

IEEE MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES SOCIETY

The Microwave Theory and Techniques Society is an organization, within the framework of the IEEE, of members with principal professional interests in the field of microwave theory and techniques. All members of the IEEE are eligible for membership in the Society and will receive this TRANSACTIONS upon payment of the annual Society membership fee of \$8.00 plus an annual subscription fee of \$15.00. For information on joining, write to the IEEE at the address below. *Member copies of Transactions/Journals are for personal use only.*

ADMINISTRATIVE COMMITTEE

J. T. BARR IV, <i>President</i>		M. J. SCHINDLER, <i>Vice President</i>		D. LOVELACE, <i>Secretary</i>		J. S. KENNEY, <i>Treasurer</i>	
J. T. BARR IV	K. C. GUPTA	K. HONJO	J. MODELSKI	J. M. POND	R. SORRENTINO	K. VARIAN	
M. P. DE LISIO	M. HARRIS	L. KATEHI	V. J. NAIR	M. J. SCHINDLER	G. THOREN	S. WETENKAMP	
S. M. EL-GHAZALY	J. HAUSNER	J. S. KENNEY	B. PERLMAN	W. SHIROMA	R. J. TREW		

Honorary Life Members

S. B. COHN	A. A. OLINER	K. TOMIYASU
T. ITOH	T. S. SAAD	L. YOUNG

Distinguished Lecturers

F. ALI	H. J. DE LOS SANTOS	C. SCHAE
P. ASBECK	A. KATZ	A. J. SEEDS
R. COMPTON	T. LEE	R. WEIGEL
	G. REBEIZ	

Past Presidents

C. M. JACKSON (2001)
R. W. SUDBURY (2000)
E. A. REZEK (1999)

MTT-S Chapter Chairs

Albuquerque: C. COURTNEY	Foothill: C. ANTONIAK	Nizhny Novgorod: Y. I. BELOV	Southeastern Michigan: L. M. ANNEBERG
Atlanta: J. FORDHAM	France: D. PASQUET	North Jersey: K. DIXIT	Spain: L. DE-HARO
Austria: R. WEIGEL	Germany: W. HEINRICH	Novosibirsk: B. KAPILEVICH	Springfield: S. C. REISING
Baltimore: H. N. FUDEM	Greece: I. XANTHAKIS	Oregon: R. HAMILTON, D. FERWALT	Sweden: J. JOHANSSON
Beijing: Y.-R. ZHONG	Hong Kong: K. M. LUK	Orlando: P. WAHID	Switzerland: R. VAHLDIECK
Benelux: B. NAUWELAERS	Houston: J. T. WILLIAMS	Ottawa: D. H. M. REEKIE	Syracuse: E. ARVAS
Buffalo: M. R. GILLETTE	Hungary: T. BERCELI	Philadelphia: J. LAW	Taipei: D.-C. CHANG
Bulgaria: F. FILIPOV	India: K. S. CHARI	Phoenix: D. VASILESKA	Thailand: N. YOOTHANOM
Central Iowa/Cedar Rapids: D. JOHNSON	Israel: A. MADJAR	Poland: J. K. PIOTROWSKI	Tomsok: O. V. STOUKATCH
Central New England/Boston: J. D. KENNEDY	Japan: K. MIZUNO	Portugal: J. COSTA FREIRE	Toronto: R. ABHARI
Central & South Italy: P. BERNARDI	Kitchener-Waterloo: R. R. MANSOUR	Princeton/Central Jersey: W. R. CURTICE, A. KATZ	Tucson: J. PAPAPOLYMEROU
Chicago: H. VALENZUELA	Korea: S.-W. YUN	Rio de Janeiro/Brazil: J. R. BERGMANN	Turkey: L. GUREL
Cleveland: M. TABIB-AZAR	Lithuania: B. LEVITAS	Saint Louis: J. BORNHOLDT	Twin Cities: M. J. GAWRONSKI
College Station: R. D. NEVELS	Long Island/New York: M. HANCZOR, M. KNOX	Saint Petersburg: S. V. ZAGRIADSKI	Ukraine: P. MOLCHANOV
Columbus: S. ELLINGSON	Los Angeles: J. A. VERKADE	San Diego: U. DHALIWAL	Ukraine East: Y. M. KULESHOV
Croatia: J. BARTOLIC	Milwaukee: G. HANSON	San Fernando Valley: J. WEILER	Ukraine Kiev: Y. POPLAVKO
Czechoslovakia: P. BEZOUSEK	Minsk Belarus: S. A. MALYSHEV	Santa Clara Valley/San Francisco: S. BROZOVICH	Ukraine Rep. of Georgia: R. S. ZARIDZE
Dallas: P. WINSON	Mohawk Valley: E. P. RATAZZI	Saratov/Penza: M. V. DAVIDOVICH	United Kingdom/Ireland: A. REZAZADEH
Dayton: A. TERZOULI, JR.	Montreal: K. WU	Schenectady: R. J. GUTMANN	Venezuela: A. N. BIANCHI
Denver-Boulder: C. L. HALLOWAY	Moscow: V. A. KALOSHIN	Seattle: T. RASCHKO	Victorian: R. B. WATERHOUSE
Egypt: I. A. SALEM	Nanjing: W. X. ZHANG	Singapore: C. S. TECK	Virginia Mountain: D. MILLER
Finland: J. J. TUOVINEN	New Hampshire: T. L. PERAGINE	South Africa: J. JOUBERT	Washington DC/Northern Virginia: H. S. NEWMAN
Florida West Coast: E. W. GRIMES	New Jersey Coast: C. ALVAREZ	South Australia: H. J. HANSEN	Winnipeg: L. SHAFAI
	New South Wales: K. P. ESSELLE	South Brazil: H. FIGUEROA	Yugoslavia: A. MARINCIC
	North Italy: C. U. NALDI		

