinusnog signala. Kod PWM signala je informacija sadržana u trenutku pojave impulsa pa se zato taj postupak zajedno sa modulacijom položaja i frekvencije impulsnog signala ubraja u postupke modulacije vremenskog parametra impulsnog prijenosnog signala (engl. PTM-Pulse Time Modulation). Budući da su u spektru PWM signala dominantne komponente modulacionog signala, demodulacija se izvodi pomoću jednostavnog filtera s niskopropusnom karakteristikom. Ta karakteristika PWM modulacije pruža dodatnu mogućnost primjene ovog generatora i kod regulacije brzine vrtnje električkog motora gdje u procesu demodulacije njegov namot služi kao NF filter, te je demodulirana veličina sinusna struja. Stoga je ovaj generator sinusnog valnog oblika najinteresantniji jer u kombinaciji sa NF filterom može poslužiti za generiranje referentnog trofaznog sustava sinusoide, ali i za generiranje upravljačkih impulsa kod regulacije brzinom vrtnje motora. Digitalni PWM modulatori se prema načinu realizacije dijele na:

1) PWM generatore realizirane pomoću brojala,



Slika 6: realizacija generatora pomoću ROM "look-up" zapisa PCM kodirane sinusoide

2) PWM generatore sa programskim (software) generiranjem PWM sinusnog signala i

3) PWM generatore realizirane pomoću ROM look-up zapisa.

Ova treća grupa digitalnih PWM generatora sinusnog signala je i najprimjerenija za implementaciju u logički niz zadanih karakteristika, a može se podijeliti na dvije podgrupe:

#### 4.2.1. ROM zapis PCM kodiranih PWM impulsa

Svaki pojedini impuls dobiven simulacijom PWM modulacije sinusnog valnog oblika diskretizira se i označava jednom n-bitnom PCM riječju te upisuje u ROM. Obično pod kontrolom mikroprocesora iz ROM-a isčitane PCM kodne riječi se pomoću up/down brojlara pretvaraju u PWM impulse. Kod realizacije trofaznog sistema utrostručuje se neophodna logika (brojlara) te sklopovska realizacija može biti vrlo složena.

#### 4.2.2. ROM zapis uzorkovane PWM sekvence

Kompletni PWM impulsni niz (sekvenca) dobiven simulacijom PWM modulacije jedne periode sinusoide upisuje se u ROM memoriju. Uzorkovanje te sekvence provodi se vrlo visokom frekvencijom takta kako bi se unijela što manja greška kvantizacije položaja prednjeg i zadnjeg brida PWM impulsa. Naime, taj položaj je na vremenskoj osi analogna veličina. Za ovaj pristup je potrebna velika ROM memorija, ali se zato generiranje svodi na isčitavanje PWM sekvence iz ROM-a (nepotrebna up/down brojlara). Kod oba PWM generatora frekvencija sinusnog signala se može mijenjati kontinuirano promjenom frekvencije isčitavanja iz ROM tabele. Budući da se D/A konverzija provodi na NF filteru, to je za jednu vrijednost vremenskih konstanti filtera dijapazon promjena frekvencije ograničen (manje no kod metode 2., ali znatno više no kod metoda 3. i 4.1).

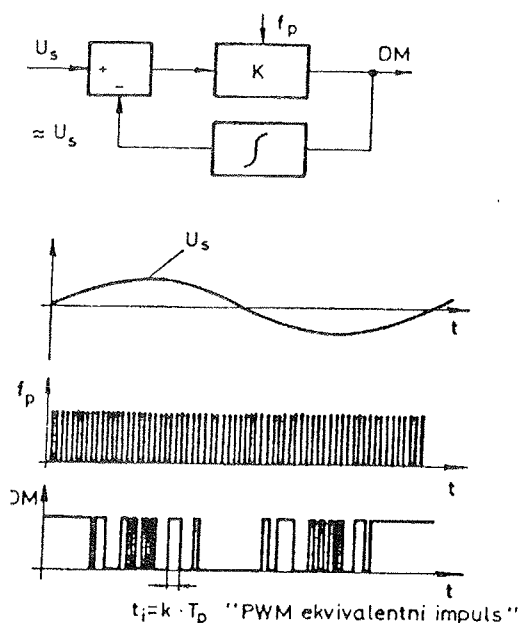
Upravljanje amplitudom generiranog sinusnog signala moguće je na dva načina. Jedan se sastoji u tome da se za K diskretnih amplituda generiranog sinusnog signala ( $m_1, m_2, \dots, m_K$ ) u ROM pohrani K sekvenci PWM impulsa, čime se dobiva diskretna promjena amplitude generirane sinusoide (veći ROM). Drugi način pretpostavlja ROM zapis samo jedne PWM sekvence (manji ROM), nad kojom se nakon toga provodi postupak duty-cycle modulacije (složenija logika), čime se dobiva mogućnost kontinuirane promjene amplitude generirane sinusoide.

#### 4.3. Delta modulacija

Osnovni nedostatak metoda iz točke 4.2., gledajući definirane uvjete implementacije generatora u logički niz

male složenosti, je potreba relativno velike ROM memorije što je posljedica uzorkovanja PWM sekvence vrlo visokom frekvencijom. Zbog tog ograničenja potrebno je primijeniti drugi tip modulacije koji inherentno sadrži postupak diskretizacije po vremenu (manji ROM), a po karakteristikama izlaznog signala je vrlo sličan PWM modulaciji. Tom zahtjevu može udovoljiti delta modulacija /lit 3/.

DM predstavlja posebnu vrstu pulsno-kodne modulacije (PCM) - slika 7. Dok se kod PCM modulacije prenose kvantizirani uzorci modulirajućeg signala koji predstavljaju zaokruženu vrijednost njegovih amplituda u trenucima uzorkovanja, kod delta modulacije se prenosi informacija o promjeni trenutne vrijednosti amplitude signala u odnosu na prethodnu vrijednost.



Slika 7: princip dobivanja delta moduliranog signala i sličnost generiranog impulsnog niza sa PWM nizom

Kvalitativna usporedba spektra PWM signala i spektra DM signala ukazuje na zajedničku osobinu, a to je da i jedan i drugi sadrže snažno izražen spektar modulirajućeg signala (u ovom slučaju komponentu sinusoidalne pobude  $f_1$ ). Osnovni harmonik se dakle izdvaja pomoću niskopropusnog filtra /lit 4 /.

Budući da ekvivalentna ROM memorija mora biti mala jer se gradi pomoću osnovnih logičkih elemenata (NAND, NOR), a treba generirati trofazni sustav sinusoide, to je omjer frekvencije uzorkovanja i frekvencije osnovnog harmonika ( $f_p / f_1$ ) potrebno odabrati takvim:

- \* da se dobije što bolji odnos  $S/\bar{S}$ ,
- \* da taj broj bude što manji kako bi što manji bio i ekvivalentni ROM, i

\* da taj broj bude djeljiv sa tri.

Za vrijednost omjera ( $f_p/f_1$ ) = 384 (broj koji je najbliži vrijednosti kod PCM uzorkovanja sinusoide metodom 4.1, a zadovoljava sve gore postavljene zahtjeve) dobiva se kod trofaznog sustava sinusoida 15 puta manji ROM:

$$\begin{array}{l} \text{PCM } 3 \times 256 \times 8 = \quad \quad \quad 3 \times 2048 = 6144 \\ \text{DM} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad 1 \times 384 = 384. \end{array}$$

U gornjem primjeru DM logički niz, odnosno DM sekvenca jedne periode sinusnog signala sadrži ukupno 384 bita. Radi poluvalne simetrije sinusnog signala u ROM je dovoljno upisati samo polovinu tog niza (192 bita). Kako je taj broj djeljiv sa tri, ROM memorija se može organizirati tako da je uz minimalan broj dodatnih sklopova moguće simultano isčitavanje sve tri faze trofaznog sustava sinusoida (L1,L2,L3). I ovdje su kao i kod metode 4.2 moguća dva načina upravljanja amplitudom (diskretno i kontinuirano), dok je upravljanje frekvencijom kontinuirano i po dijapazonu promjene ograničeno kao u točki 4.2.

## 5. UMJESTO ZAKLJUČKA

Digitalni principi generiranja PWM sinusnog signala najpogodniji su za realizaciju u ASIC-ima projektiranim tehnikom logičkih nizova. Međutim, nepostojanje specijaliziranih memorijskih ćelija za formiranje internog ROM-a, te relativno mala složenost korištenih logičkih nizova nameću potrebu iznalaženja sklopovski jednostavnih rješenja. U Tablici 2 je kvalitativno dan pregled svih metoda digitalnog generiranja trofaznog sustava sinusoida koje su pogodne za implementaciju u logički niz manje složenosti. Metode se međusobno razlikuju po kompleksnosti realizacije, dijapazonu i načinu promjene amplitude i frekvencije. Razlikuju se i po tipu D/A konverzije. Metode 4.1. i 4.2.1. posebno, traže relativno veliku ROM memoriju, te je uz neizostavnost njihovog korištenja potrebno predvidjeti i mogućnost korištenja eksterne memorije. S obzirom na dani zahtjev generiranja trofaznog impulsnog sistema delta moduliranih sinusoida upravljive frekvencije i amplitude metoda 4.3. traži najmanje hardware-a i vrlo se lako može implementirati u logički niz male složenosti. Ova metoda je uspješno korištena kod realizacije ASIC-a RK3- 1099.17./lit 5/.

Metoda	Složenost sklopa (2-NI)	Upravljanje amplitudom	Opaska
2	≈ 30	duty-cycle	tri identična filtera (veliko gušenje iznad fg)
3	≈ 120	modulacija napona izlaznih invertora	tri identične D/A mreže (3 x 4 otpornika); tri identična filtera (15-ti harmonik)
4.1.	≈ ROM (3x1024) + 160	modulacija napona Vref D/A konvertera	tri identična 8-bitna D/A konvertera; tri identična filtera
4.2.1.	≈ ROM (?) + 300	diskretno (m) ili duty-cycle	tri identična filtera
4.2.2.	≈ ROM (?) + ?	diskretno (m) ili duty-cycle	tri identična filtera
4.3.	≈ ROM*(192) + 130 ≈ 200	diskretno (m) ili duty-cycle	tri jednobitna D/A konvertera; tri identična filtera

\* ROM izveden pomoću 2-NI osnovnih sklopova

Tablica 2

## 6. LITERATURA

- 1/ T.Švedek: "Generator Walsh funkcija kao osnova za realizaciju PSK modulatora" - "Zbornik radova ETAN u pomorstvu" str.384-390, Zadar, lipanj, 1985.
- 2/ T.Švedek: "Sinteza diskretno fazno moduliranih signala pomoću Walshovih funkcija" - doktorska disertacija, ETF Zagreb, 1986.
- 3/ R. Steel: Principi delta modulacije (prijevod s engleskog) "SVJAZ", MOSKVA, 1979.
- 4/ T.Švedek: "Delta modulacija kao alternativa PWM postupku generiranja trofaznog referentnog sistema sinusoida" 23. Jugoslavenska konferencija za ETAN, Novi Sad, lipanj, 1989.
- 5/ M.Štulić, T.Švedek: "Three-phase pulse system generator of delta-modulated sine-wave designed as ROM-less gate array ASIC" 10 17th YUGOSLAV CONFERENCE ON MICROELECTRONICS, Niš, May, 1989.

*Dr. Tomislav Švedek, dipl.ing.  
RADE KONČAR - ETI  
Baštijanova bb, 41000 Zagreb*

*Prispelo: 24.8.1989      Sprejeto: 31.8.1989*

# MODULARNO NAČRTOVANJE MIKROELEKTRONSKIH VEZIJ Z NAČRTOVALSKIM PAKETOM SCEPTRE

T. Dogša, R. Babič, M. Solar

KLJUČNE BESEDE: integrirana vezja, računalniško načrtovanje vezij, modularno načrtovanje, metoda standardnih celic, SCEPTRE

POVZETEK: V članku je prikazana problematika modularnega načrtovanja mikroelektronskih vezij po metodi standardnih celic. V prvem delu so opisane specifikacije načrtovalnega paketa, ki omogoča takšno načrtovanje. V drugem delu je opisan konkreten programski paket SCEPTRE z vidika obravnavane problematike. Na koncu pa je na kratko podan opis podatkovne baze SCEPTRE in predlagana dopolnitev programskega paketa tako, da je možno uporabiti tudi modularni pristop pri načrtovanju obsežnejšega mikroelektronskega vezja.

## MODULAR STANDARD CELL DESIGN WITH SCEPTRE

KEY WORDS : integrated circuits, computer aided circuit design, modular design, standard cells method, SCEPTRE

ABSTRACT: The modular IC design (standard cells) problems are briefly presented. User requirements for the modular IC design software are summarized in the first part of the paper. The SCEPTRE design programs are discussed in the next part. Finally a brief description of SCEPTRE database and the suggested completion of this programme package is given so that a modular approach in integrated circuits design can also be used.

### UVOD

Tehnologija mikroelektronskih vezij zelo hitro napreduje. Napovedi za konec tega stoletja so čipi velikosti milijarde transistorjev. Nekateri avtorji (1) se sprašujejo, če jih bo sploh mogoče povsem izkoristiti. Izjema so seveda pomnilniki, kateri so in bodo vedno premajhni.

Razvoj programov in računalnikov ter načrtovanje programske opreme imata v mnogih primerih marsikaj skupnega. V zgodnjih začetkih računalništva so bili programi relativno kratki. En sam programer je bil avtor celotnega programa. Delež stroškov programiranja je bil zelo majhen v primerjavi z vrednostjo računalnika. V raziskavi ameriškega U.S. Air Force je bilo leta 1955 to razmerje 1:4 (2). Že leta 1985 se je spremenilo na 4:1!. Nekaj podobnega se dogaja pri razvoju mikroelektronskih tehnologij in načrtovanju mikroelektronskih vezij. Čipi postajajo čedalje cenejši in relativni delež stroškov razvoja čipa pada v primerjavi s stroški načrtovalcev. Problem stroškov načrtovalcev in načrtovanja kompleksnih vezij rešujemo z ustrežno CAD programsko opremo in pa skupinskim pristopom. V članku želimo na kratko osvetliti pomembne aspekte, ki se pojavijo pri prehodu na skupinsko delo. Omejili se bomo samo na programski paket SCEPTRE, ki je namenjen načrtovanju s standardnimi celicami. Prikazani so tudi podatki o strukturi podatkovne baze, ki jo SCEPTRE uporablja.

Razvoj čipa lahko poenostavljeno razdelimo v tri faze :

1. izdelava sheme, oz. električnega načrta vezja
2. načrtovanje geometrije vezja
3. izdelava mask in proizvodnja

Pri opisu problematike skupinskega pristopa bomo obravnavali samo prvo fazo, ki jo običajno opravi naročnik vezja.

### SPECIFIKACIJE NAČRTOVALNE OPREME

Tipični potek skupinskega načrtovanja obsega:

1. izdelavo specifikacij za kompletno vezje
2. razdelitev vezja na posamezne module
3. načrtovanje posameznih modulov
4. integracija posameznih modulov v kompletno vezje
5. verifikacija kompletnega vezja

Rezultat vseh teh faz je preverjena logična shema vezja, ki ustreza delu specifikacij. (V tej fazi še ne moremo preveriti delovanja vezja v absolutnem časovnem merilu oz. zakasnitev).

Da bi nek programski paket omogočil skupinsko načrtovanje, mora podpirati naslednje aktivnosti:

1. združevanje vezij, oz. modulov
2. delitev vezij na module
3. dodajanje makrojev k vezju
4. preklic makroja (vsebina makroja postane del vezja)
5. izločevanje makroja
6. prenos in transformacija podatkovne baze, ki je bila ustvarjena s kakšnim podobnim, vendar ne kompatibilnim načrtovalnim paketom

Združevanje vezij mora tudi rešiti problem preštevilčenja vozlišč in problem različnih formatov opisa vezja. Le-ta se pojavi :

- \* kadar načrtujemo s pomočjo različnih CAD paketov
- \* kadar uporabljamo module iz prejšnjih projektov

Boljši programski paketi vsebujejo ustrezne programe za pretvorbo različnih formatov. V literaturi se pogosto omenja format EDIF (4), ki naj bi postal standard. Če nimamo ustreznega transformacijskega programa, ga pač moramo izdelati sami. Ključni podatek, ki je pri tem



potreben, je vsekakor natančen opis podatkovne baze, v kateri se skriva opis vezja.

