

ISSN 0352-9045

# *Informacije* MIDEM

*Journal of Microelectronics,  
Electronic Components and Materials  
Vol. 50, No. 2(2020), June 2020*

*Revija za mikroelektroniko,  
elektronske sestavne dele in materiale  
letnik 50, številka 2(2020), Junij 2020*



**RLS**<sup>®</sup>  
[www.rls.si](http://www.rls.si)

# Informacije MIDE M 2-2020

Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials

VOLUME 50, NO. 2(174), LJUBLJANA, JUNE 2020 | LETNIK 50, NO. 2(174), LJUBLJANA, JUNIJ 2020

Published quarterly (March, June, September, December) by Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials - MIDE M.  
Copyright © 2020. All rights reserved. | Revija izhaja trimesečno (marec, junij, september, december). Izdaja Strokovno društvo za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale – Društvo MIDE M. Copyright © 2020. Vse pravice pridržane.

## Editor in Chief | Glavni in odgovorni urednik

Marko Topič, University of Ljubljana (UL), Faculty of Electrical Engineering, Slovenia

## Editor of Electronic Edition | Urednik elektronske izdaje

Kristijan Brecl, UL, Faculty of Electrical Engineering, Slovenia

## Associate Editors | Odgovorni področni uredniki

Vanja Ambrožič, UL, Faculty of Electrical Engineering, Slovenia

Arpad Bürmen, UL, Faculty of Electrical Engineering, Slovenia

**Matija Pirc, UL, Faculty of Electrical Engineering, Slovenia**

Danjela Kuščer Hrovatin, Jožef Stefan Institute, Slovenia

Franc Smole, UL, Faculty of Electrical Engineering, Slovenia

Matjaž Vidmar, UL, Faculty of Electrical Engineering, Slovenia

## Editorial Board | Uredniški odbor

Mohamed Akil, ESIEE PARIS, France

Giuseppe Buja, University of Padova, Italy

Gian-Franco Dalla Betta, University of Trento, Italy

Martyn Fice, University College London, United Kingdom

Ciprian Iliescu, Institute of Bioengineering and Nanotechnology, A\*STAR, Singapore

Marc Lethiecq, University of Tours, France

Teresa Orłowska-Kowalska, Wrocław University of Technology, Poland

Luca Palmieri, University of Padova, Italy

Goran Stojanović, University of Novi Sad, Serbia

## International Advisory Board | Časopisni svet

Janez Trontelj, UL, Faculty of Electrical Engineering, Slovenia - Chairman

Cor Claeys, IMEC, Leuven, Belgium

Denis Đonlagić, University of Maribor, Faculty of Elec. Eng. and Computer Science, Slovenia

Zvonko Fazarinc, CIS, Stanford University, Stanford, USA

Leszek J. Golonka, Technical University Wrocław, Wrocław, Poland

Jean-Marie Haussonne, EIC-LUSAC, Octeville, France

Barbara Malič, Jožef Stefan Institute, Slovenia

Miran Mozetič, Jožef Stefan Institute, Slovenia

Stane Pejovnik, UL, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Slovenia

Giorgio Pignatelli, University of Perugia, Italy

Giovanni Soncini, University of Trento, Trento, Italy

Iztok Šorli, MIKROIKS d.o.o., Ljubljana, Slovenia

Hong Wang, Xi'an Jiaotong University, China

## Headquarters | Naslov uredništva

Uredništvo Informacije MIDE M

MIDE M pri MIKROIKS

Stegne 11, 1521 Ljubljana, Slovenia

T. +386 (0)1 513 37 68

F. + 386 (0)1 513 37 71

E. [info@midem-drustvo.si](mailto:info@midem-drustvo.si)

[www.midem-drustvo.si](http://www.midem-drustvo.si)

Annual subscription rate is 160 EUR, separate issue is 40 EUR. MIDE M members and Society sponsors receive current issues for free. Scientific Council for Technical Sciences of Slovenian Research Agency has recognized Informacije MIDE M as scientific Journal for microelectronics, electronic components and materials. Publishing of the Journal is co-financed by Slovenian Research Agency and by Society sponsors. Scientific and professional papers published in the journal are indexed and abstracted in COBISS and INSPEC databases. The Journal is indexed by ISI® for Sci Search®, Research Alert® and Material Science Citation Index™. | Letna naročnina je 160 EUR, cena posamezne številke pa 40 EUR. Člani in sponzorji MIDE M prejema posamezne številke brezplačno. Znanstveni svet za tehnične vede je podal pozitivno mnenje o reviji kot znanstveno-strokovni reviji za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale. Izdajo revije sofinancirajo ARRS in sponzorji društva. Znanstveno-strokovne prispevke objavljene v Informacijah MIDE M zajemamo v podatkovne baze COBISS in INSPEC. Prispevke iz revije zajema ISI® v naslednje svoje produkte: Sci Search®, Research Alert® in Materials Science Citation Index™.