IEEE TRANSACTIONS® ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES

Editor

DAVID RUTLEDGE
California Inst. Technol.
Pasadena, CA 91125-9300 USA
Phone: +1 626 395 4806
Fax: +1 626 395 2137
email: rutledge@caltech.edu

Associate Editors

WOLFGANG MENZEL Univ. of Ulm Germany email: wolfgang.menzel@ieee.org	ANTTI RAISANEN Helsinki Univ. of Technol. Finland email: antti@raisanen@hut.fi	GABRIEL REBEIZ Univ. Michigan USA email: rebeiz@eecs.umich.edu	BUMMAN KIM Pohang Univ. Sci. Technol. Korea email: bmkim@postech.ac.kr
---	---	---	---

THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, INC.

Officers

RAYMOND D. FINDLAY, <i>President</i>	JAMES M. TIEN, <i>Vice President, Publications, Products & Services</i>
MICHAEL S. ADLER, <i>President-Elect</i>	W. CLEON ANDERSON, <i>Vice President, Regional Activities</i>
HUGO M. FERNANDEZ VERSTEGEN, <i>Secretary</i>	BEN C. JOHNSON, <i>President, Standards Association</i>
DALE C. CASTON, <i>Treasurer</i>	MICHAEL R. LIGHTNER, <i>Vice President, Technical Activities</i>
JOEL B. SNYDER, <i>Past President</i>	LEEARL A. BRYANT, <i>President, IEEE USA</i>
LYLE D. FEISEL, <i>Vice President, Educational Activities</i>	

PETER W. STAECKER, *Director, Division IV — Electromagnetics and Radiation*

Executive Staff

DANIEL J. SENESE, <i>Executive Director</i>	RICHARD D. SCHWARTZ, <i>Business Administration</i>
DONALD CURTIS, <i>Human Resources</i>	W. THOMAS SUTTLE, <i>Professional Activities</i>
ANTHONY DURNIAK, <i>Publications</i>	MARY WARD-CALLAN, <i>Technical Activities</i>
JUDITH GORMAN, <i>Standards Activities</i>	JOHN WITSKEN, <i>Information Technology</i>
CECELIA JANKOWSKI, <i>Regional Activities</i>	
BARBARA STOLER, <i>Educational Activities</i>	