### STRUKTURA NAČRTOVALNEGA PAKETA SCEPTRE

Programski paket SCEPTRE podpira načrtovanje s standardnimi CMOS celicami. Uporablja se na PC XT/AT osebnih računalnikih. Sestavljen je iz programov, ki so prikazani na sliki 1:

- \* grafičnega editorja SCHEM
  - \* programa za pretvorbo grafičnega opisa vezja v listo povezav (netlist) TRACE
  - \* simulatorja SIMULATE
  - \* programa za prikaz rezultatov simulacije DISPLAY
- Ti programi uporabljajo podatkovno bazo, ki jo sestavljajo :
- \* podatki o načrtovalcu HEADER.DTA

- \* uporabnikova knjižnica SCHEM.LIB
- \* grafični opis vezja CIRCUIT.DTA

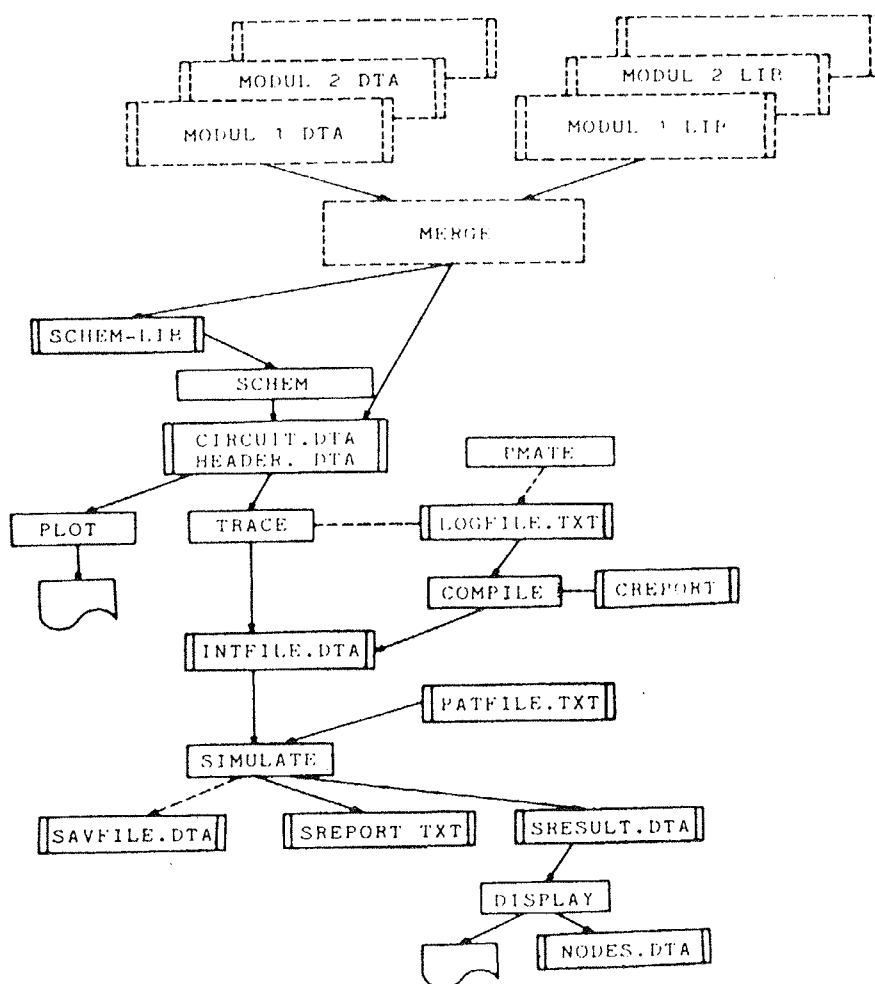
Konkretna verzija (za PC SIRIUS) ne omogoča skupinskega dela, ker ne izpolnjuje predhodno navedenih zahtev. Iz tega sledi, da tudi ni mogoče direktno uporabiti makrojev in modulov iz predhodnih projektov.

Cilj naše naloge je bila analiza podatkovne baze paketa SCEPTRE in izdelava ustreznih programov, ki bodo omogočili skupinsko načrtovanje.

### DOPOLNJEN NAČRTOVALNI PAKET SCEPTRE

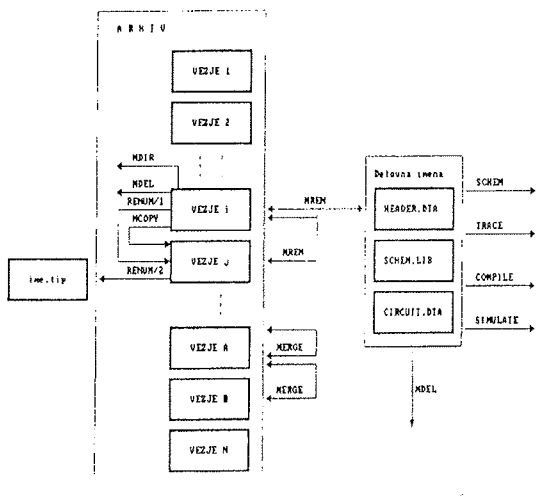
Rezultat našega dela je bilo nekaj programov, s katerimi smo realizirali prej zahtevane specifikacije. To so :

- MERGE : združevanje in ekstrakcija modulov
- MREN : preimenovanje modulov
- RENUM : preštevilčenje vozlišč
- MCOPY : kopiranje modulov



Sl. 1: Zgradba podatkovne baze CIRCUIT.DTA v programskem paketu SCEPTRE. (Črtkano je označen osnutek predelave paketa.)

Na sliki 2 je prikazan procesni diagram izdelanih programov, ki omogočajo modularno načrtovanje.



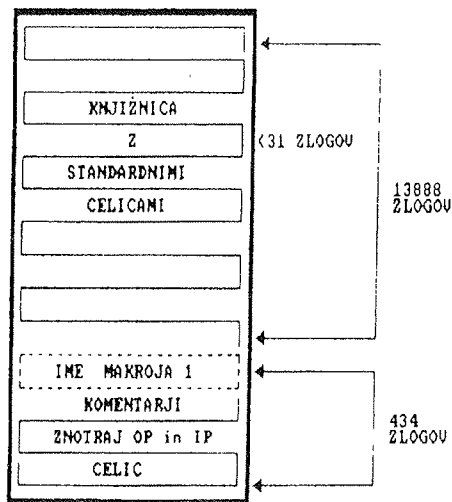
Sl. 2: procesni diagram dodanih programskih paketov

**OPIS PODATKOVNE BAZE**

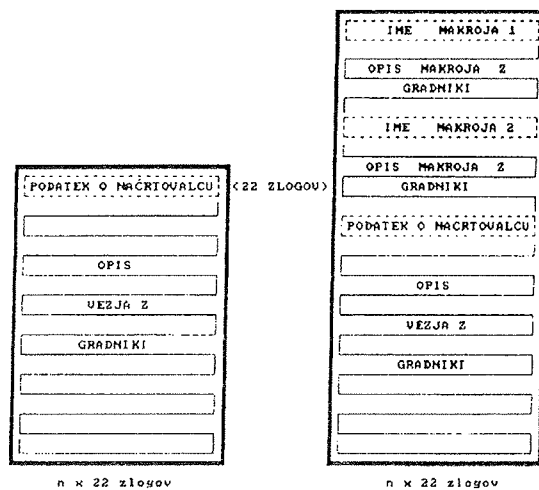
Pri predelavi SCEPTRE paketa je bila ključnega pomena podatkovna baza. Z analizo te baze smo ugotovili, da so za grafični opis vezja uporabljeni naslednji gradniki :

- \* logični elementi
- \* linije (povezave)
- \* komentarji
- \* makroji

Na sliki 3 je prikazana struktura dveh datotek CIRCUIT.DTA. Možni sta dve situaciji. Vezje je sestavljeno iz elementov, ki so vsi na enakem hierarhičnem nivoju oziroma so v vezju tudi makroji. Dolžina datoteke je



Sl. 4: struktura knjižnice SCHEM.LIB



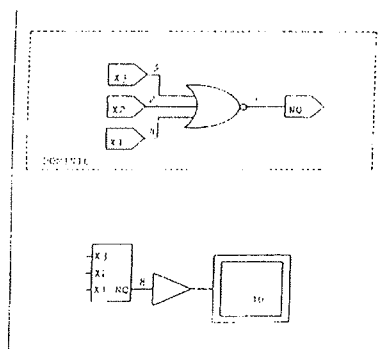
Sl. 3: struktura datoteke CIRCUIT.DTA (a. brez makroja, b. z dvema makrojema)

odvisna od števila gradnikov (faktor "n"). Vsak zapis je tipiziran in je dolžine 22 zlogov.

V knjižnici SCHEM.LIB se nahajajo definicije standardnih logičnih elementov, ki so v danem procesu na razpolago. Uporabnikove makroje dodaja grafični editor na koncu knjižnice. Vsak makro zavzema 434 zlogov. Strukturo knjižnice ponazarja slika 4.

**KONKRETNI PRIMER**

Za ilustracijo smo izbrali del vezja, ki vsebuje preprost makro in en logični element tako kot kaže slika 5. Na sliki 6a in 6b je prikazana struktura datoteke CIRCUIT.DTA, ki pripada primeru. Vsak zapis je predstavljen v heksadecimalni obliki in ustreznemu ASCII ekvivalentu. (Zlogi, ki nimajo ASCII interpretacije so označeni s piko.)



Sl. 5: primer vezja z enim elementom in makrojem

zapis št. 1 0700010008444F4D494E49433100110013000C001D00  
 .....DOMINIC1..... 22 od 616 zlogov  
 zapis št. 2 0800140015000249505331410000000000020C001D00  
 .....IPS1A..... 44 od 616 zlogov  
 zapis št. 3 0A00010000000249505331410000000000020C001D00  
 .....IPS1A..... 66 od 616 zlogov  
 zapis št. 4 08001C001700044E523331410000000000020C001D00  
 .....NR31A..... 88 od 616 zlogov  
 zapis št. 5 0A0004000000044E523331410000000000020C001D00  
 .....NR31A..... 110 od 616 zlogov  
 zapis št. 6 0800140018000249505331410000000000020C001D00  
 .....IPS1A..... 132 od 616 zlogov  
 zapis št. 7 0A00020000000249505331410000000000020C001D00  
 .....IPS1A..... 154 od 616 zlogov  
 zapis št. 8 080027001800024F50533141000000000000C001D00  
 ..'....OPS1A..... 176 od 616 zlogov  
 zapis št. 9 080014001B000249505331410000000000020C001D00  
 .....IPS1A..... 198 od 616 zlogov  
 zapis št. 10 0A00030000000249505331410000000000020C001D00  
 .....IPS1A..... 220 od 616 zlogov  
 zapis št. 11 0900170016001A00160000000000000000020C001D00  
 ..... 242 od 616 zlogov  
 zapis št. 12 09001A0018001C00180000000000000000020C001D00  
 ..... 264 od 616 zlogov  
 zapis št. 13 0900170019001C00190000000000000000020C001D00  
 ..... 286 od 616 zlogov  
 zapis št. 14 09002200190027001900000000000000020C001D00  
 .."....'..... 308 od 616 zlogov

Razlaga zapisov :

zapis št. 1 Ime makroja  
 zapis št. 2-22 Vsebina makroja  
 zapis št. 23 Podatki o projektu iz  
 HEADER.DTA  
 zapis št. 24-28 Podatki o elementih  
 zunaj makroja

Sl. 6a: CIRCUIT.DTA z enim elementom in makrojem

zapis št. 15 09001A001A001C001A0000000000000000020C001D00  
 ..... 330 od 616 zlogov  
 zapis št. 16 090017001C001A001C0000000000000000020C001D00  
 ..... 352 od 616 zlogov  
 zapis št. 17 09001A0016001A00180000000000000000020C001D00  
 ..... 374 od 616 zlogov  
 zapis št. 18 09001A001A001A001C0000000000000000020C001D00  
 ..... 396 od 616 zlogov  
 zapis št. 19 0B00140015000258313331000000000000020C001D00  
 .....X131..... 418 od 616 zlogov  
 zapis št. 20 0B00140018000258323331000000000000020C001D00  
 .....X231..... 440 od 616 zlogov  
 zapis št. 21 0B0027001800024E513331000000000000020C001D00  
 ..'....NQ31..... 462 od 616 zlogov  
 zapis št. 22 0B0014001B000258333331000000000000020C001D00  
 .....X331..... 484 od 616 zlogov  
 zapis št. 23 07000000076469706C6F6D619400000000020C001D00  
 .....diploma..... 506 od 616 zlogov  
 zapis št. 24 08001F0002000350443132000000000000020C001D00  
 .....PD12..... 528 od 616 zlogov  
 zapis št. 25 0A00070000000350443132000000000000020C001D00  
 .....PD12..... 550 od 616 zlogov  
 zapis št. 26 08001600040008444F4D494E4943310000020C001D00  
 .....DOMINIC1..... 572 od 616 zlogov  
 zapis št. 27 0A000500000008444F4D494E4943310000020C001D00  
 .....DOMINIC1..... 594 od 616 zlogov  
 zapis št. 28 09001B0006001F00060000004943310000020C001D00  
 .....IC1..... 616 od 616 zlogov

Sl. 6b: CIRCUIT.DTA z enim elementom in makrojem

## ZAKLJUČEK

Predelava oz. dopolnitev programskega paketa SCEPTRE omogoča povezovanje dveh ali več načrtanih vezij iz različnih datotek. Ta dodatek se je pokazal kot koristno načrtovalsko orodje, saj enostavno omogoča skupinsko delo pri načrtovanju modularno zasnovanega obsežnejšega integriranega vezja. Trenutno se največ uporablja v pedagoškem procesu pri predmetu Integrirana vezja na VŠ stopnji.

## LITERATURA

(1) B.C.Cole: "Here comes the billion-transistor IC", Electronics, april 2, 1987, str. 81-85

(2) M.L.Schooman: "Software Engineering, Design, Reliability, and Management", McGraw-Hill, 1983.

(3) A.Vodopivec, D.Jenko, F.Runovc: "Snovanje uporabniških integriranih vezij v ISKRI DO Mikroelektronika", Informacije MIDEM, št.2

(4) H.Clawson: "Understand EDIF conventions to Transfer Circuit Data", Electronic Design, Oct.1987, str. 49-55

(5) M. Dominič: "Računalniško podprto načrtovanje mikroelektronskih vezij", Diplomski naloga, Tehniška fakulteta v Mariboru, 1989

*mag. Tomaž Dogša, dipl.ing.*

*mag. Rudolf Babič, dipl.ing.*

*Mitja Solar, dipl.ing.*

*vsi Univerza v Mariboru,*

*Tehniška fakulteta,*

*VTO Elektrotehnika, računalništvo in informatika,*

*Smetanova 17, 62000 Maribor*

*Prispelo: 24.08.1989 Sprejeto: 31.8.1989*

# VPLIV DODATKA $ZrO_2$ NA MEHANSKE IN MAGNETNE LASTNOSTI $NiZn$ FERITOV

S. Beseničar, M. Drogenik, T. Kosmač

KLJUČNE BESEDE: magnetna keramika,  $NiZn$  feriti, dopiranje,  $ZrO_2$ , vplivi, dodatkov magnetne lastnosti, mehanske lastnosti, eksperimenti

POVZETEK: Z dopiranjem  $NiZn$  feritov z majhnimi količinami  $ZrO_2$  smo izboljšali mehanske in magnetne lastnosti keramičnih magnetov. Magnetne izgube pri 10 MHz se zmanjšajo na polovico, ne da bi se bistveno spremenila magnetna permeabilnost. Za faktor dva se izboljša tudi upogibna trdnost. Predpostavljamo, da so te spremembe posledica mikrostrukturnih sprememb in, da na lastnosti vzorcev, dopiranih z različnimi količinami  $ZrO_2$ , vpliva predvsem različna sestava tekoče faze na mejah med zrni.

## THE INFLUENCE OF $ZrO_2$ DOPANT ON MAGNETIC AND MECHANICAL PROPERTIES OF $NiZn$ FERRITES

KEY WORDS: magnetic ceramics,  $NiZn$  ferrites, doping,  $ZrO_2$ , influences of additives, magnetic properties, mechanical properties, experiments

ABSTRACT: The magnetic and mechanical properties of zirconia added  $NiZn$  ferrites were studied. It was found that the addition of small amounts of  $ZrO_2$  improves their magnetic properties to a great extent. Magnetic losses at 10 MHz decreased by a factor two, whereas the flexural strenght of the material can be improved by the same factor. It was hypothesized that the microstructural changes influence the both properties. Different amount of  $ZrO_2$  dopant influence the changes of the liquid phase composition on the grain boundaries and consequently the magnetic and mechanical properties.

### 1. UVOD

Keramični mehko magnetni materiali imajo zaradi visoke električne upornosti in zaradi nizkih magnetnih izgub, ki jih povzročajo vrtničasti tokovi veliko prednosti pred kovinskimi magneti. Uporaba keramičnih magnetov - feritov v sodobni elektroniki je zaradi tega zelo pomembna. V glavnem se uporabljajo  $MnZn$  feriti in  $NiZn$  feriti. Uporaba prvih je omejena na frekvence do 1 MHz. Pri višjih frekvencah  $MnZn$  feritov ne uporabljajo zaradi velikih magnetnih izgub, ki so posledica njihove polprevodnosti. Njihovo vlogo prevzamejo  $NiZn$  feriti, ki imajo zaradi zelo majhne vsebnosti  $Fe^{2+}$ , ki je izvor električne prevodnosti, visoko električno upornost.

Uporaba  $NiZn$  feritov pri frekvencah nad 1 MHz je pogojena z njihovimi relativno nizkimi izgubami, ki jih povzročajo vrtničasti tokovi.

Poleg magnetnih lastnosti so za uporabo  $NiZn$  feritov v sodobnih elektronskih napravah pomembne tudi mehanske lastnosti, na katere je mogoče vplivati s postopkom priprave in z različnimi dodatki. Eden izmed uspešnih načinov za povečanje trdnosti keramike je vgrajevanje dispergiranih delcev  $ZrO_2$ . Znano je namreč, da je možno izkoristiti martenzitno fazno transformacijo  $ZrO_2$  iz tetragonalne v monoklinsko obliko za transformacijsko utrjevanje številnih keramičnih matric(1). O vplivu dodatka  $ZrO_2$  na mehanske in tudi magnetne lastnosti  $MnZn$  feritov so v literaturi že poročali(2), pri  $NiZn$  feritih pa tega vpliva še niso raziskali.

Z dopiranjem  $NiZn$  feritov z  $ZrO_2$  smo želeli vplivati na mehanske lastnosti teh materialov, hkrati pa smo študirali tudi vzporedne efekte, kot je morebitno vgra-

jevanje  $ZrO_2$  v spinelno rešetko, modifikacija prehodne tekoče faze itd..  $ZrO_2$  smo izbrali iz več razlogov: reaktivnost ferita z  $ZrO_2$  je sorazmerno majna,  $ZrO_2$  lahko mehansko utrjuje matrico in vpliva na razvoj mikrostrukture,  $Zr^{4+}$  ioni, vgrajeni v mrežo ferita, lahko delujejo podobno kot  $Ti^{4+}$ , katerega vpliv na izgubne karakteristike  $NiZn$  feritov je že znan (3,4).  $Ti^{4+}$  ioni  $^{2+}Fe$  ioni tvorijo stabilne pare, ki zmanjšujejo Verweyev prevodnost.