## Content | Vsebina

### Original scientific papers

### Izvirni znanstveni članki

E. Sekar, S. Palaniswami: Hardware Implementation of Residue Multipliers based Signed RNS Processor for Cryptosystems	71	E. Sekar, S. Palaniswami: Strojna implementacija množilnikov ostankov na osnovi predznačenega RNS procesorja za sisteme kriptiranja
A. Abolhasani, M. Mousazadeh, A. Khoei: Real-time, Cuff-less and Non-invasive Blood Pressure Monitoring	87	A. Abolhasani, M. Mousazadeh, A. Khoei: Neinvazivno merjenje krvnega tlaka v realnem času brez uporabe manšete
M. A. S. Bhuiyan, Z. Fan, Y. J. Leem, L. Y. Lee, M. B. I. Reaz, T. I. Badal, K. N. B. Minhad: CMOS series-shunt single-pole double-throw transmit/receive switch and low noise amplifier design for internet of things based radio frequency identification devices	105	M. A. S. Bhuiyan, Z. Fan, Y. J. Leem, L. Y. Lee, M. B. I. Reaz, T. I. Badal, K. N. B. Minhad: Enopolno menjalno oddajno/sprejemno CMOS uporovno stikalo in nizkošumen ojačevalnik za internet stvari identifikacijske elemente na radijski frekvenci
A. Rahnamaei: CMOS High-Performance 5-2 and 6-2 Compressors for High-Speed Parallel Multipliers	115	A. Rahnamaei: Visoko učinkovit CMOS 5-2 in 6-2 kodirnik za vzporedne množilnike velikih hitrosti
W. Tangsrirat, T. Pukkalanun, O. Channumsin: Single VDGA-Based Dual-Mode Multifunction Biquadratic Filter and Quadrature Sinusoidal Oscillator	125	W. Tangsrirat, T. Pukkalanun, O. Channumsin: Enojen multifunkcijski bi-kvadratičen filter na osnovi VDGA in sinusni kvadrantni oscilator
M. E. Başak, E. Özer, F. Kaçar, D. Özenli: DTMOS Based High Bandwidth Four-Quadrant Analog Multiplier	137	M. E. Başak, E. Özer, F. Kaçar, D. Özenli: Štiri-kvadranten širokopasovni množilnik na osnovi DTMOS
In memoriam Emeritus Prof. Dr. Jože Furlan	147	In memoriam Zaslužnemu profesorju dr. Jožetu Furlanu
Front page: Magnetic image sensor ASIC (RLS d.o.o.)		Naslovnica: Magnetni slikovni sensor ASIC (RLS d.o.o.)



## *In memoriam* *zaslužnemu profesorju dr. Jožetu Furlanu* (Žalna seja, UL FE, 1.7.2020)



Prof. dr. Jože Furlan  
Zaslužni profesor Univerze v Ljubljani  
(1934-2020)

Spoštovana družina profesorja Jožeta Furlana, spoštovani prijatelji in sodelavci profesorja Jožeta Furlana, spoštovani bivši študenti, diplomanti in doktoranti profesorja Jožeta Furlana, spoštovane dame in gospodje!

V imenu Katedre za elektroniko želiva predstaviti zaslužnega profesorja Univerze v Ljubljani, rednega profesorja dr. Jožeta Furlana, univ. dipl. inž. el. In njegovo življenjsko pot.

Prof. Jože Furlan je preko šest desetletij oblikoval, zaznamoval in bogatil slovensko elektroniko kot univerzitetni učitelj Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Prof. Furlan se je trajno zapisal v zgodovino slovenske elektronike kot pionir na področju polprevodniških elementov, tranzistorskih in integriranih vezij ter fotovoltaike.

Jože Furlan je bil rojen leta 1934 v Limbušu pri Mariboru. Že v otroških letih se je navdušil nad elektrotehniko. Kot gimnazijski dijak je pridno obiskoval radioamaterske tečaje in sestavljal radijske sprejemnike ter na ta način prišel v prvi stik z elektroniko, ki se ji je nato zapisal za vse življenje.