IEEE Periodicals

Transactions/Journals Department

Staff Director: FRAN ZAPPULLA
Editorial Director: DAWN M. MELLEY
Production Director: ROBERT SMREK
Transactions Manager: GAIL S. FERENC
Managing Editor: MONA MITTRA
Senior Editor: CHRISTINA M. REZES

IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES (ISSN 0018-9480) is published monthly by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Responsibility for the contents rests upon the authors and not upon the IEEE, the Society/Council, or its members. **IEEE Corporate Office:** 3 Park Avenue, 17th Floor, New York, NY 10016-5997. **IEEE Operations Center:** 445 Hoes Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331. **NJ Telephone:** +1 732 981 0060. **Price/Publication Information:** Individual copies: IEEE Members \$10.00 (first copy only), nonmember \$20.00 per copy. (Note: Add \$4.00 postage and handling charge to any order from \$1.00 to \$50.00, including prepaid orders.) Member and nonmember subscription prices available upon request. Available in microfiche and microfilm. **Copyright and Reprint Permissions:** Abstracting is permitted with credit to the source. Libraries are permitted to photocopy for private use of patrons, provided the per-copy fee indicated in the code at the bottom of the first page is paid through the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923. For all other copying, reprint, or republication permission, write to Copyrights and Permissions Department, IEEE Publications Administration, 445 Hoes Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331. Copyright © 2002 by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. All rights reserved. Periodicals Postage Paid at New York, NY and at additional mailing offices. **Postmaster:** Send address changes to IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, IEEE, 445 Hoes Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331. GST Registration No. 125634188. Printed in U.S.A. Cover Photo: Night-time view of the Seattle skyline with the Space Needle; enhanced grain; design by Judi Glidden, jg designs, Loveland OH.