### 2. EKSPERIMENTALNO DELO

Vzorci  $NiZn$  feritov z osnovno sestavo  $(NiO)_{28}(ZnO)_{13}(Fe_2O_3)_5$  so bili pripravljene iz osnovnih oksidnih komponent:  $Fe_2O_3$  (Bayer),  $ZnO$  (Cinkarna Celje - Zlati pečat) in  $NiO$  (Kalichemie). Zmes oksidov smo mokro homogenizirali, sušili in kalcinirali na zraku pri  $T = 1150^\circ C$  3 ure. Drobljen kalcinat, ki smo mu dodali različne količine  $ZrO_2$  (MEL) od 0,1 do 5 ut.%, smo mokro mleli v vodi, do povprečne velikosti delcev  $d_{FSSS} = 1,2 \mu m$ , ga posušili in granulirali z 2 ut.% PVA ter 0,5 ut.% Mullrexa. Za magnetne meritve smo pripravili vzorce v obliki obročev, za meritve mehanske trdnosti v obliki pravokotnih ploščic in za električne meritve v obliki okroglih ploščic. Vzorce smo sintrali na zraku pri različnih temperaturah od  $1210^\circ C$  do  $1280^\circ C$  dve uri. Sintranim vzorcem smo pregledali mikrostrukturo in izmerili nekatere magnetne lastnosti (permeabilnost pri sobni temperaturi in magnetne izgube v frekvenčnem področju od 1 - 50 MHz). Feritnim vzorcem v obliki ploščic smo izmerili mehanske lastnosti po standardni tritočkovni metodi za testiranje upogibne trdnosti. Poleg običajnih mikrostrukturnih preiskav z optičnim mikroskopom SEM in TEM (Jeol 2000xS) opremljenim z EDS (Link), smo

analizirali vzorce tudi z Augerjevo spektroskopijo (PHI, Model 55 Scanning Auger Microprobe, Physical Electronic Industries Dev., Perkin Elmer) - premer elektronskega snopa je bil 1 μm. Vzorce smo karakterizirali tudi z električnimi meritvami in sicer z merjenjem kompleksne impedance s HP impedančnim analizatorjem 419 ALF v frekvenčnem območju do 13 MHz.

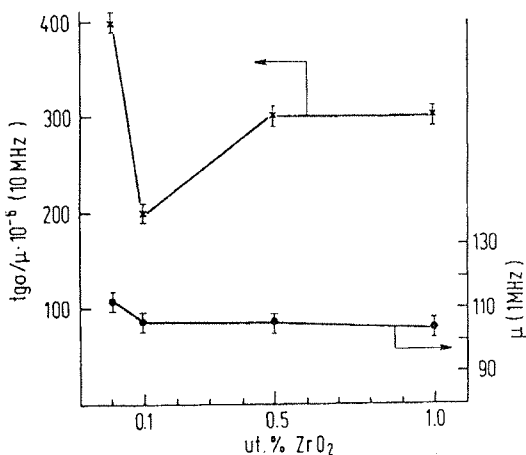
**3. REZULTATI IN DISKUSIJA**

Slika 1 prikazuje magnetne lastnosti (permeabilnost in magnetne izgube) vzorcev, ki so bili sintrani pri T<sub>S</sub> = 1250°C in sicer v odvisnosti od dodanega ZrO<sub>2</sub>. Izmerjene upogibne trdnosti v odvisnosti od količine dopanta za isto skupino vzorcev prikazuje slika 2. Iz obeh diagramov je mogoče ugotoviti, da majhne količine dodanega ZrO<sub>2</sub> zmanjšajo magnetne izgube za faktor dva in hkrati prav tako za faktor dva povečajo mehansko trdnost. Prelomne površine dopiranih in nedopiranih vzorcev prikazuje slika 3, ki kaže transgranularen lom pri dopiranih vzorcih z 0,5 ut.% ZrO<sub>2</sub>, medtem ko je za nedopirane vzorce karakterističen intergranularen lom. Da bi dobili natančnejše informacije glede vpliva dodanega ZrO<sub>2</sub> na dogajanje na mejah med zrni, smo vzorce analizirali z Augerjevo spektroskopijo. Analizirali smo tudi vzorce z večjo vsebnostjo ZrO<sub>2</sub>.

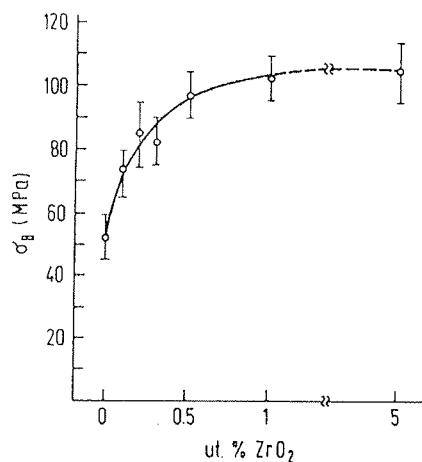
Rezultati te analize so so bili že objavljeni (5). Pokazali so, da se ZrO<sub>2</sub> nahaja povečini na mejah med zrni, le majhna količina Zr<sup>4+</sup> ionov se vgrajuje v spinelno rešetko. To smo v nadaljevanju raziskav potrdili tudi z analizo na TEM. V vzorcih smo vzdolž mej med zrni našli amorfno fazo, ki je vsebovala mikro-kristalite ferita, kot smo pozneje ugotovili z EDS analizo. Amorfnna faza je vsebovala tudi znatno količino ZrO<sub>2</sub>. Slika 4 prikazuje TEM posnetek in pripadajočo uklonsko sliko tekoče faze na mejah med zrni, ki vsebuje mikro-kristalite ferita .

Diagrami na sliki 5, ki prikazujejo kompleksno impedanco (6) nedopiranih in dopiranih vzorcev kažejo, da je upornost mej med zrni vzorca z 0,1 ut.% dodanega ZrO<sub>2</sub>, dvakrat višja kot upornost mej vzorca brez dopanta, medtem ko se upornost osnovnega materiala poveča le zelo malo. Na podlagi tega sklepamo, da amorfnna plast verjetno poveča upornost mej med zrni, prisotni Zr<sup>4+</sup> ioni v kristalni mreži ferita pa po analogiji z vgrajenimi Ti<sup>4+</sup> ioni tvorijo stabilne pare s Fe<sup>2+</sup> ioni (3,4), kar ima za posledico zmanjšano prevodnost. Prisotnost Zr<sup>4+</sup> ionov v kristalni mreži vpliva na upornost na enak način kot je bilo ugotovljeno za Ti<sup>4+</sup> ione (3,4). V feritnih zrnih Zr<sup>4+</sup> ioni z Fe<sup>2+</sup> ioni tvorijo stabilne pare, ki zmanjšajo Verweyevo prevodnost (3, 4). Tako povečana upornost v samih zrnih kot na mejah med zrni prispevajo k zmanjšanju magnetnih izgub kot posledice manjših izgub zaradi vrtničastih tokov. Impedančne meritve vzorcev z različno množino dodatka ZrO<sub>2</sub> kažejo, da povečana vsebnost ZrO<sub>2</sub> v vzorcih povzroči ponoven padec upornosti na mejah med zrni (Slika 5) in pri večji množini ZrO<sub>2</sub> se znova povečajo magnetne izgube.

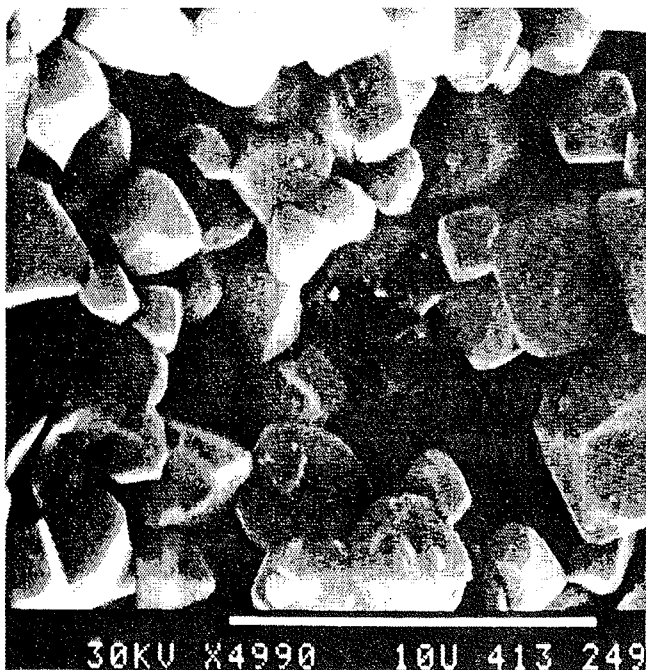
Predpostavljamo, da je naraščanje magnetnih izgub pri višji vsebnosti ZrO<sub>2</sub> je posledica sprememb na mejah med zrni. Da bi pojasnili ta pojav, smo pri obeh vzorcih z različno količino vsebovanega ZrO<sub>2</sub> (0,1 ut.% in 0,5 ut.%) z EDS analizirali sestavo tekoče faze na mejah. Iz analize sestave mej med zrni ferita je razvidno, da so pri obeh vzorcih meje bogate na SiO<sub>2</sub>, ki kot je splošno znano, tvori visokoomsko izolacijsko plast, visoka upornost mej med zrni pa zmanjša magnetne izgube ferita. Po drugi strani pa kaže analiza, da imajo vzorci z večjo množino ZrO<sub>2</sub> na tromejeh med zrni poleg ZrO<sub>2</sub> in SiO<sub>2</sub> tudi precipitate ferita. Posnetki področja mej med zrni so prav tako potrdili, da je v steklasti fazi teh vzorcev veliko precipitativ ferita.



Slika 1: permeabilnost in magnetne izgube kot funkcija količine dodanega ZrO<sub>2</sub>.

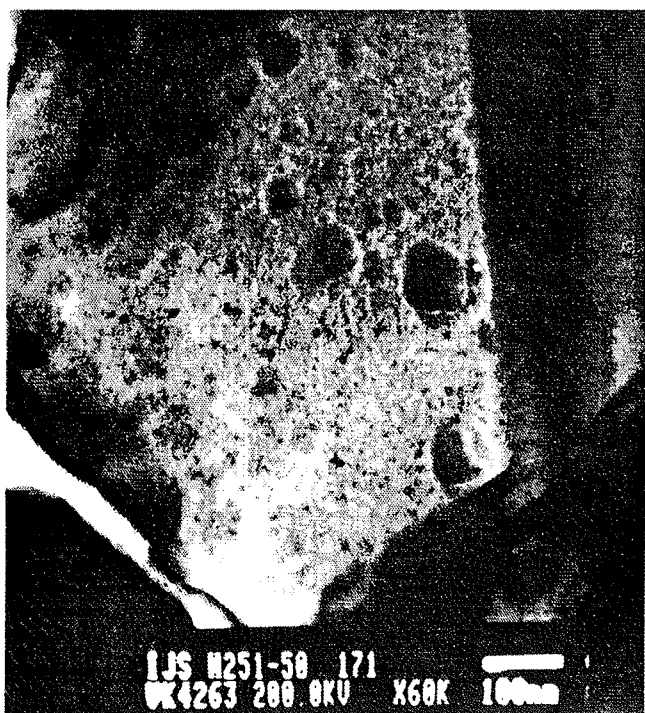


Slika 2: mehanska trdnost v odvisnosti od količine dopanta.

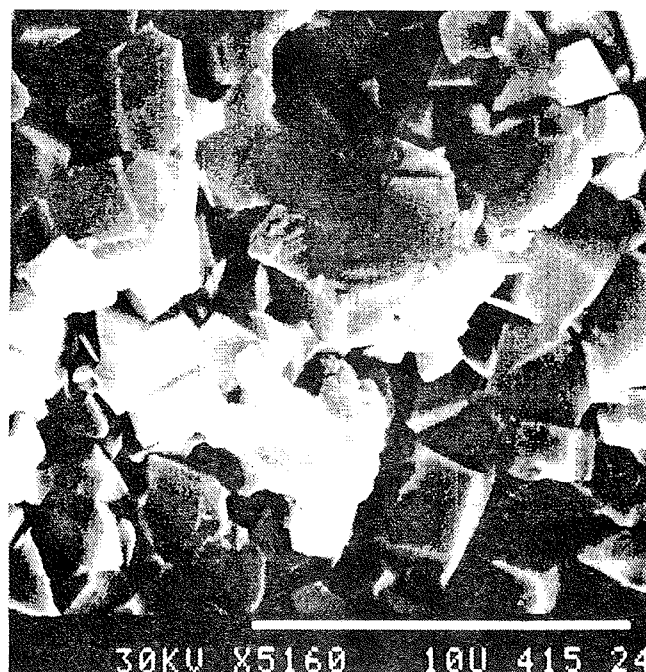


Slika 3a: Posnetki prelomnih površin nedopiranega vzorca (A) in vzorca dopiranega 0,5 ut.% (B) ZrO<sub>2</sub>.

Bistvena razlika med obema vzorcema je sestava tekoče faze, ki loči zrna ferita. V prvem primeru imamo homogeno steklasto fazo, ki izolira zrna med tem ko imamo v drugem primeru, to je takrat, ko vsebujejo vzorci več ZrO<sub>2</sub>, poleg steklaste faze še precipitate polprevodnega ferita. Taka zgradba področja mej med zrnji ima v primeru s homogeno steklasto fazo, pri vzorcih z manj ZrO<sub>2</sub>, zelo verjetno zaradi feritnih precipitativ, nižjo električno upornost in s tem povezane večje magnetne izgube.



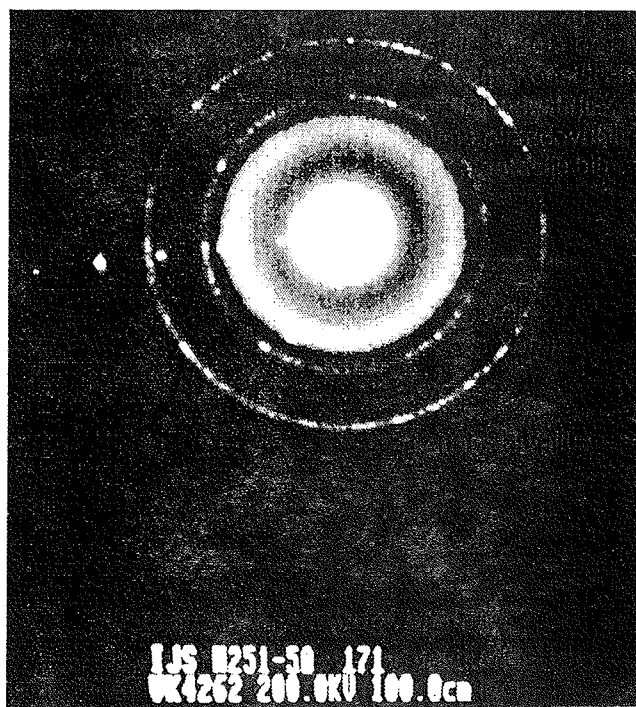
Slika 4: Posnetek amorfne faze na mejah med zrnji z mikrokristalini ferita in pripadajoča uklonska slika (vzorec z 0,5 ut.% ZrO<sub>2</sub>).



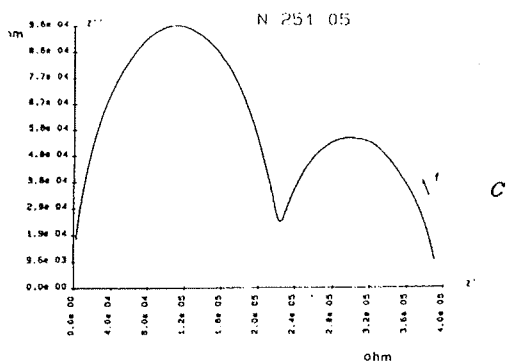
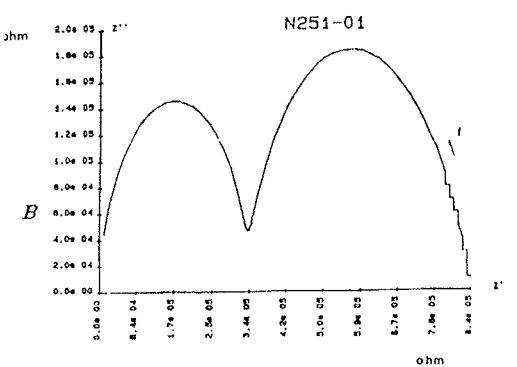
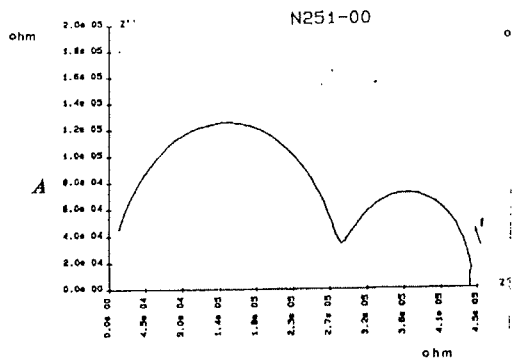
Slika 3b:

#### 4. SKLEPI

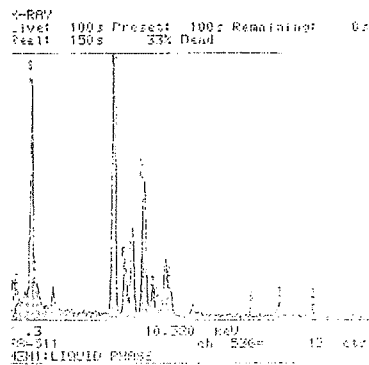
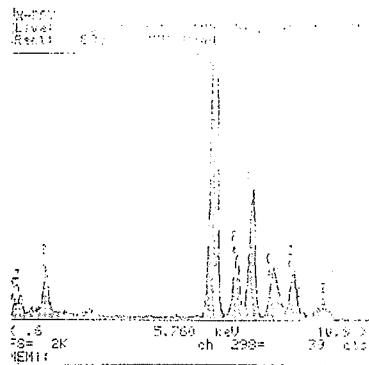
Dodatek ZrO<sub>2</sub> NiZn feritom izboljša magnetne lastnosti, to je magnetne izgube za faktor dva, ne da bi se bistveno spremenila magnetna permeabilnost, hkrati pa se poveča mehanska trdnost prav tako za faktor dva. Kot se je izkazalo, je vzrok za tako drastično izboljšanje obeh karakteristik dogajanje na mejah med zrnji. Povečana upornost mej med zrnji zaradi nastanka tanke plasti amorfne faze in delno tudi vgrajevanje Zr<sup>4+</sup> ionov v spinelno rešetko, preprečita zmanjšanje vrtinčastih



Slika 4b:



Slika 5: Krivulje poteka kompleksne impedance, ki prikazujejo vpliv količine dodanega ZrO<sub>2</sub> na dogajanje na mejah med zrnji in v kristalni



Slika 6: Posnetka spektrov analizirane tekoče faze na mejah med zrnji pri vzorcu z 0,1 ut.% ZrO<sub>2</sub> a) in vzorcu z 0,5 ut.% ZrO<sub>2</sub> b).

tokov in s tem tudi magnetnih izgub. Sprememba preloma iz intergranularnega pri vzorcih brez ZrO<sub>2</sub> v pretežno transgranularnega v dopiranih vzorcih kot posledica okrepljenih mej med zrnji pa se odraža v izboljšani mehanski trdnosti.