Med leti 1952 in 1957 je študiral elektrotehniko na Oddelku za elektrotehniko Tehniške visoke šole v Ljubljani. Med študijem je sodeloval kot demonstrator pri predmetu *Elektronika in elektronske cevi* ter vodil vaje za študente elektrotehnike in fizike. Hkrati je bil v višjih letnikih honorarno zaposlen na Fizikalnem inštitutu Medicinske visoke šole v Ljubljani, kjer je načrtoval in sodeloval pri gradnji elektronskih naprav. Zelo zgodaj se je zavedal pomena mednarodne vpetosti in znanja tujih jezikov. Tako se je kot študent usposabljal na 4-mesečni praksi v Nemčiji pri podjetju Electronic GmbH v Münchnu, po končani diplomu leta 1958 pa v Veliki Britaniji in sicer 2 meseca pri podjetju Edward's High Vacuum v Crawleyu.

Še istega leta se je zaposlil kot asistent pri prof. dr. Dušanu Lasiču na Oddelku za šibki tok Fakultete za elektrotehniko in strojništvo Univerze v Ljubljani. Prvo raziskovalno in pedagoško področje prof. Furlana so bile tedaj, v predtranzistorskem obdobju, še vedno zelo aktualne vakuumске elektronke. Pri tem delu je preučeval električna polja in gibanje elektronov v večielektrodnih elektronkah ter raziskoval šum v osnovnih elektronskih elementih. Še posebej je znan njegov merilnik šumov fotopomnoževalk.

Leta 1960 je bil z ameriško tehnično pomočjo na polletnem akademskem in raziskovalnem izpopolnjevanju v laboratoriju tedaj enega od vodilnih strokovnjakov na področju prihajajočih tranzistorjev, pri prof. Johnu Linvillu na Univerzi Stanford, kjer je pridobival vrhunska znanja s področja polprevodniških elementov. Tako se je že na začetku šestdesetih let kot eden prvih slovenskih elektronikov preusmeril od elektronk k tranzistorjem in od tod naprej na področje mikroelektronike. Od jeseni 1960 je bil honorarni predavatelj za predmet *Elektronika* na Oddelku za fiziko in od jeseni 1963 tudi za predmet *Osnove elektronike* na Oddelku za metalurgijo Fakultete za naravoslovje in tehnologijo. Na III. stopnjo študija *Elektronska optika* na Fakulteti za elektrotehniko se je vpisal leta 1961 in ga uspešno zaključil z magistrskim delom v letu 1966 in z doktoratom iz elektrotehniških znanosti 1968. Sredi šestdesetih let je napisal znano knjigo *Elektronika*, v kateri je obravnaval nova tranzistorska vezja in jih primerjal z vezji na osnovi elektronk. Od leta 1966 je bil zaposlen kot redni docent za predmete *Elektronika* in *Napajalne naprave*, dve

leti kasneje je prevzel še podiplomska predmeta *Fizika šumov* in *Mikroelektronika*.

V letih 1969-1970 je bil na izpopolnjevanju v enem od vodilnih razvojno-raziskovalnih laboratorijev na področju mikroelektronike, pri podjetju Hewlett-Packard v Silicijevi dolini, kjer je raziskoval tranzistorska integrirana vezja. Tu je pridobival najnovejša načrtovalska in tehnološka znanja na področju integriranih vezij. V tem obdobju je za Hewlett-Packard razvil tudi dve zahtevni integrirani vezji za številni merilnik frekvence HP 5345A. Kot je zapisala strokovna komisija ob njegovi izvolitvi v izrednega profesorja leta 1972: "..., kjer je izvedel nekatere nove tipe integriranih tranzistorskih vezij pa tudi dva osnovna tipa in nekaj izvedenk ekstremno hitrih integriranih vezij za impulzne signale na 500 MHz. Pripomniti velja, da najhitrejša komercialno dosegljiva vezja dosegajo komaj mejo 300 MHz."

Po povratku v Ljubljano je prof. Furlan napisal prvi knjigi pri nas s področja mikroelektronskih tehnologij in elektronike integriranih vezij. Nato je do sredine sedemdesetih let intenzivno deloval pri raziskovalnem in pedagoškem delu v Laboratoriju za mikroelektroniko na Fakulteti za elektrotehniko UL, pri čemer so bile za uspešno delo izredno koristne njegove bogate izkušnje, pridobljene v Ameriki.

Profesor Furlan pa ni bil samo izredno prodoren na raziskovalnem in strokovnem področju. Vseskozi je bil tudi skrben pedagog in odličen predavatelj ter vsestransko aktiven, angažiran in predan.