EDITORIAL BOARD

Editor: D. RUTLEDGE

Associate Editors: W. MENZEL, A. RAISANEN, G. REBEIZ, B. KIM

A. Abbaspour	K. Chang	R. Garver	D. Jaeger	K. Lonngrén	S. Ortiz	K. Sawaya	N. Uzunoglu
M. Abouzahra	H. Chappell	C. Gee	S. Jaganathan	U. Lott	K. Osafune	J. Schellenberg	W. van der Voort
A. Abramowicz	B. Chappell	B. Geller	N. Jain	D. Lovelace	J. Osepchuk	M. Schetzen	G. Vandenbosch
H. Ahn	W. Chappell	G. Gentili	G. James	D. Lu	C. Pan	B. Schiek	D. Vanhoenacker
M. Aidam	K. Chatterjee	E. Gerecht	M. Janezic	K. Lu	S. Pan	M. Schlechtweg	L. Vegni
M. Aikawa	G. Chattopadhyay	F. German	S. Jeng	S. Lu	Y. Pan	E. Schloemann	I. Vendik
C. Aitchison	S. Chaudhuri	S. Gevorgian	M. Jensen	S. Lucyszyn	J. Papapolymerou	L. Schmidt	S. Verdeyme
I. Aksun	C. Chen	R. Geyer	T. Jerse	N. Luhmann	S. Parisi	D. Schmitt	V. Veremey
B. Albinsson	F. Chen	G. Ghione	W. Joines	K. Luk	H. Park	J. Schneider	S. Verghese
F. Alessandri	J. Chen	D. Ghodgaonkar	S. Jones	S. Luo	W. Park	D. Schreurs	J. Verspecht
W. Ali-Ahmad	W. Chen	A. Gibson	J. Joubert	J. Luy	T. Parker	R. Schuhmann	C. Vittoria
F. Alimenti	Y. Chen	R. Gillard	J. Juntunen	M. Jacob	R. Parry	V. Schulz	R. Voelker
P. Alinikula	Z. Chen	B. Gimeno	P. Kabos	Z. Ma	D. Pasalic	H. Schumacher	J. Volakis
B. Allen	M. Cheng	V. Giordano	M. Kahrs	P. Maagt	C. Paul	J. Schutt-Aine	P. Waldow
A. Alphones	C. Chi	M. Goano	D. Kajfez	S. Maas	A. Pavio	F. Schwering	T. Walid
A. Altintas	Y. Chiang	M. Goldfarb	B. Kalinikos	M. Madhian	D. Pavlidis	H. Serizawa	C. Wang
A. Alvarez	Y. Chow	P. Goldsmith	E. Kamenetskii	A. Madjar	J. Pearce	R. Settaluri	S. Wang
S. Amari	C. Christopoulos	A. Gopinath	H. Kamitsuna	S. Mageur	W. Pearson	J. Shafii	W. Wang
Y. Antar	A. Cidronali	R. Gordon	S. Kanamalur	S. Mahmoud	J. Pedro	O. Shanaa	Y. Wang
M. Anwar	C. Clark	C. Gragnani	P. Kangaslahti	M. Majewski	J. Pereda	G. Shaw	K. Warnick
I. Aoki	J. Cloete	L. Gragnani	R. Karumudi	M. Makimoto	O. Pereira	D. Sheen	D. Webb
R. Aparicio	E. Cohen	B. Grant	T. Kashiwa	J. Malherbe	L. Perregriani	X. Sheng	J. Webb
J. Archer	L. Cohen	G. Grau	R. Kaul	D. Malocha	M. Petelin	T. Shibata	K. Webb
P. Arcioni	B. Collin	I. Gresham	M. Kazimierzczuk	L. Maloratsky	W. Petersen	H. Shigesawa	R. Webster
F. Arndt	O. Collins	D. Griffith	R. Keam	V. Manasson	A. Peterson	Y. Shih	S. Wedge
U. Arz	F. Colomb	C. Grischowsky	S. Kee	C. Mann	H. Pickett	D. Shin	C. Wei
Y. Asano	B. Colpitts	C. Grossman	S. Kenney	R. Mansour	B. Piernas	T. Shiozawa	L. Wei
A. Atia	H. Contopanagos	T. Grzegorzczak	A. Kerr	R. Marques	P. Pieters	M. Shirokov	D. Weide
N. Audeh	E. Costamagna	K. Gundlach	O. Kesler	S. Marsh	M. Pirola	W. Shiroma	B. Weikle
I. Awai	A. Costanzo	K. Gupta	A. Khanna	D. Masse	W. Platte	D. Sievenpiper	C. Weil
Y. Ayasli	C. Courtney	R. Gupta	A. Khebir	M. Mastrapasqua	C. Pobanz	D. Sigmon	A. Weilly