5. LITERATURA

1. N. Clausen, M. Ruhle, *Advances in Ceramics* 3, 1981, 137.
2. K. Hirota et al, *Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf.on Ferrites*, San Francisco, *Advances in Ceramics* 15 (1985), 385.
3. T.G.W. Stijntjes, *Proc. Int. Conf. on Ferrites*, Kyoto, 1790, University of Tokyo Press, Tokyo 1971, 194.
4. C. Prakash, J.S. Bajjal, *J. Less-Common Metals*, 106, (1985), 257.
5. S. Beseničar, M. Drogenik, T. Kosmač, V. Kraševac, *IEEE Trans. on Magn.*, MAG-24, 2 (1988), 1838.
6. R. Gerhardt, A.S. Nowiek, *J. Am. Cer. Soc.*, 69 (1986), 641.

mag. Spomenka Beseničar, dipl.ing.  
 Dr. Miha Drogenik, dipl.ing.  
 Dr. Tomaž Kosmač, dipl.ing.  
 Inštitut Jožef Stefan  
 Ljubljana, Jamova 39  
 Sprejeto: 28.08.1989

Prispelo: 24.08.1988



# MERITVE MEHANSKIH NAPETOSTI TANKIH PLASTI PECVD SILICIJEVEGA NITRIDA IN OKSINITRIDA

Boštjan Gspan, Radko Osredkar

KLJUČNE BESEDE: tanke plasti, dielektrične plasti, silicijev nitrid, silicijev oksinitrid, PECVD plasti, mehanska napetost, merjenje, eksperimenti

VSEBINA: Meritve mehanskih napetosti tankih plasti plazemsko nanešenega silicijevega nitrída in oksinitrída kažejo, da so v obeh vrstah filmov po depoziciji napetosti tlačne. Rezultati kažejo na povezavo med vrednostmi lomnih količnikov filmov silicijevega nitrída in njihovimi mehanskimi napetostmi, medtem ko pri silicijevem oksinitridu take povezave ni.

## MECHANICAL STRESS MEASUREMENTS IN THIN PECVD SILICON NITRIDE AND SILICON OXYNITRIDE FILMS

KEY WORDS: thin films, dielectric films, silicon nitride, silicon oxynitride, PECVD films, mechanical stress, measurement, experiments.

ABSTRACT: Results presented in this contribution show that thin films of silicon nitride and silicon oxynitride deposited on silicon substrates by plasma enhanced chemical vapour deposition (PECVD) possess comprehensive mechanical stress. It is demonstrated that there exists a correlation between the mechanical stress in silicon nitride film and its refractive index, while no such correlation is observed in silicon oxynitride films.

### I. UVOD

Gotova monolitna vezja na silicijevih rezinah je potrebno zaščititi pred mehanskimi poškodbami, difundijo ionov in vlago. Poleg naštetih lastnosti zahtevamo še, da plasti primarne zaščite, oz. pasivacije dobro prekrivajo prehode med plastmi (step coverage), se lahko oblikujejo v vzorec in imajo dobro adhezijo na aluminij in druge prevodnike kot tudi na dielektrike (1). V zadnjih letih za primarno zaščito uporabljajo tanke plasti dielektrikov, nanešenih iz plinske faze s pomočjo plazme (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition - PECVD), ker dobro izpolnjujejo dane zahteve. Uporabljeni dielektriki so PECVD plasti silicijevega oksida, silicijevega nitrída in silicijevega oksinitrída. Za našete plasti je značilna znatna mehanska napetost, ki lahko povzroči razpoke v tankih plasteh in ukrivljanje silicijevih rezin z nanešenimi tankimi plastmi. Če je v tanki plasti razpoka, tanka plast vezja ne ščiti več pred vlago in difundijo ionov. Zaradi ukrivljanja silicijeva rezina lahko počí, ali pa se defekti v silicijevi rezini selijo na mesta z večjo mehansko napetostjo, kar spremeni električne lastnosti elementov, izdelanih na silicijevi rezini. Ker so mehanske napetosti v tanki plasti škodljive, jih moramo čim bolj odpraviti, kar pa pomeni, da jih moramo najprej izmeriti. S preprosto, hitro in natančno merilno metodo lahko potem tudi ugotovljamo vpliv naših posegov v proces depozicije na mehansko napetost. Ker so meritve debeline in lomnega količnika tankih plasti dobro izdelane in običajne pri depoziciji tankih plasti, smo želeli najti povezavo med lomnim količnikom in mehansko napetostjo. Spremembe sestave tanke plasti se kažejo v spremembah lomnega količnika tanke plasti.

### 2. MERITVE IN REZULTATI

Za depozicijo pasivacijskih tankih plasti iz plinske faze so možne le depozicije s pomočjo plazme, ker potekajo

pri temperaturah, ki so nižje od tališča aluminija, ki ga uporabljamo za povezave na integriranih vezjih.

Mehanske napetosti v tankih plasteh nastanejo, ker se molekule iz plinske faze vežejo na površino silicijeve rezine in šele potem se tanka plast zgosti (2.). Zunanji znak mehanske napetosti v tanki plasti je ukrivljenost rezine z nanešeno tanko plastjo. Za določitev mehanske napetosti moramo določiti ukrivljenost silicijeve rezine z nanešeno tanko plastjo. Na voljo je več metod za merjenje ukrivljenosti. Uporabili smo tako metodo, za katero ni potrebna merilna oprema. Kontaktna metoda so za tovrstne meritve neustrezne zaradi možnih sprememb ukrivljenosti med meritvami. Ukrivljenost smo poizkušali meriti tudi na osnovi interference. Pri meritvah bi na ta način dobili podatke o obliki površine cele rezine, vendar nismo mogli dobiti kvantitativnih podatkov, ker je število Newtonovih kolobarjev preveliko za ročno štetje. V literaturi (3.) predlagajo merjenje profila silicijeve rezine z metalurškim mikroskopom. Opisano metodo smo prilagodili glede na našo opremo. Ukrivljenost smo merili tako, da smo z mikrometrskim vijakom ostrili sliko površine silicijeve rezine. Po tej metodi smo dobili zadovoljive rezultate.

Za naše meritve smo potrebovali vzorce silicijevih rezin z nanešenimi tankimi plastmi različnih sestav. Pri PECVD postopkih sestavo deponiranih plasti enostavno spreminjamo. Sestava deponirane plasti je močno odvisna od razmerja plinov v mešanici reakcijskih plinov. S spreminjanjem razmerja plinov deponiramo tanke plasti z različno sestavo.

Tanke plasti smo deponirali s plazemskim reaktorjem Appellied Materials AMP 3300 II. ki je dobro poznan in opisan (4.,5.). Glavni deli reaktorja so: valjasta komora z grelci in dvema elektrodama, napeljava reakcijskih

plinov, katerih pretok kontrolirajo avtomatični regulatorji pretoka (Automatic Flow Controller - AFC) in pritekajo v reaktor v sredini spodnje ozemljene elektrode. Reakcijski plini tečejo radialno prek rezin, ki ležijo na ozemljeni elektrodi (susceptorju) do roba komore, kjer jih izčrpamo iz reaktorja. Na drugo elektrodo je prek prilagoditvenega vezja priključen izvor izmenične napetosti radijskih frekvenc (RF), s katerim vzbujamo plazmo. Za znižan tlak v reaktorju skrbi Rootsova vakuumska črpalka s spremenljivo hitrostjo črpanja, kar zagotavlja veliko neodvisnost hitrosti pretoka reakcijskih plinov od tlaka v reaktorju.

Depozicijo smo delali na devetih 50 mm (2 coli) rezinah Pensilco Co. orientacije (111). Med depozicijami smo rezine mokro jedkali. Naredili smo šest depozicij silicijevega nitrida in šest depozicij silicijevega oksinitrida. Debelino in lomni količnik smo merili z avtomatičnim elipsometrom Rudolph Research AutoEL II. Ukrivljenost smo merili z metalurškim mikroskopom Zeiss z 200-kratno povečavo. Meritve ukrivljenosti smo delali po depoziciji in po mokrem jedkanju. Ker je bil profil silicijevih rezin po jedkanju vedno enak, smo potrdili upravičenost predpostavke, da se mehanske napetosti v tanki plasti izravnavajo z elastično deformacijo silicijeve rezine.

Z izbiranjem najugodnejše lege rezin na susceptorju smo dosegli boljšo uniformnost deponiranih plasti kot je običajna za tak reaktor (1% uniformnost debeline in 3% uniformnost lomnega količnika.)

Deponirali smo tanke plasti z vrednostmi lomnega količnika med 1.748 in 2.455 za silicijev nitrid in med 1.55 in 2.05 za silicijev oksinitrid.

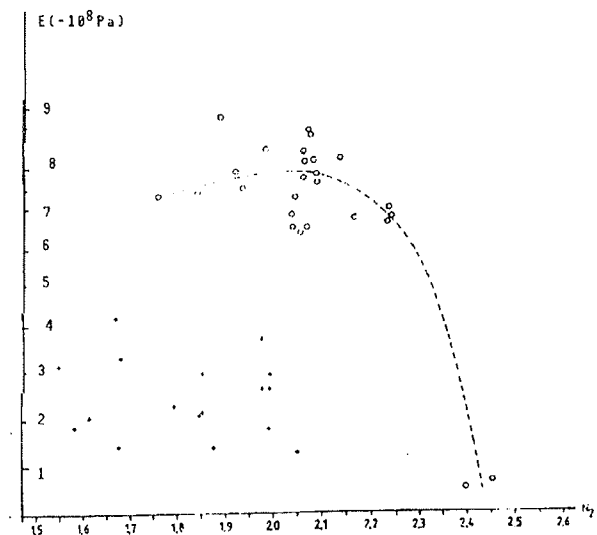
Mehansko napetost smo računali po (3.) formuli

$$\sigma = (10^{11}/3.013) * (d^2 s/d_i) * (z/r^2) Pa$$

kjer predstavlja  $\sigma$  mehansko napetost,  $ds$  je debelina silicijeve rezine,  $df$  je debelina tanke plasti,  $r$  je razdalja od sredine rezine in  $z$  je odmik od ravne rezine. Številčni člen predstavlja snovne konstante silicija, vstavljene v izraz  $E/(1-\nu)$ . V tem izrazu je  $\nu$  Poissonov koeficient in  $E$  Youngov modul.

Mehanske napetosti v silicijevem oksinitridu niso odvisne od lomnega količnika. Mehanske napetosti so tlačne in po absolutni vrednosti manjše od mehanskih napetosti v silicijevem nitridu. Tudi v silicijevem nitridu so mehanske napetosti tlačne. Naše meritve so pokazale povezavo med lomnim količnikom in mehansko napetostjo v tanki plasti silicijevega nitrída. Mehanska napetost v tanki plasti rahlo narašča z lomnim količnikom približno do vrednosti 2.06, nato pa pada. (sl. 1.)

Relativna natančnost meritev je 10%. Za elipsometrične meritve debeline in lomnega količnika je značilna relativna natančnost meritve 0,5%. Pri merjenju profila silicijeve rezine je absolutna napaka  $\pm 0,5 \mu m$ . Ob upoštevanju velikosti merjenih odmikov relativna napaka merjenih napetosti ne presega 5%. Večji del relativne napa-



Slika : odvisnost napetosti tankih filmov PECVD silicijevega nitrída (krožci) in silicijevega oksinitrida (križci) od lomnega količnika tanke plasti

ke meritev izvira iz predpostavk in zanemaritev pri izračunu mehanskih napetosti.

### 3. ZAKLJUČEK

Deponirali smo PECVD tanke plasti silicijevega nitrída in silicijevega oksinitrida. Dosegli smo dobro uniformnost deponiranih plasti. Našli smo ustrezno brezkon-taktno metodo za merjenje ukrivljenosti rezin. Ukrivljenost silicijevih rezin z nanešeno tanko plastjo je znak mehanskih napetosti v tanki plasti. Iz ukrivljenosti smo izračunali mehansko napetost. Ugotovili smo povezavo med vrednostjo lomnega količnika in mehansko napetostjo v tanki plasti silicijevega nitrída. Pri tankih plasteh silicijevega oksinitrida nismo našli take povezave. V obeh vrstah tankih plasti so mehanske napetosti tlačne. V silicijevem oksinitridu je mehanska napetost opazno manjša kot v silicijevem nitridu. V silicijevem nitridu mehanska napetost rahlo narašča z lomnim količnikom do vrednosti 2,06 nato pa pada. Naši poizkusi kažejo, da je na osnovi znanega lomnega količnika tanke plasti možno napovedati velikost mehanske napetosti v tanki plasti. Za praktično uporabno tabele vrednosti lomnega količnika in pripadajočih mehanskih napetosti pa bi bilo potrebno občutljivost metode še povečati.

### 4. LITERATURA

1. D. Pramanik, Semiconductor international, pp. 94-99, June 1988
2. R.W. Hoffman, Surface and Interface Analysis, Vol.3, No. 1, pp 62-66, 1981.
3. R. Glang et al., The review of scientific instruments, Vol. 36, No. 1, pp. 7-10, January 1965
4. R.S. Rear et al., Solid State Technology, June 1976
5. Poročilo LMFE za RSS (1983)

Boštjan Gspan, dipl. ing.  
dr. Radko Osredkar, dipl. ing.  
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo  
Ljubljana, Tržaška 25  
Prispelo: 10.08.1989 Sprejeto: 28.08.1989

# PRIMJENA POLIMERNIH MATERIJALA ZA INKAPSULACIJU U ELEKTRONIČKOJ I ELEKTROINDUSTRIJI

Kata Milić

KLJUČNE RIJEČI: inkapsulacija, elektroničke komponente, materijali za inkapsulaciju, polimeri, svojstva materijala, tehnološki procesi

SADRŽAJ: Inkapsulacija elektroničkih komponenata i sklopova predstavlja važan zahtjev u svrhu postizanja odgovarajućih mehaničkih svojstava, smanjenje atmosferskih utjecaja i povećanje vremena eksploatacije

## APPLICATION OF POLYMER MATERIALS FOR INCAPSULATION IN ELECTRONIC AND ELECTROINDUSTRY

KEY WORDS: encapsulation, electronic components, encapsulation materials, polymers, materials properties, manufacturing processes

ABSTRACT: Incapsulation of electronic components and circuits represents an important demand for the purpose of reaching adequate mechanical characteristics, reduces time influence and prolongs their usage.

### 1. UVOD

Elektroničke komponente i sklopovi koji se koriste u elektroničkoj i elektroindustriji potrebno je zaštititi u svrhu postizanja odgovarajućih mehaničkih svojstava, kako bi se smanjio atmosferski utjecaj, a to znači, da se poveća vrijeme eksploatacije komponente/sklopa.

Zato je potrebno, vrlo pažljivo i vrlo stručno odabrati materijale odgovarajućih fizikalnih, kemijskih i mehaničkih svojstava, uzimajući u obzir metode ispitivanja i uvjete eksploatacije.

Najviše korišteni materijali su polimeri: silikoni, epoksidi, poliuretani i poliesteri.

Kvaliteta inkapsulacije ovisi o izboru smole i utvrđivača. Na taj način se dobivaju odgovarajuća mehanička, fizikalna, električka, termička i klimatska svojstva. Korištenjem različitih aditiva kao što su fleksibilizatori, pigmenti i punila, strogo vodeći računa o omjeru miješanja i načinu pripreme mase (smjese) može se također dobiti određena kvaliteta inkapsulacije.

### 2. SVOJSTVA INKAPSULACIONOG MATERIJALA

**Materijal za inkapsulaciju mora imati slijedeća svojstva:**

- a) neznatno stezanje za vrijeme polimerizacije (umrežavanja),
- b) bez izluživanja korozivnih tvari za vrijeme rada,
- c) dobro adheziju na metale i mnoge druge materijale,
- d) dobra mehanička i dielektrička svojstva,
- e) visoku otpornost na vlagu,
- f) dobru otpornost na temperaturno starenje,
- g) dobru otpornost na temperaturne promjene,
- h) odličnu otpornost na kemikalije,
- i) svojstvo samogasivosti.