Leta 1977, ob izvolitvi v rednega profesorja, je strokovna komisija zapisala: "Kandidat je svojo družbeno aktivnost izpričal z delom v mnogih delovnih telesi: predstojnik oddelka, predstojnik katedre, predsednik sindikalnega odbora, 5 let poslanec Kulturno prosvetnega zbora Skupščine SRS, član sveta VDO FE, član drugih odborov in komisij. S posebno zavzetostjo je vodil delo Sistematizacijske komisije kot njen predsednik."

Profesor Furlan je aktivno sodeloval tudi izven univerze, predvsem v stroki. Bil je med pobudniki in od samega začetka sodeloval pri snovanju jugoslovanske sekcije Mednarodne elektrotehniške organizacije IEEE. Od njene ustanovitve leta 1972 je deloval najprej kot tajnik, nato pa kot predsednik jugoslovanske sekcije IEEE. Mnogo let je bila Jugoslovanska sekcija IEEE edina iz skupine vzhodnoevropskih držav, kar je – v tistih precej hermetičnih časih – med drugim omogočilo nemoten dostop do vrhunskih IEEE publikacij ter do raznih drugih članskih ugodnosti.

V drugi polovici 70-tih let se je raziskovalno delo prof. Furlana usmerilo v študij osnovnih pojavov, lastnosti in aplikacij polprevodniških elementov ter tedaj še razmeroma novih sončnih celic iz monokristalnega in amorfnega silicija. Ustanovil in mnogo let je uspešno vodil Laboratorij za nelinearne elemente, ki se je kasneje preimenoval v Laboratorij za elektronske elemente. Iz slednjega sta zaradi povečanega obsega raziskovalnega dela kasneje izšla dva uspešna laboratorija na UL FE, laboratorij LMSE (Laboratorij za mikrosenzorske strukture in elektroniko) in LPVO (Laboratorij za fotovoltaike in optoelektroniko).

Svoje bogate izkušnje je prof. Furlan prispeval v mnogih uspešnih raziskovalnih projektih, tako v povezavi z domačimi in mednarodnimi raziskovalnimi institucijami kot v sodelovanju z industrijo. S podjetji je bilo najtesnejše in najplodnejše sodelovanje z Iskro Tovarno polprevodnikov v Trbovljah.

Vsa leta aktivnega delovanja na Fakulteti za elektrotehniko je prof. Furlan tudi zelo zavzeto predaval mnoge predmete in napisal večje število izvrstnih knjižnih del in učbenikov s področja elektronike, polprevodniških in drugih elektronskih elementov ter integriranih vezij. Tako univerzitetnih kot srednješolskih učbenikov. Na Fakulteti za elektrotehniko je predaval vrsto dodiplomskih in podiplomskih predmetov, od osnov elektronike do mikroelektronike, polprevodniških elementov in pasivnih elementov, optoelektronike, sončnih celic, teorije polprevodnikov ter teorije šumov. Predaval je tudi predmete dodiplomskega in podiplomskega študija na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, UL in tudi izvajal predavanja za izredne študente v centrih Ljubljana, Kranj in Novo mesto.

Prof. Furlan je vsa leta zelo prizadevno, kot izjemno pozoren mentor, vodil tudi raziskovalno delo študentov in mladih raziskovalcev podiplomskega in doktorskega študija. Njegovi študentje in diplomanti so postali vodilni razvojniki, direktorji, znanstveni svetniki in celo redni profesorji. Rezultati opravljenih raziskav prof. Furlana, v sodelovanju z mlajšimi sodelavci in podiplomskimi študenti, so bili objavljeni v mnogih skupnih publikacijah, ki so izšle v številnih znanstvenih revijah in na specializiranih konferencah doma in v tujini, o čemer priča tudi njegova izredno bogata bibliografija. Prof. Furlan je imel tudi vrsto vabljenih predavanj na uglednih univerzah v Evropi in v ZDA.

Na Fakulteti za elektrotehniko je med drugim vrsto let vodil Oddelek za elektroniko in bil dolga leta predstojnik Katedre za elektroniko. Bil je tudi prodekan za pedagoško delo in predsednik komisije za podiplomski študij.

Prof. Furlan je bil tudi izumitelj. Prijavil je več izumov in patentov. S področja polprevodniških struktur in integriranih vezij je npr. prijavil novo vezje polnega seštevvalnika, integrirano MOS izvedbo elektronskega časovnega izbiralnika in novo strukturo modificirane CHIL celice. S področja fotovoltaike je najbolj znan ameriški patent o paralelni tandemski sončni celici iz amorfne silicija.