### 3. PODRUČJE PRIMJENE INKAPSULACIONOG MATERIJALA

Imajući u vidu svojstva, polimerni materijali imaju široko područje primjene, a to su:

- a) inkapsulacija pasivnih elektroničkih komponenata (otpornici, kondenzatori, induktivne komponente),
- b) inkapsulacija aktivnih elektroničkih komponenata (diode, integrirani krugovi),
- c) elektroničkih sastavnih dijelova,
- d) gotovih sklopova, odnosno uređaja

Obzirom na široko područje primjene polimernih materijala nemoguće je napraviti jedinstvenu tabelu iz koje bi bila vidljiva primjena svih polimernih materijala za sva područja u elektroničkoj i elektroindustriji. Tabela br.1 i tabela br. 2 prikazuju materijale koji se mogu koristiti za inkapsulaciju u hibridnoj mikroelektroničkoj industriji. Za potrebe u elektroindustriji ovi materijali ne bi zadovoljili, jer su tehnički zahtjevi za ispitivanje i eksploataciju bitno drugačiji.

### 4. TEHNIKE INKAPSULACIJE

U praksi se koriste razne tehnike inkapsulacije, a izbor ovisi o uvjetima ispitivanja i eksploatacije komponente/sklopa.

U svakom slučaju izbor je diktiran cijenom i kvalitetom inkapsulacije.

Uglavnom se koriste četiri tehnike, a to su:

#### a) Inkapsulacija lijevanjem (engl. casting)

Kod ove tehnike smjesa se lijeva pod vakuumom u kalup s komponentom/sklopom, koji može biti napravljen od različitog materijala kao što su različite silikonske gume, razne vrste plastike ili metali.

Tabela 1: Svojstva polimernih materijala za inkapsulaciju tehnikom lijevanja

Sistem/umreživač	-	epoksid/alifatski poliamin	silikon
Omjer miješanja	težinski	100:12	1:1
Viskozitet (smjesa)	mPas/°C	1200/25	3000
Radno vrijeme	min/°C	30/25	25/25
Minimalno vrijeme polimerizacije	h/°C	24/25	3 min/150; 8 min/100; 8 sati/25
Spec. gustoća	g/cm <sup>3</sup>	1.41	1.38
Temperatura distorzije	°C	35	-
Tvrdoća, Shore A i D	-	85 Shore D	55 Shore A
Vučna čvrstoća	N/mm <sup>2</sup>	35-55	35
Koeficijent lin.term.ekspanzije	K <sup>-1</sup>	130.10 <sup>-6</sup>	42.10 <sup>-7</sup>
Termička vodljivost	W/mK 25 °C	0.2	84
Zapaljivost, metoda UL94	-	V-0,4 mm	V-0
Apsorpcija vode	%		
10 dana/25°C		0.4	0.1
30 min/100°C		0.6	-
Dielektrička čvrstoća	kV/mm	16(debljina uzorka 2 mm)	18(debljina uzorka 3.2 mm)
Dielektrička konstanta	ε	3.7,50Hz	3.05,100 Hz

Važno je znati da kod ove tehnike kalup s komponentom/sklopom mora biti predgrijan određeno vrijeme na određenoj temperaturi, ukoliko se radi o endotermnom procesu polimerizacije tj. o procesu gdje se mora dovesti određena količina topline da bi došlo do procesa polimerizacije. U protivnom, ako se radi o egzotermnom procesu tj. o procesu u kojem dolazi do oslobađanja topline, komponenta/sklop se ne predgrijava jer može doći do vrlo burnih reakcija koje mogu imati za posledicu vizualni škart, a visoka temperatura čak može dovesti do uništenja komponente/sklopa.

Obično se radi o dvokomponentnom ili višekomponentnim sistemima, pa je neophodno poštivati omjer miješanja, također i temperaturu pripreme, jer bilo koje nepoštivanje ovih uvjeta dovodi do promjene kvalitete inkapsulacije. Također je važno poštivati uvjete polimerizacije, pogotovo se mora paziti da masa ne polimerizira na temperaturi koja je viša od optimalne, a također ne odgovara za potpunu polimerizaciju preniska temperatura. U oba slučaja radi se o promjeni kvalitete inkapsulacije.

#### b) Inkapsulacija prahom (engl. fluidized bed coating)

Za razliku od prethodne tehnike, ovdje nisu potrebni kalupi. Materijal koji se koristi je jednokomponentni prah fluidiziran u kadi stroja. Ovom tehnikom postiže se debljina sloja 0.2 do 1.0 mm, što ovisi o broju uranjanja i temperaturi predgrijavanja komponente/sklopa, što je obavezno.

Kad prah dođe u kontakt sa vrućom površinom tali se i stvara integralnu inkapsulaciju, koja se naknadno termički obrađuje dajući pri tome dobru adheziju između komponente/sklopa i inkapsulacije. Ovaj tip inkapsulacije je jeftiniji od prethodne, ali je lošiji po kvaliteti.

#### c) Inkapsulacija uranjanjem (engl. dip coating)

Za ovu vrstu inkapsulacije koriste se materijali koji imaju tiksotropno svojstvo. Ovom tehnikom postiže se debljina sloja 0.2 do 1.0 mm što ovisi o broju uranjanja u masu kao i za prethodni tip inkapsulacije kalupi nisu potrebni što daje ekonomičniju proizvodnju.

Međutim, treba naglasiti, da se ova vrsta inkapsulacije kao i inkapsulacija prahom koristi tamo gdje postoje široke tolerancije dimenzija i oblika komponenta/sklopova, ali je po kvaliteti lošija od inkapsulacije lijevanjem.

#### d) Inkapsulacija injekcionim prešanjem (engl. injection moulding)

Neki polimeri (epoksidi, polietileni, polipropileni, poliesteri, poliestersulfoni, polieterketoni, polietereterketoni, flouropolimeri itd.) su specijalno pogodni za injekciono prešanje.

Obzirom na visoke zahtjeve na kvalitetu tih materijala, svojstva se bitno poboljšavaju dodatkom staklenih ili ugljikovih vlakana ili mineralnih punila. Takvi materijali imaju odlična električka, mehanička i termička svojstva, zbog toga se koriste za inkapsulaciju komponenta/sklopova, a pogotovo za inkapsulaciju jezgre velikog volumena.

Velika primjena im je također u elektro i industriji kućanskih aparata i telekomunikacionih uređaja, gdje se također postavljaju visoki zahtjevi na kvalitetu. Za proizvođača tih materijala to predstavlja poticaj za rad na novim i usavršavanju postojećih materijala, koji će zadovoljiti specifične zahtjeve kupca.

Tabela 2: Svojstva polimernih materijala za injekciono prešanje na bazi polifenilenoksida

<b>MEHANIČKA SVOJSTVA</b>		
Cvrstoća na vlak	N/mm <sup>2</sup>	45
Istezanje	%	2-4
Modul izvlačenja	N/mm <sup>2</sup>	2400
Savijanje	N/mm <sup>2</sup>	-
Modul savijanje	N/mm <sup>2</sup>	2500
Udarna žilavost	J/m	250
Tvrdoća H358/30	N/mm <sup>2</sup>	87
Tvrdoća, Rockwell	-	R 115
Otpornost na kidanje	g	0.020
<b>TERMIČKA SVOJSTVA</b>		
Indeks kisika	%	33
Samogasivost (debljina uzorka 1.6 mm)	UL 94	94 HB
Postojanost na toplinu, Vicat B	°C	105
Termička vodljivost	W/m°C	0.16
Skupljanje u kalupu	%	0.5-0.7
Koeficijent lin.term.ekspanzije	m/m°C	7.10 <sup>-5</sup>
<b>FIZIKALNA SVOJSTVA</b>		
Specifična gustoća	g/cm <sup>3</sup>	1.10
Upijanje vlage, 24 h/25°C	%	0.08
<b>ELEKTRIČKA SVOJSTVA</b>		
Specifični otpor	Ohm x m	>10 <sup>5</sup>
Dielektrična čvrstoća (debljina uzorka 3.2 mm)	kV/mm	16
Dielektrična konstanta, ε		2.7, 50Hz/25°C
		2.6, 1MHz/25°C
Faktor gubitka tgδ		0.0004, 50Hz/25°C
		0.0009, 1MHz/25°C

## 5. Zaključak

Obzirom na dobra svojstva, može se zaključiti da polimerni materijali imaju veliku važnost i široko područje primjene u elektroničkoj i elektroindustriji. Pri tome treba vrlo pažljivo odabrati odgovarajući materijal, a također poštivati način primjene i uvjete polimerizacije, o čemu također ovisi kvaliteta inkapsulacije.

## 6. Literatura

1. C.A. May, Tanaka, Epoxy Resins, M. Dekker Inc., N.Y. (1973)
2. H. Lee, K. Neville, Epoxy Resins, McGraw-Hill Co., N.Y. (1957)
3. Hybrid Circuit Technology, maj 1988
4. S.M. Boyer, Proceeding, 4th EHMC 1983, Copenhagen, 122-132

Kata Milić, dipl.ing.,  
RO RIZ IETA, Božidarevićeva 13,  
41000 Zagreb  
Prispelo: 16.01.1989 Sprejeto: 17.06.1989

## MATERIALI - MATERIALI - MATERIALI

# POVEZAVA MED RAZVOJEM IN STANDARDIZACIJO PRI SODOBNI TEHNIČNI KERAMIKI

(Povzeto po *Advanced Ceramic Materials*, vol. 3, No.5, 1988)

### Darja Uvodič

Sodobna tehnična keramika je zaradi svojih odličnih in vsestranskih lastnosti predmet intenzivnih raziskav in predstavlja zaenkrat najperspektivnejše področje razvoja sodobnih materialov. Izredno važen je hiter prenos teh visoko performančnih materialov na trg. Zanimanje za ta hitri prenos se širi po vsem svetu. Tovrstne aktivnosti je opaziti posebej pri tistih državah, ki predstavljajo važen trgovinski segment na tem področju.

Ob skokovitem napredku na tem področju se pojavljajo donosne inovacije, novi izdelki z boljšimi ali povsem novimi lastnostmi za najrazličnejše aplikacije kot so: rezilna orodja, razni na obrabo odporni sestavni deli, senzorji kisika, polprevodniki in polprevodni nosilci, mikrovalovni valovodi, biomedicinski implantati in sestavni deli za motorje. Zadnja leta je veliko senzacijo povzročila visokotemperaturna superprevodna keramika, ki bi lahko v bodoče imela veliko vlogo na marsikaterem in-

dustrijskem področju, kakor tudi v transportu, komunikacijah, računalništvu in energetiki.

Za sodobno tehnično keramiko je značilna kompleksna soodvisnost med načinom obdelave in strukturo na eni strani ter lastnostmi in performanco na drugi. Znanje se sicer prenaša v proizvodnjo, vendar pa pri tem manjka vrsta komercialnih standardov za testne metode, klasi-fikacijski sistem, enotna terminologija in referenčni ma-teriali. To so osnovna orodja za širjenje na tržišču. Pomanjkljiva standardizacija je lahko pomemben faktor, ki ovira komercializacijo novih izdelkov.

Standardi olajšujejo trgovanje z izdelki na domačem tržišču, na svetovnem tržišču pa so neobhodni. Zato je potrebno mednarodno sodelovanje na tem področju. Tabela 1 predstavlja seznam držav, ki imajo nacionalni razvojni program na področju sodobne tehnične kera-

Advanced Ceramics R&D and Standards		
Region/country	Relative size*	
	R&D program	Standards activity
	Europe	
		**
United Kingdom	***	**
West Germany	****	*
France	**	-
Italy	*	-
Netherlands	*	-
Belgium	*	-
Denmark	*	-
Spain	*	-
Sweden	***	*
European Communities	**	*
	North America	
Canada	*	-
United States	****	***
	Pacific	
Japan	****	**
Korea	*	*
Australia	*	-

\* Compiled in part. from information provided by R. Morrell, Key: \*\*\*\* is very large, \*\*\* is large, \*\* is medium, \* is small, and - is none or not known

Tabela 1

mike in intenzivnost njihovega udejstvovanja pri tej standardizaciji.

s tem izogne nepotrebni izgubi časa. V tabeli 3 je prikaz postopne izdelave standardov v odvisnosti od inovacijske faze pri razvoju novega izdelka.

International	National
International Organization for Standardization (ISO) Secretariat: Geneva, Switzerland, representing 90 countries. Focus: Promotes and develops international standards of all types: no known committee activity on advanced ceramics	Association Francaise de Normalization (AFNOR) Headquarters: Paris, France. Focus: Principal standards organization in France: no known separate advanced ceramics committee
European Community for Standardization (CEN) Headquarters: Brussels, Belgium, representing member nations of the European Communities. Focus: Development of European Standards and harmonization documentation and procedures: no known separate committee activity on advanced ceramics.	Deutsches Institut für Normung (DIN) Headquarters: Berlin, Federal Republic of Germany Focus: Principal standards organization in West Germany develops standards of all types; no known separate advanced ceramics committee
Versailles Project on Advanced Materials and Standards (VAMAS) Secretariat: National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, United States, representing eight member countries. Focus: Pre-standards research on advanced materials, including ceramics	Japanese Industrial Standards Committee (JISC) Headquarters: MITI, Tokyo, Japan Focus: Coordinates standards development and information in Japan, working with international organizations like Japan Standards Association, and others; Japan Fine Ceramics Center (JFCC) performs advanced ceramics standards development.
International Energy Agency (IEA) Secretariat: Paris, France, under the auspices of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) Focus: Special program on advanced ceramics, with U.S., Germany, and Sweden participating; prestandards research	British Standards Institution (BSI) Headquarters: London, England Focus: Principal standards organization in U.K.: develops standards of all types working with participating organizations like the National Physical Laboratory; has advanced ceramic committee.
	American National Standards Institute (ANSI) Headquarters: New York, NY, United States Focus: U.S. representative to ISO in the development of international standards; works with national bodies such as ASTM, ASME, and IEEE; no known separate committee for advanced ceramics.
	ASTM(formerly American Society for Testing and Materials) Headquarters: Philadelphia, PA, United States. Focus: Develops standards of most types; has separate committee on advanced ceramics

Tabela 2: Representative Standards - Associated Organizations

V tabeli 2 je seznam organizacij, ki sodelujejo pri razvoju standardov za sodobno tehnično keramiko ob navedbi področja njihovega delovanja.

Standardi so bistveni povezovalni del uspešnega poslovanja in razvoja. Za razvojnika lahko pomenijo osnovno preskusno metodologijo, za proizvajalca in uporabnika pa pomenijo klasifikacijo materialov in naprav in njihovo specifikacijo.

Komercialni standardi predstavljajo prenos informacij med razvijalcem, proizvajalcem in uporabnikom. So osnova za sporazumevanje med kupcem in prodajalcem ter pravna osnova za pogodbe.

Standardi so tudi osnova za verifikacijo inovacijskega procesa, oz. tehnologije, vendar pa njihovo oblikovanje poteka postopno po fazah tega procesa, od ideje do novega izdelka. Oblikovanje standardov mora teči vzporedno z razvojem novega izdelka, tako da je ob končanem razvoju pripravljen za komercializacijo izdelka, kar bistveno povečuje konkurenčnost proizvajalca, ki se

S to postopno izdelavo standardov se ukvarja cela vrsta organizacij kot n.pr. VAMAS, IEA, ISO. ISO daje podatek mednarodni standard izacijski metodologiji ob sodelovanju pooblaščenih nacionalnih organizacij, kot so ANSI in ASTM v Ameriki, JISC na Japonskem, BSI v Veliki Britaniji. Raziskovalne inštitucije, ki jih financira vlada (n.pr. National Bureau of Standards v Ameriki, National Physical Laboratory v Veliki Britaniji, Japan Fine Ceramic Center na Japonskem) se ukvarjajo s standardizacijo materialov in raziskavami na področju merilne tehnike, vendar pa niso pristojne za oblikovanje in promocijo komercialnih standardov. V večini dežel je ta del prepuščen industriji. Država se udejstvuje le v obliki podpore in kontrole tega dogajanja.

Ta način oblikovanja in uveljavljanja komercialnih standardov se je pokazal kot najboljši do sedaj, tako na nacionalnem kot tudi na internacionalnem področju.

Na področju sodobne tehnične keramike se ta proces šele začel. Razvoj standardov, v tradicionalnem smislu, zaostaja za razvojem. Pri tradicionalnem pojmovanju

Advanced Ceramics Standards Hierarchy		
Innovation Stage	Test standard category	Purpose and use
Idea generation	Basic Research	Invention Obtain intrinsic/basic materials character for functional attributes
Technical feasibility	Directed basic research	Obtain property data for materials behaviour for application suitability
Product design and development	Development	Translation Obtain reliable property database; predict performance for design methodology
Prototype/interim manufacture	Quality assurance	Statistical process control
Manufactured products	Materials/device acceptance	Commercialization Purchase classifications and specifications

Tabela 3

tudi običajno menimo, da če je nek proizvod standardiziran, potem je že tudi na tržišču. S prodiranjem izdelkov visoke tehnologije, med katerimi so tudi tisti s področja sodobne tehnične keramike, pa so v svetu prišli do spoznanja, da se morajo standardi, glede na kratke inovacijske čase in hudo konkurenco na trgu, razvijati vzporedno z znanstvenim in tehnološkim razvojem.

Glede na dejstvo, da sodobna tehnična keramika ne predstavlja homologne vrste materialov, oz. izdelkov, so tudi njeni standardi različni in prilagojeni izdelkom. Tehnično gledano je sodobna tehnična keramika anorganski, nekovinski material z visoko performanco, ki ga ponavadi pri visokih temperaturah oblikujemo v različne izdelke in sestavne dele. Da bi dosegli ustrezno mikrostrukturo, ki je potrebna za specifične funkcionalne attribute, zahtevajo vsak zase specifično obdelavo. Funkcionalne attribute delimo v množico mehanskih, kemijskih, magnetnih in električnih lastnosti.

Pri sestavnih delih za toplotne stroje ali rezilno orodje, na primer, so pomembne mehanske lastnosti skupaj s kemijskimi, kot naslednjimi najvažnejšimi lastnostmi. Tak standard mora vsebovati predpise za preskušanje mehanske in kemijske odpornosti dotičnega materiala.

Pri podlagah v mikroelektroniki je važna odpornost na mehanske in električne obremenitve, ki pa se razen v obremenitvenih preskusih odraža tudi v termični prevodnosti in fazni, oz. mikrostrukturni analizi.

Iz takih primerjalnih razmišljanj je razvidno, da praktično vsak izdelek na tem področju zahteva vrsto standardov, ki skupaj predstavljajo potrebno orodje za celovito karakterizacijo posameznega izdelka. Takemu pristopu bi lahko rekli matrični pristop, ki omogoča množico variant s fiksnimi elementi.

Hierarchy of Advanced Ceramics Standards Needs		
Innovation stage	Category	Typical standard area
Invention	Characterization	Electron microscopy
		Diffraction and scattering techniques
		Analytical (phase analysis, chemical composition)
		Nondestructive evaluation
	Properties	Mechanical (tensile strength, elastic, hardness, etc.)
		Thermal (conductivity, expansion, heat capacity, etc.)
		Electrical (resistance, conductance, dielectric constant, magnetic, etc.)
		Optical (index, transmission, reflectance, etc.)
		Chemical (phase diagrams, thermodynamic quantities)
Translation	Design	Database systems and reference data Statistical procedures (finite element, Weibull statistics)
		Proof testing
	Processing (non-proprietary)	Statistical process control (sampling, physical measurement, particle size, size distribution, morphology, phase analysis, density, porosity, surface characterization, rheology, microstructure characterization, processing conditions, processing temperatures, atmosphere)
	Nondestructive tests	
Commercialization	Performance	Time dependent processes in use environment: mechanical (creep, toughness, fatigue, wear, abrasion, etc.); thermal (shock, diffusivity); corrosion (chem. attack, vaporization, oxidation, reduction)
		Other product specific (optical, electrical, magnetic, etc.)
		Classifications and terminology
		Specifications

Tabela 4



V zvezi s takim pristopom so bile narejene določene posplošitve glede potreb po standardih, ki jih je izvedel ASTM Committee C-28 in ki so predstavljene v tabeli 4.

Podobne liste potreb po standardih so v delu tudi pri drugih nacionalnih in mednarodnih skupinah. BSI se, na primer, ukvarja s standardi za preskušanje fizikalnih, termičnih in mehanskih lastnosti keramike za vgradnjo. IFCC ima obširen program na področju preskušanja mehanskih lastnosti. Skupina, ki jo financira IEA, raziskuje področje karakterizacije prahov in mikrostrukture ter spreskušanja natezne trdnosti. VAMAS vodi vrsto projektov v zvezi s preskušanjem trdnosti in obrabe ter računalniškimi bazami podatkov o materialih.

**ENOTNI SISTEMI KVALIFIKACIJE**

Tako za kvalifikacije, kot za specifikacije je potreben enotni terminološki okvir, ki vsebuje definicije, enote, simbole, kratice in nomenklaturu. Vse skupaj omogoča prenos, obdelavo in prikaz informacijskega materiala v odvisnosti od namembnosti.

Tradicionalni materiali, kot n.pr. kovine in groba keramika, imajo tak klasifikacijski sistem, da je prikrojen za zelo specifične potrebe, oz. uporabo. Pri sodobni tehnični keramiki pa temu ni tako. V tabeli 5 je prikaz potreb po informacijah o materialih v različnih industrijskih pa-

nogah. Iz nje je razvidno, da je področje stekla in keramike prisotno v zelo različnih industrijah, ki te materiale uporabljajo v povsem različne namene in z različnimi zahtevami. Posledica tega je, da se, tako razvojniki in tehnologi, kakor tudi nabavniki, pogosto obotavljajo nabaviti nove materiale visokih tehnologij tudi zaradi pomanjkanja ustreznega klasifikacijskega sistema, ki daje informacije o performančnih omejitvah in preskusnih postopkih teh materialov.

Za napredek klasifikacije na področju sodobne tehnične keramike se najbolj zavzemajo: American Ceramic Society, The United States Advanced Ceramics Association, Department of Commerce v Združenih državah in Japan Fine Ceramics Center (razvoj baz podatkov).

Pri tem večnamenskem klasifikacijskem sistemu so možne:

(a) Klasifikacije po kategorijah končnih uporabnikov. To je najboljša podlaga za komercialne namene in industrijo (n.pr. kemijski:plinski senzorji; električni:podloge za mikroelektroniko; termomehanski: proizvodi za avtomobile; mehanski: rezična orodja, itd.

(b) Kategorizacija po glavnih kemijskih sestavinah in obdelavnih postopkih.

Materials Information Needs by Industrial Grouping									
Industry group	Materials classes								
	Ferrous	Non-ferrous	Refractories and superalloys	Ceramics and glasses	Composites	Inorganic compounds	Plastics	Semiconductors	Wood
Civil engineering	*	*		*			*		
Transportation	*	*	*	*	*		*		
Power generation	*	*	*	*					
Aerospace	*	*	*	*	*			*	
Defense	*	*	*	*	*	*			
Chemical	*	*		*					
Oil and gas	*		*	*					
Electronic and communication		*		*				*	
Materials producers	*	*	*	*			*		*
Consumer products	*	*		*	*		*	*	
Other industrial products	*	*					*		
Industry group	Properties groups								
	Mechanical	Thermal	Electrical, electronic and magnetic		Other physical	Corrosion and oxidation	Processability		
Civil engineering	*	*				*			
Transportation	*	*	*				*	*	
Power generation	*	*	*				*	*	
Aerospace	*	*	*			*	*	*	
Defense	*	*	*			*	*	*	
Chemical	*	*				*			
Oil and gas	*	*				*			
Electronic and communication	*		*			*	*		
Materials producers	*	*	*			*	*	*	
Consumer products	*	*	*			*	*	*	
Other industrial products	*	*	*				*	*	

\* Accepted from a workshop report by Westwood and Rumble

Tabela 5

(c) Kategorizacija po funkcijskih atributih (n.pr.: mehanski, kemijski, termični, električni, magnetni, optični, biološki).

(d) Kategorizacija po komercialnih oblikah (n.pr.: monolitni, kompozitni, debeloplastni, praškovni, vlaknasti materiali).

(e) Kategorizacija po dogovorjeni terminologiji in nomenklaturi oz. akronimih.

(f) Vgradnja podatkov o mejnih vrednostih lastnosti in performance, validacijskih postopkih (preskusni postopki, orientacijske vrednosti) ter splošne specifikacije, referenčni podatki in materiali.

(g) Kompatibilnost z računalniškimi bazami podatkov.

### **PRESKUSNI STANDARDI ZA MEHANSKE LASTNOSTI**

Mehanske in termične lastnosti so za uporabnike najbolj kočljivi parametri pri načrtovanju izdelkov in zagotavljanju kakovosti v uporabi. Za sedaj ni niti nacionalno, niti mednarodno sprejetih standardov za vrsto lastnosti in performanc s tega področja (preskusni postopki, terminologija, specifikacije, klasifikacije, referenčni materiali) in to dejstvo močno ovira nadaljni razvoj.

Položaj je posebno problematičen pri mehanskih preskusih pri visokih temperaturah, ker se v bistvu razlikujejo od preskusov pri klasičnih nižjih temperaturah. Pri sobni temperaturi nastopajo odpovedi zaradi krhkosti, ki jo povzročajo napake v strukturi zaradi tehnološke obdelave. Pri visokih temperaturah pa postane keramika prevodnejša, pri čemer se pojavljajo mikrostrukturne

modifikacije, ki so glavni vzrok za odpovedi. V glavnem lahko rečemo, da se pri poviševanju temperature pomembnost napak pri sobni temperaturi zmanjšuje, ob hkratnem povečevanju napak zaradi lezenja strukture.

Za obvladovanje te problematike je potrebno izbrati ustrezne preskusne metode, kar pa je zelo zahtevna naloga.

### **ZAKLJUČEK**

Proizvodnja sodobne tehnične keramike z vse večjo paleto uporabe na področju visokih tehnologij je v vse večjem zamahu.

Brez mednarodno verificiranih in sprejetih standardov na tem področju (preskusne metode, terminologija, specifikacije, klasifikacije, referenčni materiali) ne bo možno več normalno poslovati in ostati konkurenčen.

Ob spoznanju teh dejstev se je začelo delo na standardizaciji na tem področju. Splošne potrebe so bile definirane. Najbolj nujna je potreba po enotnem klasifikacijskem sistemu za sodobno tehnično keramiko in po standardnih preskusnih postopkih za mehanske lastnosti in performanco. Razvoj teh standardov se je začel v mednarodnem institucionalnem okviru. Potreba po teh standardih je velika, vendar bo potrebno tem aktivnostim dati večji zagon.

*D. Uvodić, dipl.ing  
SOZD ISKRA  
Področje za razvoj  
Ljubljana, Trg revolucije 3  
Ljubljana*

## **PRIKAZI DOGODKOV, DEJAVNOSTI ČLANOV MIDEM IN DRUGIH INSTITUCIJ**

# **Applications of Frigen 113 TR and Hostinert in the Electronic Industry**

**E. Neumann**

Hoechst Chemicals Division is steadily expanding its product range of chemicals for the electronics industry. Today two important product families shall be presented: Frigen 113 TR, which has become indispensable for cleaning of electronic components, and the recently developed <sup>19</sup>F-Hostinert-perfluorinated inert liquids.

### **1. FRIGEN 113 TR AND ITS MIXTURES FOR INDUSTRIAL CLEANING**

We supply Frigen 113 TR the chlorofluorocarbon solvent for industrial cleaning; especially for electronic, electrical and mechanical equipment.

Chemically, it is trichlorotrifluoromethane.  $\text{CCl}_2\text{F}-\text{CClF}_2$ , which is available as standard type Frigen 113 TR-T and in mixtures.

Frigen 113 TR-T is a colourless, clear liquid and it is heavier than water. The density is  $1,58 \text{ kg/dm}^3$  at  $20^\circ \text{C}$ . The boiling point is about  $48^\circ \text{C}$ .

Frigen 113 TR-T is not harmful to the health if properly used. The Occupational Exposure Limits were fixed at 500 ppm. But this is not a toxicity limit. Only at higher concentrations (about 5000 ppm) in animal trials slight changes were observed. Care must be taken, however to avoid contact of the solvent and its vapours with open flames and glowing electrical heating elements.

Frigen 113 TR-T is a mild solvent. The most important characteristic is its selective cleaning power. It is used for cleaning components in which sensitive plastics are combined with metals. Most plastics and resins remain unaffected - apart from polystyrene and soft PVC.

Frigen 113 TR-T is chemically stable; it is also stable to the exposure of light and air and a stabilisation with acid acceptors is not necessary. It does not react with metals - apart from zinc and zinc alloys in the presence of moisture.

Frigen 113 TR-T can be employed like chlorinated hydrocarbons (per- or trichloroethylene) in the vapour and liquid phase, with and without ultrasonic vibration.

Frigen 113 TR-T is the basic solvent for industrial cleaning. To enhance the cleaning effect, it often proves useful to combine the product with other solvents - either as a mixture or as an azeotrope - or with a dry-cleaning detergent and to use ultrasonic vibration in addition.

The Frigen 113 TR-types are described in more detail in the "Frigen briefing" brochure.

Frigen 113 TR and its mixtures can be used for all conventional industrial cleaning methods like dipping with or without ultrasonic, hot dipping, vapour degreasing, spraying and brushing off.

In view of the recent discussion about CFC's and their effect on the stratospheric ozone layer, it should be pointed out that Hoechst is deeply engaged in the research for CFC-Substitutes With reduced or zero effect on ozone depletion.

Frigen 113 TR-mixtures, which have a reduced ODP (ozone depletion potential) can be regarded as intermediate steps in this direction.

Frigen 113 TR-types have proved very effective for cleaning highly sensitive electronic components and especially on printed circuits for removing general dirt and after soldering. Not only printed circuits, but also fully assembled units such as amplifiers, condensers, transistors, relays, valve components, all electrical and mechanical equipment like counters, small type motors, instruments can be cleaned in Frigen 113 TR-T and its mixtures.

When the correct method is used, the cleaning action is such that no residues remain after vapour drying with pure Frigen 113 TR-T. The residue on vaporization is 2 ppm, the purity is about 99,9 % by weight.

And now some examples for working processes with Frigen 113 TR-T, solvent mixtures and ultrasonic vibration:

1. to clean printed circuits
2. to clean office machines
3. to clean spectacle frames
4. to clean metals and plastics
5. to clean and dry quartz pieces

### Recovery of contaminated Frigen 113 TR-T and its mixtures

Contaminated Frigen 113 TR-T and its azeotropic mixtures can be regenerated by distillation. The distillate obtained can be used again for rinsing operations. It is not pure Frigen 113.

Frigen 113 TR-P and Frigen 113 TR-E 35 can be distilled in the same manner. It gives a mixture of 2 propanol or ethanol with Frigen 113. From this mixture the original mixture can be produced again by density determination.

### Conclusion

Hoechst supplies Frigen 113 TR of high quality standard and provides experienced support with technical services and technical know how.

## 2. USES OF <sup>R</sup>HOSTINERT-PERFLUORINATED INERT LIQUIDS IN THE ELECTRONIC INDUSTRY

### Introduction

Under the trademark Hostinert, Hoechst offers a range of perfluorinated liquids whose thermal and chemical resistance is highlighted as a major product property by the use of the word "inert" in the name. Hostinert is an example of the development of high-added-value products in the "<sup>R</sup>Hoechst High Chem" range.

The Hostinert range comprises highly resistant safe inert liquids for uses where test and working fluids are required to meet very exacting standards.

### Properties

Hostinert liquids are organofluorine compounds that are composed entirely of carbon, fluorine and oxygen atoms. Due to the high electronegativity of the fluorine atom, fluorine and carbon form strong bonds that are very difficult to break. Fluorine atoms also form a shield round the carbon skeleton of an organofluorine molecule, protecting it against thermal and chemical attack.

This molecular structure accounts for the special properties of the Hostinert products: stability to high temperatures, resistance to reactive chemicals, water and oil repellency, low-friction surface with a lubricating action.

The Hostinert products are clear, colourless and odourless liquids which are not miscible with water or most organic liquids. But they have good affinity for highly fluorinated liquids. They are not flammable, not ignitable, physiologically inert and stable to concentrated acids and alkalis even at high temperatures.

### Main Applications

#### Vapour Phase Soldering

The Hostinert products with their uniform molecular composition and high purity have a defined boiling point.

It therefore permits precise temperature control for example in vapour phase soldering (VPS). The vapour phase reflow technique utilizes the latent heat of vaporization from a boiling fluid to melt the solder on electronic components. This kind of reflow soldering is done by means of a two step process. In the first step, a specific amount of solderpaste is applied to the surface to be soldered (screen-printed on the board followed by component placement and bakeout). The reflow step consists of adding heat to melt the solder and form the joint. A perfluorinated liquid such as Hostinert 216 is boiled for example by means of immersion heaters. The hot vapours from the boiling fluid condense on the assembly giving up the heat of vaporization and causing the solder to melt. Since the system is at atmospheric pressure, the temperature of the assembly cannot exceed the boiling point of the liquid (216 °C). Since the vapour travels rapidly to all areas of the assembly, the soldering process is rapid and relatively independent of component geometry compared to other reflow techniques. The vapour phase reflow process occurs in a nearly oxygen-free environment. Both batch and continuous in-line machines are available for vapour phase reflow. The batch processing needs besides the perfluorinated liquid as the primary working fluid, a top layer of a secondary vapour (fluorocarbon 113 such as Frigen 113) for reducing loss of primary vapours. The continuous in-line, conveyerized machines are capable of fitting into a totally automated production line, and eliminate the need for a secondary vapour zone.

### Testing

Other applications for the perfluorinated liquids have been developed in the electronics industry - primarily in the testing of integrated circuits and other components. These test baths are used to measure or detect a wide variety of properties of electrical devices. The two main types are thermal shock and gross leak.

The systems of shocktest chambers expose the test specimen cyclically to high and low temperature extremes (-80 °C up to +220 °C). The environment can either be liquid or gas. The extremely rapid temperature change leads to immediate detectable failure of mechanically weak interfaces, such as, for example, chip adhesion, weak housings etc. In most cases two different liquids are used for the cold and for the hot bath. The application of two fluids is not practical because of the cross contamination of both liquids. We suggest instead to use only one liquid with a low pour point and a high boiling point such as Hostinert 216 or 272 for both baths in order to avoid this disadvantage.