Za svoje bogato pionirsko, znanstveno-raziskovalno in pedagoško delovanje na področju polprevodnikov, mikroelektronike in fotovoltaike je prof. Furlan prejel številna priznanja in nagrade. Med prvimi učitelji na FE UL je prejel Vidmarjevo nagrado za odlično pedagoško delo.

Za raziskave optoelektronskih lastnosti monokristalnega in amorfne silicija je s sodelavci leta 1989 prejel nagrado Sklada Borisa Kidriča.

Za pomembne dosežke v IEEE organizaciji je prejel IEEE Third Millenium Medal.

Leta 1990 je za posebne zasluge in uspehe pri delu prejel Red dela z zlatim vencem.

Leta 2000 mu je Univerza v Ljubljani podelila naziv zaslužnega profesorja Univerze v Ljubljani.



**Slika:** Podelitev nagrade Sklada Borisa Kidriča 1989

Prof. Furlan je kljub formalni upokojitvi konec leta 1999 ostal zelo aktiven in nadaljeval z iskanjem odgovorov na nova, nerešena vprašanja na področju polprevodniških elementov in fotovoltaike. V sodelovanju z mlajšimi raziskovalci je z navdušujočo energijo, zavzetostjo in pronicljivostjo razčlenjeval in pojasnjeval nove pojave na omenjenih področjih, kar je vodilo do novih spoznanj ter do znanstvenih objav v mednarodnih publikacijah tudi 15 let po upokojitvi.

Celotna fakulteta, še posebej pa Katedra za elektroniko je z globoko pretresenostjo prejela žalostno vest, da je srce pionirja slovenske elektronike in vsem nam predragega zaslužnega profesorja Jožeta Furlana zastalo.

V imenu Katedre za elektroniko izrekava globoko sožalje gospe Dragici Furlan in otrokom Ariani, Alenki, Tamari, Andreju, doktorici Tjaši Furlan in vnukom ter vsem žalujočim.

Prof. dr. Jože Furlan je pustil neizbrisljive sledi in z velikim spoštovanjem ga bomo ohranili v trajno lepem spominu. Slava mu!

Prof. dr. Slavko Amon  
Prof. dr. Marko Topič





# *Boards of MIDE M Society | Organi društva MIDE M*

## *MIDE M Executive Board | Izvršilni odbor MIDE M*

### **President of the MIDE M Society | Predsednik društva MIDE M**

Prof. Dr. Marko Topič, University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engineering, Slovenia

### **Vice-presidents | Podpredsednika**

Prof. Dr. Barbara Malič, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

Dr. Iztok Šorli, MIKROIKS, d. o. o., Ljubljana, Slovenija

### **Secretary | Tajnik**

Olga Zakrajšek, UL, Faculty of Electrical Engineering, Ljubljana, Slovenija

### **MIDE M Executive Board Members | Člani izvršilnega odbora MIDE M**

Darko Belavič, HIPOT-RR d.o.o., Otočec, Slovenia

Dr. Slavko Bernik, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

Dr. Miha Čekada, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

Prof. DDr. Denis Đonlagič, UM, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Maribor, Slovenia

Prof. Dr. Leszek J. Golonka, Technical University Wroclaw, Poland

Dr. Vera Gradišnik, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, Croatia

Leopold Knez, Iskra TELA d.d., Ljubljana, Slovenia

mag. Mitja Koprivšek, ETI Elektroelementi, Izlake, Slovenia

Prof. Dr. Miran Mozetič, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

Prof. Dr. Janez Trontelj, UL, Faculty of Electrical Engineering, Ljubljana, Slovenia

Dr. Danilo Vrtačnik, UL, Faculty of Electrical Engineering, Slovenia

## *Supervisory Board | Nadzorni odbor*

Prof. Dr. Franc Smole, UL, Faculty of Electrical Engineering, Ljubljana, Slovenia

Prof. Dr. Drago Strle, UL, Faculty of Electrical Engineering, Ljubljana, Slovenia

Igor Pompe, Ljubljana, Slovenia

## *Court of honour | Častno razsodišče*

Darko Belavič, Slovenia

Dr. Marko Hrovat, Slovenia

Dr. Miloš Komac, Slovenia

**Informacije MIDE**

*Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials*

ISSN 0352-9045

*Publisher / Založnik:*

*MIDEM Society / Društvo MIDE*

*Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials, Ljubljana, Slovenia*

*Strokovno društvo za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale, Ljubljana, Slovenija*

**[www.midem-drustvo.si](http://www.midem-drustvo.si)**