The perhaps most frequently used gross leak test method is the application of perfluorinated liquids in a Bubble Test Chamber. When a device with a cavity is immersed in such a heated liquid, there is an increase of internal gas pressure. If there is a leak, this results in a stream of bubbles. The internal pressure is a function of the temperature of the liquid, the immersion time and

HOSTINERT	Boiling point at 1013 mbar °C	Solidification point °C	Density at +20 °C g/cm <sup>3</sup>	Kinematic viscosity at +20 °C mm <sup>2</sup> /s	Specific heat of liquid at 25 °C KJ/(kg.K)	Surface tension at 25 °C m N/m	Refractive index n
130	130	< -85 gelpoint	1,78	1,20	1,07	13,6	1,272
175	175	< -85 gelpoint	1,82	2,42	1,09	14,6	1,279
216	216	-108 glasstemperature	1,84	4,77	1,08	15,4	1,286
272	272	-75 gelpoint; -90 glasstemperature	1,86	12,34	1,06	16,2	1,291

HOSTINERT	DC at room temperature	Electrical conductivity at 25°C S/cm	Molar mass g/mol	Acute toxicity (oral, rat) mg/kg body weight	Flashpoint	Ignition temperature, °C	Uses
130	1,77	10 <sup>-9</sup>	570	> 5000	none, not flammable	> 650	reliability tests, temperature calibration, dew point determination
175	1,81	10 <sup>-9</sup>	736	> 5000	none, not flammable	> 650	environmental tests, leak-tests, burn-in-tests, temperature calibration, dewpoint determination
216	1,92	10 <sup>-9</sup>	902	> 5000	none, not flammable	> 650	vapour phase soldering, thermal shock tests
272	1,97	10 <sup>-9</sup>	1234	> 5000	none, not flammable	> 650	vapour phase soldering, thermal shock tests

the temperature of the device before immersion. Hostinert 175 has been found useful in such hermeticity test.

There are more possibilities to use our Hostinert products as a test medium, for example for burn-in-testing, environmental testing, temperature calibration, failure analysis and dewpoint determination. Due to the inert nature and non-solvent action of these products electronic components made of essentially any material can be safely tested in these liquids. They provide not only safety for the sensitive devices but safety for the operator and the area of operation.

The most important physical properties of the Hostinert products and their uses in the electronic industry are summarized in the tables.

*E. Neumann, dipl.ing.  
Hoechst AG  
Predstavništvo v Jugoslaviji  
Generala Ždanova 29  
11000 Beograd*

## PREDSTAVLJAMO MIDEM

Strokovno društvo za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale, MIDEM smo ustanovili 29. januarja 1986 leta, ki nadaljuje delovanje že leta 1962 ustanovljenega strokovnega odbora za elektronske sestavne dele in materiale pri jugoslovanskem komiteju za elektroniko, telekomunikacije, avtomatizacijo in nuklearno tehniko, ETAN, ki se je v poznejšem delovanju preoblikoval v strokovno sekcijo za elektronske sestavne dele, materiale in mikroelektroniko pri zvezi ETAN.

MIDEM, ki ima danes že prek 600 članov, je društvo Elektrotehniške zveze Slovenije in jugoslovanske zveze ETAN.

Namen strokovnega društva MIDEM je združevanje, informiranje in strokovno izpopolnjevanje strokovnjakov s področja raziskav, razvoja, proizvodnje in uporabe mikroelektronskih monolitnih in hibridnih vezij, diskretnih polprevodniških elementov, pasivnih elektronskih delov, elektronskih cevi, senzorjev, sončnih celic, baterij, tiskanih vezij, elektromehanskih elementov, kablov, optoelektronskih elementov in ostalih sestavnih delov za elektroniko in materialov, ki so potrebni za izdelavo navedenih elektronskih elementov in mikroelektronskih vezij.

Društvo dosega svoj namen z naslednjimi nalogami in cilji:

- \* zasleduje moderne svetovne dosežke s področja svojega delovanja in prenaša informacije svojim članom in s tem posredno organizacijam združenega dela
- \* podpira interdisciplinarno znanstveno-strokovno dejavnost in metodologijo reševanja strokovnih problemov
- \* na področju svoje dejavnosti sodeluje pri oblikovanju javnega strokovnega mišljenja o tehnoloških in gospodarskih problemih

- \* podpira in organizira različne oblike strokovnega izpopolnjevanja svojih članov
- \* organizira strokovna in znanstvena posvetovanja s sodelovanjem domačih in tujih strokovnjakov
- \* podpira in organizira založniško dejavnost v skladu z veljavnimi predpisi s tega področja
- \* sodeluje z organizacijami združenega dela pri reševanju posameznih problemov stroke
- \* sodeluje z družbeno-političnimi in interesnimi skupnostmi v določanju programov raziskav, razvoja in proizvodnje s področja svojega delovanja
- \* sodeluje pri oblikovanju strokovne terminologije s sorodnimi društvi
- \* sodeluje pri problematiki standardizacije s kvalificiranimi ustanovami
- \* goji zavest o kvaliteti proizvodnje in izdelkov s področja delovanja svojih članov
- \* organizira komisije za posamezna področja delovanja
- \* organizira strokovne sekcije po potrebi
- \* razvija med članstvom metode tovariškega in timskega dela

Član strokovnega društva MIDEM je lahko vsak državljan SFRJ, ki dela na področju dejavnosti društva in se mu priznava najmanj srednja strokovna izobrazba.

Član je lahko tudi vsak študent, ki je vpisan v kakšno tehnično ali naravoslovno-matematično fakulteto univerze v SFRJ ali sorodno višjo šolsko ustanovo.

Član je lahko tudi tuji državljan s pravico bivanja, oz. s stalnim dovoljenjem za prebivanje v SFRJ, če izpolnjuje navedene strokovne pogoje.

*Predsednik MIDEM  
dr. Rudolf Ročak, dipl. ing.*

### IN MEMORIAM VELIBOR SUBOĆ

Ponovo je nemilosrdna sudbina dimnula u naše članstvo. Nesretnim slučajem izgubili smo svog kolega, druga, prijatelja, suradnika Velibora Suboćića.

Velibor rođen je 29.5.1960 godine u D. Vijačani, opština Prnjavor u SR BiH. Nakon završetka osnovnog i srednjeg obrazovanja upisuje Metalurški fakultet u Novom Sadu koji završava 1984 godine i stiče zvanje ing. metalurgije. 20. maja 1985 godine zasniva radni odnos u RO DIŠ "BORJA" Teslić, u OOURu "Kućišta i uvodnici", na poslovima rukovodioca linije staklo-metal spojeva. Radeći u tom OOURu posebno se istakao izradom i konstrukcijom novih alata za montažu HTM i TO-3/2 kao i novim tehnološkim rešenjima termičke obrade metalnih elemenata žarenjem prije zatapanja. U svom kratkom radnom vijeku dao je značajan doprinos razvoju novih proizvoda kao i ukupnom razvoju svoje radne sredine. Dana 9.3.1989 godine, ubrzo po dolasku na posao, nesrećom na poslu, ugasio se prerano njegov život, u trenutku kada je rješavao problem pucanja staklene perle.

U našem sjećanju ostati će njegov optimistički lik.

**Predsednik MIDEM  
Rudi Ročak**

## NOVA KNJIGA-NOVA KNJIGA-NOVA KNJIGA

### MIKROELEKTRONIKA IN DRUŽBA Prispevki s posvetovanja ob Sodobni elektroniki 1988, Brdo pri Kranju.

#### Vsebina:

- R. Ročak: Stanje mikroelektronske proizvodnje v svetu in Jugoslaviji
- M. Mekinda: Mikroelektronika kontra mikroelektronika
- P. Biljanović: Školovanje za mikroelektroniku
- I. Banič: Mikroelektronika in inovacijski procesi
- E.M.Pintar: Slovenija in vprašanje visokih tehnologij
- V. Sriča: Informatika i društvo
- D.E.Jurjevec: Automatizacija i društvo
- Diskusija udeležencev posveta

Založba: MIDEEM 1989  
Format B5  
Obseg: 109 strani  
Jezik: slovenski, hrvatsko-srpski  
Urednik: R. Ročak

#### IZ PREDGOVORA

Mikroelektronika je prav gotovo temeljna in najpomembnejša tehnološka infrastruktura, potrebna za razvoj elektronike, s tem pa tudi informatike. Živimo v obdobju neverjetno hitrega razvoja informatike, ki izredno vpliva na razvoj družbe kot celote. Problemi mikroelektronike in njegovega razvoja tudi niso omejeni na ozke tehnološke sfere, niti samo v okviru takoimenovanih visokih tehnologij, temveč so sestavni del problemov družbe.

Strokovno društvo za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale, MIDEEM, je oktobra leta 1988 organiziralo enodnevno posvetovanje na temo medsebojnega vpliva družbenih odnosov in mikroelektronike. Povabljeni avtorji in udeleženci razprave so tematiko razširili na odnos družbe do visokih tehnologij, do znanja kot temeljnega razvojnega faktorja družbe. Udeleženci posvetovanja se niso omejili le na teoretične razprave, temveč so kritično osvetlili tudi položaj v Jugoslaviji.

Knjiga je veran prikaz delovnega vzdušja na posvetu. Čeprav izhaja s skoraj enoletno zamudo, je čas še ni nagrizel ter jo lahko vzamete kot "dokument našega časa". Bralci bodo verjetno presenečeni, da knjiga ni napisana v enem jeziku. Upam, da jih to ne bo motilo, kot to ni motilo udeležencev posvetovanja. Jezični puristi nam bodo morali oprostiti marsikatero napako, posebej v delu razprave, ki je napisana po magnetofonskem posnetku.

Še nekaj kratkih pripomb o vsebini in avtorjih prispevkov.

O stanju mikroelektronske proizvodnje v svetu in v Jugoslaviji ter o medsebojnem vplivu uporabe in izdelave mikroelektronskih produktov sta dala prispevek mag. Milan Mekinda, glavni direktor in dr. Rudi Ročak, pomočnik glavnega direktorja Iskrine tovarne Mikroelektronika v ustanavljanju, Ljubljana.

Dr. Petar Biljanović, profesor Elektrotehnične Fakultete Sveučilišta v Zagrebu se v svojem prispevku ni zadržal le

na ozkem področju šolanja za mikroelektroniko, temveč je pokazal na potrebo transformacije univerze ne samo v organizacijskem smislu, temveč v smislu kot sam pravi: "Namesto šolanja za določeno delovno mesto moramo omogočiti šolanje za sposobnost nadaljnega pridobivanja in ustvarjanja znanja".

Dr. Ivo Banič, raziskovalec z Instituta za ekonomske raziskave Univerze v Ljubljani in Emil Milan Pintar, diplomirani filozof in sociolog, pomočnik predsednika Republiškega komiteja za raziskovalno dejavnost in tehnologijo SR Slovenije, sta problematiko mikroelektronike in družbe poplošila na problematiko visokih tehnologij in inovacijskih procesov v svetu in Jugoslaviji. Predsednik Komiteta za nauku, informatiku i tehnologiju SR Hrvatske, dr. Velimir Sriča je prav tako v svojem prispevku ostal na širokem pojmu informatike in njenem vplivu na družbeni razvoj.

Daniel A. Jurjevec, dipl.ing., svetovalec v Privredni komori Jugoslavije je v najboljšejšem prispevku na temelju svojih raziskav pokazal, kako se Jugoslavija giblje v svojem siromaštvu ob robu možnega razcveta. Prispevek lahko sproži, kot vsi ostali prispevki, precej polemike. Poskuša tudi pokazati, da se ljudje bojijo avtomatizacije, tehnoloških sprememb, neupravičeno, ker se bojijo družbenih, socialnih sprememb.

"Tehnološki višek delavcev", o katerem vse pogosteje slišimo, ni posledica tehnološkega razvoja naše dežele, temveč obratno, to je posledica pomanjkanja novih razvojnih programov in njihove realizacije. Katastrofo za našo družbo lahko pomenijo odločitve, katerih posledica je objava v Uradnem listu SFRJ št. 32/89, z dne 26. maja 1989 o uvedbi redne likvidacije nad DO Iskra-Mikroelektronika v ustanavljanju, Ljubljana.

Pa naj vas to ne odvrne od branja knjige!

**NAROČILNICA  
NARUDŽBENICA**

Nepreklicno naročam knjigo MIKROELEKTRONIKA IN DRUŽBA za ceno 190.000 din. Knjigo bom plačal po prevzemu po pošti.

Neopozivo naručujem MIKROELEKTRONIKA IN DRUŽBA po cjeni 190.000 din. Knjigu ću platiti po pouzeću.

Priimek in ime: .....  
Prezime i ime: .....

Naslov: .....  
Adresa: .....

Podpis: .....  
Potpis:  
Naročilnico poslati na naslov:  
Narudžbenicu poslati na adresu:

**MIDEM  
Titova 50  
61000 Ljubljana**

**Za delovne organizacije  
Za radne organizacije**

Naziv organizacije .....

Naslov: .....  
Adresa .....

Podpis i žig: .....  
Potpis in žig: .....

Ob dobavi bomo izstavili račun. Za 10 ali več knjig priznavamo 20% popust.  
Kod isporuke knjige priložiti ćemo račun. Za 10 ili više primeraka priznajemo 20% popusta.

Naročilnico poslati na naslov:  
Narudžbenicu poslati na adresu:

**MIDEM  
Titova 50  
61000 Ljubljana**



---

---

## CEOK - celovito obvladovanje kakovosti - PONATIS

---

---

Knjiga s študijskega dne ob Sodobni elektroniki 1987, Brdo pri Kranju

Založba: MIDEM 1988  
Format A5  
Obseg: 219 strani  
Jezik: slovenski, hrvatsko-srpski  
Urednik: R. Ročak

### Vsebina:

- M. Kobe: Japonski pristop k integralnemu zagotavljanju kvalitete (slovenski)
- L. Kozina: Obvladovanje kakovosti v procesih (slovenski)
- Z. Vuković: Osnovni pristup pouzdanosti elektroničkih sistema (hrvatsko-srpski)
- N. Stojadinović, S. Dimitrijević: Pouzdanost mikroelektronskih kola (srpsko-hrvatski)
- L. Toplak: Pravni aspekti zagotavljanja kakovosti (slovenski)
- F. Mlakar: Standardizacija kot element zagotavljanja kakovosti izdelkov (slovenski)
- D. Flam: Standardizacija sastavnih dijelova kao elemenat osiguranja kvalitete uređaja (hrvatsko-srpski)
- S. Muždeka, Z. Muždeka: Logistika - pomoć efikasnom ulaganju u nove proizvode/sisteme (srpsko-hrvatski)
- Diskusija (slovenski, hrvatsko-srpski)
- Seznam udeležencev
- Sponzorji društva MIDEM

### Iz predgovora

V sodobnem razvitem svetu je močno narasla ponudba proizvodov in storitev. V takih pogojih pridobiva kakovost proizvodov in storitev na pomenu, še več, v vedno večjem številu primerov je kakovost osnova tržnega nastopa in konkurenčne sposobnosti.

Kakovost moramo v proizvod in tudi v storitev vgraditi. Široko je razširjena zmeta, da kakovost lahko dosežemo le s kontrolo kakovosti. Kakovost proizvodov ali storitev lahko dosežemo le, če si načrtamo cilje in strategijo na področju kakovosti. Sistem, ki organizirano nastopa, imenujemo **SISTEM ZA CELOVITO OBVLADOVANJE KAKOVOSTI**. CEOK je sistem, ki zaokrožuje na organiziran način vsa prizaddevanja, opravila in naloge, ki so potrebne za nastajanje dobrih proizvodov in storitev, takih, ki jih bo hotel kupec kupiti in biti z njimi dolgo zadovoljen. Takega celovitega pristopa h kakovosti pri jugoslovanskih podjetjih ni možno velikokrat videti, čeprav se ponekod pojavlja kot zavest posameznikov lai pa kot tržna prisila, posebej pri takoimenovanih "izvoznikih".

### ZA KOGA JE KNJIGA PRIMERNA

Čeprav so bili udeleženci študijskega dneva večinoma iz elektronske industrije, veljajo njihova predavanja in misli izrečene v diskusiji tudi za ostale industrijske panoge. Knjiga je zanimiva za širši krog strokovnjakov, ki se zavedajo pomembnosti in nujnosti zagotavljanja in obvladovanja kakovosti.

Knjiga je primerna kot učbenik za šolanje ali seminarje vodilnih kadrov in kadrov za zagotavljanje kakovosti.

**NAROČILNICA  
NARUDŽBENICA**

Nepreklicno naročam knjigo CEOK za ceno 120.000 din. Knjigo bom plačal po prevzemu po pošti.  
Neopozivo naručujem CEOK po cijen i 120.000 din. Knjigu ću platiti po pouzeću.

Priimek in ime: .....  
Prezime i ime:

Naslov: .....  
Adresa:

Podpis: .....  
Potpis:  
Naročilnico poslati na naslov:  
Narudžbenicu poslati na adresu:

**MIDEM  
Titova 50  
61000 Ljubljana**

**Za delovne organizacije**

**Za radne organizacije**

Naziv organizacije .....

Naslov: .....  
Adresa

Podpis in žig: .....  
Potpis i žig:

Ob dobavi bomo izstavili račun. Za 10 ali več knjig priznavamo 20% popust.  
Kod isporuke knjige priložiti ćemo račun. Za 10 ili više primeraka priznajemo 20% popusta.

Naročilnico poslati na naslov:  
Narudžbenicu poslati na adresu:

**MIDEM  
Titova 50  
61000 Ljubljana**

---



---

## KOLEDAR PRIREDITEV

---



---

### OKTOBER

9-11.-EPE (3 European Conference on Power Electronics and Applications) Aachen (Info.VDE)

---

9.-13. GADEST 89, Gettering and Defect Engineering in Semiconductor Technology, Garzau-Frankfurt (Oder) DDR Academy of Sciences of the GDR Institute of Semiconductor Physics, W. Korsing Str.2, P.B.409 GDR 1200, Frankfurt (Oder)

---

17.-20. Failures&Yield analysis seminar, München (Technology associates, 51 Hillbrook Drive, Portola Valley CA 94025-7933)

---

17.-20. Semiconductor technology seminar, München (Technology associates)

---

24.-27. ECASIA 89 - 3. evropska konferenca o uporabi metod za analizo površin in faznih mej; Antibes, Francija

---

27.-28. SEMI 5th European Step Conference Defect Control and Yield Management, Brussels, Sheraton Hotel (G.Cochrane 01-353-8807)

---

### NOVEMBER

8.-12.Electronica 89, Razstava München

---

28-30. European Conference on Satellite Communications, München (Info. VDE)

---

1990

### MAREC

12.-15. EDAC - The European Design Automation Conference Glasgow (CEP Consultants Ltd, 26-28 Albany Street, Edinburgh, EH 13QH, UK)

---

### APRIL

18.-22. - 11. Jugoslovanski vakuumski kongres, Gozd Martuljek, Špik; oranizator Juvak in DVT Slovenije

---

### SEPTEMBER

24.-27. Evropska konferenca o galijevev arzenidu; St Heller, Jersey, Anglija

---

## Nadaljevanje objavljaja terminoloških standardov

V tokratni številki nadaljujemo z objavljajem jugoslovanskih terminoloških standardov. Na vrsti so OPTIČNI KABLI ZA TELEKOMUNIKACIJE. Zaradi enostavnosti in točnosti bomo objavili kopije iz standardov v taki obliki, kot so napisani originalno. Opravičujemo se zaradi morebitnih slabših odtisov. Koristnost se verjetno ne bo zmanjšala, kljub estetski pomanjkljivosti.

V standardu JUS N.C8.001 (Pravilnik št. 50.5572/1 z dne 30.3.1984, Uradni list SFRJ št. 62/84), ki se uporablja od 23. 02. 1985, so določeni izrazi, okrajšave in definicije za optične kable za telekomunikacije.

Standard določa izraze, okrajšave in definicije za področje optičnih kablov za telekomunikacije v srbohr-

vatskem, hrvatskem knjižnem, makedonskem, slovenskem in angleškem jeziku.

Vsak izraz ima svojo zaporedno številko. Na podlagi zaporednih števil in registra najdemo zahtevani izraz. Enakoveljavne izraze loči vejica. Alternativne dele izraza loči oklepaj. Strnjenja več sorodnih izrazov ali nasprotnosti v izrazu so ločena s poševno črto.

Vsebina standarda: 2. Splošni izrazi, 3. Optično vlakno, 4. Karakteristike optičnih vlaken, 5. Optoelektronske priprave in naprave, 6. Optični kabli in konektorji.

*Predsednik društva MIDEM  
dr. Rudi Ročak, dipl.ing.*

## NAVODILA AVTORJEM

Informacije MIDEM je znanstveno-strokovno-društvena publikacija Strokovnega društva za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale-MIDEM. Časopis objavlja prispevke domačih in tujih avtorjev, še posebej članov MIDEM, s področja mikroelektronike, elektronskih sestavnih delov in materialov, ki so lahko:

izvirni znanstveni članki, predhodna sporočila, pregledni članki, razprave z znanstvenih in strokovnih posvetovanj in strokovni članki.

Članki bodo recenzirani.

Časopis objavlja tudi novice iz stroke, vesti iz delovnih organizacij, inštitutov in fakultet, obvestila o akcijah društva MIDEM in njegovih članov ter druge relevantne prispevke.

Strokovni prispevki morajo biti pripravljene na naslednji način

- 1. Naslov dela, imena in priimki avtorjev brez titula.
- 2. Ključne besede in povzetek (največ 250 besed).
- 3. Naslov dela v angleščini.
- 4. Ključne besede v angleščini (Keywords) in povzetek v angleščini (Abstract).
- 5. Uvod, glavni del, zaključek, zahvale, dodatki in literatura.
- 6. Imena in priimki avtorjev, titule in naslovi delovnih organizacij, v katerih so zaposleni.

## Ostala splošna navodila

1. Članki morajo biti tipkani na listih A4 formata v vrsticah dolžine 16 cm. Rob na levi strani mora biti širok 3.5-4 cm.

2. V članku je potrebno uporabljati SI sistem enot oz. v oklepaju navesti alternativne enote.

3. Risbe je potrebno izdelati s tušem na pavs ali belem papirju. Širina risb naj bo do 7.5 oz. 15 cm. Vsaka risba, tabela ali fotografija naj ima številko in podnapis, ki označuje njeno vsebino. Risb, tabel in fotografij ni potrebno lepiti med tekst, ampak jih je potrebno ločeno priložiti članku. V tekstu je potrebno označiti mesto, kjer jih je potrebno vstaviti.

4. Delo je lahko napisano in bo objavljeno v kateremkoli jugoslovanskem jeziku v latinici in v angleščini.

Uredniški odbor ne bo sprejel strokovnih člankov, ki ne bodo poslani v treh izvodih.

Avtorji, ki pripravljajo besedilo v urejevalnikih besedil, lahko pošljejo zapis datoteke na disketi (360 ali 1,2) v formatih ASCII, wordstar (3.4, 4.0), wordperfect, word, ker bo besedilo oblikovano v programu Ventura 2.0. Poslatih disket ne vračamo!

Avtorji so v celoti odgovorni za vsebino objavljenega sestavka. Rokopisov ne vračamo.

## Rokopise pošljite na naslov

Uredništvo Informacije MIDEM  
Elektrotehniška zveza Slovenije  
Titova 50, 61000 Ljubljana

## UPUTE AUTORIMA

Informacije MIDEM je znanstveno-strokovno-društvena publikacija Stručnog društva za mikroelektroniku, elektronske sestavne dijelove i materijale - MIDEM. Časopis objavljuje priloge domaćih i stranih autora, naročito članova MIDEM, s područja mikroelektronike, elektronskih sastavnih dijelova i materijala koji mogu biti:

izvorni znanstveni članci, predhodna priopćenja, pregledni članci, izlaganja sa znanstvenih i stručnih skupova i stručni članci.

Članci će biti recenzirani.

Časopis također objavljuje novosti iz struke, obavijesti iz radnih organizacija, instituta i fakulteta, obavijesti o akcijama društva MIDEM i njegovih članova i druge relevantne obavijesti.

Stručni članci moraju biti pripremljeni kako slijedi

- 1. Naslov članka, imena i prezimena autora bez titula.
- 2. Ključne riječi i sažetak (najviše 250 riječi).
- 3. Naslov članka na engleskom jeziku.
- 4. Ključne riječi na engleskom jeziku (Key Words) i sažetak na engleskom jeziku (Abstract).
- 5. Uvod, glavni dio, zaključni dio, zahvale, dodaci i literatura.
- 6. Imena i prezimena autora, titule i naslovi institucija u kojima su zaposleni.

## Ostale opšte upute

1. Prilozi moraju biti strojno pisani na listovima A4 formata u redovima dužine 16 cm. Na lijevoj strani teksta treba biti rub širok 3.5 do 4 cm.

2. U prilogu treba upotrebljavati SI sistem jedinica od. u zagradi navesti alternativne jedinice.

3. Crteže treba izraditi tušem na pavs ili bijelom papiru. Širina crteža neka bude do 7.5 odnosno 15 cm. Svaki crtež, tablica ili fotografija treba imati broj i naziv koji označuje njen sadržaj. Crteže, tabele i fotografije nije potrebno lepiti u tekst, već ih priložiti odvojeno, a u tekstu samo naznačiti mjesto gdje dolaze.

4. Rad može biti pisan i biti će objavljen na bilo kojem od jugoslavenskih jezika u latinici i na engleskom jeziku.

Autori mogu poslati radove na disketama (360 ili 1,2) u formatima tekst procesora ASCII, wordstar (3.4 i 4.0), word, wordperfect pošto će biti tekst dalje obraden u Venturi 2.0. Poslatih disketa ne vraćamo!

Urednički odbor će odbiti sve radove koji neće biti poslani u tri primjerka.

Za sadržaj članaka autori odgovaraju u potpunosti. Rukopisi se na vraćaju.

## Rukopise šaljite na adresu:

Uredništvo Informacije MIDEM  
Elektrotehnička zveza Slovenije  
Titova 50, 61000 Ljubljana

## INFORMATION FOR CONTRIBUTORS

Informacije MIDEM is professional-scientific-social publication of Yugoslav Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials. In the Journal contributions of domestic and foreign authors, especially members of MIDEM, are published covering field of microelectronics, electronic components and materials. These contributions may be:

original scientific papers, preliminary communications, reviews, conference papers and professional papers.

All manuscripts are subject to reviews.

Scientific news, news from the companies, institutes and universities, reports on actions of MIDEM Society and its members as well as other relevant contributions are also welcome.

Each contribution should include the following specific components:

- 1. Title of the paper and authors' names.
- 2. Key Words and Abstract (not more than 250 words).
- 3. Introduction, main text, conclusion, acknowledgements, appendix and references.
- 4. Authors' names, titles and complete company or institution adress.

## General information

1. Papers should be typed on page format A4 in lines up to 16 cm long. Space on left side of the text should be at least 3.5 to 4 cm long.

2. Authors should use SI units and provide alternative units in parentheses wherever necessary.

3. Illustrations should be in black on white or tracing paper. Their width should be up to 7.5 or 15 cm. Each illustration, table or photograph should be numbered and with legend added. Illustrations, tables and photographs are not to be placed into the text but added separately. However, their position in the text should be clearly marked.

4. Contributions may be written and will be published in any Yugoslav language and in english.

Authors may send their files on formatted diskettes (360 or 1,2) in ASCII, wordstar (3.4 or 4.0), word, wordperfect as text will be formatted in Ventura 2.0. Diskettes will not be sent back!

Papers will not be accepted unless three copies are received.

Authors are fully responsible for the content of the paper. Manuscripts are not returned.

## Contributions are to be sent to the address:

Uredništvo Informacije MIDEM  
Elektrotehniška zveza Slovenije  
Titova 50, 61000 Ljubljana,  
Yugoslavia

## terminološki standardi

2	Splošni izrazi					
2.1	Splošni izrazi in fizikalne veličine					
Zap. št.	Izrazi v jezikih narodov Jugoslavije	Izrazi v angleškem jeziku	Definicije			
1	2	3	4			
2.1.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• optika vlakna</li> <li>• optika vlakna</li> <li>• фибер-оптика</li> <li>• vlaknasta optika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fibre optics (F.O); fiber optics (F.O)</li> </ul>	Področje optike, ki obsega aktivno in pasivno vodenje optičnega sevanja (žarki in valovodni rodovi) po optičnem vodniku.			
2.1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• svetlost</li> <li>• svetlost</li> <li>• светлина</li> <li>• svetloba</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• light</li> </ul>	Elektromagnetno sevanje z valovnimi dolžinami od 0,3 $\mu\text{m}$ do 30 $\mu\text{m}$ .			
2.1.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• infracrvena oblast (IC)</li> <li>• Infracrveno področje (IC)</li> <li>• инфрацрвено подрачје</li> <li>• infrardeče območje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• infrared (IR)</li> </ul>	Območje valovnih dolžin elektromagnetnega sevanja med skrajnim vidnim delom spektra (okrog 0,75 $\mu\text{m}$ ) in najkrajšimi mikrovalovi (okrog 1000 $\mu\text{m}$ ); Infrardeče območje se deli v podobmočja: bližnje infrardeče = 0,75 do 3 $\mu\text{m}$ , srednje infrardeče = 3 do 30 $\mu\text{m}$ , daljno infrardeče = 30 do 1000 $\mu\text{m}$ .			
2.1.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• indeks prelamanja n</li> <li>• indeks loma n</li> <li>• индекс на прекршувањето n</li> <li>• lomni količnik n</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• refractive index n</li> </ul>	Razmerje med svetlobno hitrostjo in svetlobno hitrostjo v danem sredstvu. Lomni količnik je brez dimenzije.			
2.1.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• polarizacija</li> <li>• polarizacija</li> <li>• поларизација</li> <li>• polarizacija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• polarization</li> </ul>	Določena časovna sprememba smeri in amplitude vektora električnega polja.			

# terminološki standardi

1	2	3	4
2.1.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• difrakcija</li> <li>• ogib</li> <li>• дифракција</li> <li>• uklon; difrakcija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• diffraction</li> </ul>	<p>Upogibanje valov okrog roba ovire. Ovira povzroča odstopnek valovne poti od premočrtnega razširjanja. Uklon in pridruženi pojavi interference so karakteristika vseh valovnih pojavov.</p>
2.1.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• difrakciona rešetka</li> <li>• ogibna rešetka</li> <li>• Дифракционна решетка</li> <li>• uklonska mreža</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• diffraction grating</li> </ul>	<p>Niz jasnih, vzporednih, enako prostorsko porazdeljenih zarez, ki odbijejo ali prepuščajo sevanje in medsebojno občujejo pojave uklona na robovih tako, da strnejo uklonjeno svetlobo v nekaj smereh, ki so karakteristične za določeno razdaljo zarez v mreži in valovno dolžino in imenovane svetlobe.</p> <p>Če je <math>d</math> — vpadni kot, <math>d</math> — uklonski kot, <math>s</math> — medsebojna razdalja zarez, <math>n</math> — red spektra, je valovna dolžina, poročana z obrazci:</p> $\lambda = (s/n) \cdot (\sin i + \sin e)$
2.1.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• crno telo</li> <li>• crno tijelo</li> <li>• черно тело</li> <li>• črno telo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• black body</li> </ul>	<p>Telo, ki sevanje popolnoma vlija (absorbira). Tako telo sploh ne odbija vpadnega sevanja. Telo popolne seva po Stefan-Boltzmannovem zakonu. Spektre celotnega sevanja se določa po Planckovem obrazcu. V primeru termofinancičnega ravnovesja sta sejemski pretok in vpljanje črneje telesa enaka.</p>
2.1.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sjaj; sijainost</li> <li>• sijainost</li> <li>• сјајност</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• brightness</li> </ul>	<p>Izraz, ki se uporablja pri kakovostnem opisovanju in se nanaša na zaznavovanje svetlobe.</p> <p>Sijavost je značilnost za vidno zaznavovanje in se v soglasju z njim svetlobni vir javlja kot oddajnik močnejše ali slabše svetlobe. Kar o-ko ni enako občutljivo za vse barve, sijavost ne more biti količinski izraz.</p>

# terminološki standardi

1	2	3	4
2.1.10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• radijansa</li> <li>• radijancija</li> <li>• радијанса</li> <li>• севалност</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• radiance</li> </ul>	<p>Pretok sevanja na enoto prostorskega kota in na enoto ploskve, pravokotno na smer razširjanja:</p> $L = \frac{d^2 \Phi}{d\omega \cdot dA \cdot \cos \theta} = \frac{dI}{dA \cdot \cos \theta}$ <p>kjer je:</p> <p><math>A</math> — ploskev vira, ploskev detektorja ali katerakoli druga ravnina ali namišljena ploskev, ki jo preseka sevalni pretok,</p> <p><math>\Theta</math> — kot med pravokotnico na ploskovni element in smerjo opazovanja.</p> <p>Enota sevalnosti je: <math>\frac{W}{m^2 \cdot sr}</math></p>
2.1.11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• spektralna radijansa</li> <li>• spektralna radijancija</li> <li>• спектрална радијанса</li> <li>• spektralna sevalnost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• spectral radiance</li> </ul>	<p>Sevalnost na enoto intervala valovne dolžine, merjena pri določeni valovni dolžini (W/sr · m<sup>2</sup> · μm).</p>
2.1.12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• energija zračenja</li> <li>• energija zračenja</li> <li>• енергија на зрачењето</li> <li>• sevalna energija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• radiant energy</li> </ul>	<p>Energija, ki se oddaja, prenaša ali sprejema v obliki elektromagnetnega sevanja. Enota sevalne energije je joule (J).</p>
2.1.13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• površinska gustina energije</li> <li>• gustoba energije</li> <li>• површинска густина на енергијата</li> <li>• ploskovna energijska gostota</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• energy density</li> </ul>	<p>Količnik med oddano, preneseno ali sprejeto energijo in ploskvijo, v J/m<sup>2</sup>.</p>
2.1.14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fluks zračenja; snaga zračenja</li> <li>• tok zračenja; snaga zračenja</li> <li>• флукс на зрачењето, моќност на зрачењето</li> <li>• sevalni pretok; sevalni fluks</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• radiant flux</li> </ul>	<p>Moč, ki se oddaja, prenaša ali sprejema v obliki elektromagnetnega sevanja.</p>

**terminološki standardi**

1	2	3	4
2.1.15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• površinska gostina snage</li> <li>• gustoća snage</li> <li>• површинска густина на моќноста</li> <li>• gostota moči</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• power density</li> </ul>	Moč na enoto ploskve, v $W/m^2$ .
2.1.16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• srednja snaga</li> <li>• srednja snaga</li> <li>• средна моќност</li> <li>• povprečna moč</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• average power</li> </ul>	Zmožek impulzne energije in ponavljalne frekvence impulzov pri impulznem laserju.
2.1.17	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vršna snaga</li> <li>• vršna snaga</li> <li>• вршна моќност</li> <li>• temenska moč</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• peak power</li> </ul>	Največja trenutna vrednost moči impulznega laserja.
2.1.18	<ul style="list-style-type: none"> <li>• odnos snaga zračenja</li> <li>• odnos snaga zračenja</li> <li>• однос на моќности на зрачење</li> <li>• razmerje sevalnih moči</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• radiant power ratio</li> </ul>	Razmerje med sevalnima močema $\Phi_2/\Phi_1$ , kjer sta $\Phi_1$ in $\Phi_2$ izmerjeni moči pred in po vstavljanju vzorca.
2.1.19	<ul style="list-style-type: none"> <li>• intenzitet zračenja</li> <li>• jakost zračenja</li> <li>• интензитет на зрачењето</li> <li>• sevalna jakost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• radiant intensity</li> </ul>	Za določeni vir, v potani smeri sevanja, količnik med sevalno močjo, ki zapušča vir ali del vira v elementu prostorskega kota, v katerem je podana smer, in med elementom tega opazovanega kota. Enota sevalne jakosti je: $W/sr$ .
2.1.20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vršni intenzitet zračenja</li> <li>• vršna jakost zračenja</li> <li>• максимален интензитет на зрачењето</li> <li>• temenska sevalna jakost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• peak radiant intensity</li> </ul>	Največja vrednost ( $I_p$ ) sevalne jakosti I.