A. Aydin	J. Cowles	F. Gustrau	J. Kiang	A. Mataka	R. Pollard	K. Silvonon	S. Weinreb
M. Ayza	Y. Coz	R. Gutmann	I. Kim	A. Matsushima	Z. Popovic	W. Simbuerger	J. Weiss
W. Baechtold	H. Cronson	B. Guy	R. King	G. Matthaei	N. Pospieszalski	Z. Skvor	C. Wenzel
I. Bahl	D. Cros	W. Gwarek	T. Kitamura	P. Mayer	V. Postoyalko	G. Smith	R. Wenzel
S. Bajpai	R. Culbertson	S. Hagness	T. Kitazawa	J. Mazur	N. Potheary	P. Smith	J. Whitaker
J. Baker-Jarvis	W. Curtice	D. Halchin	M. Kivikoski	G. Mazzarella	S. Prasad	R. Smith	W. Wiesbeck
R. Bansal	F. Danneville	P. Hall	R. Knochen	D. McDermott	D. Prather	C. Snowden	G. Wilkins
D. Barataud	A. Daryoush	D. Ham	L. Knockaert	D. McPherson	R. Pregla	R. Snyder	D. Williams
F. Bardati	B. Das	J. Han	P. Koert	F. Medina	D. Prescott	H. Sobol	A. Williamson
I. Bardi	B. Davis	G. Hanson	T. Koike	K. Mei	S. Pritchett	N. Sokal	J. Wiltse
S. Barker	L. Davis	L. Hao	T. Kolding	H. Meier	Y. Qian	M. Solal	P. Winson
F. Barnes	B. Deal	H. Hasegawa	N. Koliass	F. Mesa	R. Quere	M. Solomon	D. Wittwer
B. Bates	A. Dec	M. Hashimoto	J. Komiak	A. Mickelson	V. Radisic	R. Sorrentino	K. Wong
B. Bayraktaroglu	J. Deen	T. Hashimoto	A. Komiayama	E. Miller	M. Raffetto	D. Stalculescu	T. Wong
C. Beaulieu	J. Dees	G. Hau	G. Kompa	B. Minasian	R. Raghuram	J. Stake	G. Woods
K. Beilenhoff	J. DeFalco	H. Hayashi	B. Kormanyos	D. Mirshekar	C. Raiton	J. Staudinger	G. Wu
B. Becker	M. DeLisio	L. Hayden	M. Koshihira	R. Mishra	O. Ramahi	P. Stauffer	K. Wu
T. Berceci	P. deMaagt	I. Hecht	J. Kot	A. Mitchell	S. Raman	M. Steer	G. Xiao
P. Berg	E. Denlinger	E. Hegazi	A. Kroening	T. Miura	J. Randa	J. Stenarson	H. Xin
M. Berroth	R. Deroo	W. Heinrich	C. Krowne	M. Miyazaki	C. Rappaport	M. Stern	Y. Xu
G. Bertin	M. DeVincentis	H. Hejase	C. Krowne	T. Miyoshi	J. Raskin	S. Stitzer	H. Yabe
A. Beyer	D. DeZutter	P. Herczfeld	J. Krupka	K. Mizuno	C. Rauscher	B. Strasser	A. Yakovlev
K. Bhasin	R. Diaz	M. Herman	H. Kubo	S. Mizushima	J. Rayas	M. Stubbs	D. Yang
P. Bhattacharya	L. DiDomenico	J. Herren	S. Kudzusz	M. Mohammadi	J. Rebel	M. Stuchly	H. Yang
M. Bialkowski	A. Djordjevic	K. Herrick	B. Kuhn	M. Mongiardo	R. Reid	D. Sullivan	Y. Yang
E. Biebl	J. Doane	R. Hicks	W. Kuhn	C. Moore	J. Reinert	B. Szendrenyi	H. Yao
F. Bilotti	J. Dobrowolski	M. Hieda	M. Kumar	J. Kuno	R. Remis	T. Shen	K. Yashiro
T. Bird	S. Duffy	A. Higgins	J. Kuo	E. Moros	K. Remley	W. Tabbara	K. Yeo
D. Blackham	L. Dussopt	D. Hill	Y. Kwon	A. Mortazawi	S. Rengarajan	K. Tan	S. Yegorov
P. Blondy	A. Duzdar	T. Hirono	S. Kyriazidou	A. Moulthrop	A. Reynoso	K. Tanaka	E. Yoon
R. Blundell	S. Dvorak	M. Hirvonen	E. Laermans	M. Mrozowski	N. Ribiere	W. Tang	B. York
D. Bodnar	T. Eibert	M. Hoffmann	I. Lager	Y. Lai	G. Riblet	R. Tascione	L. Zhu
F. Boegelsack	H. Eisele	J. Hong	A. Lakhtakia	G. Lange	N. Mysoor	J. Tauritz	Y. Zhu
R. Boix	G. Eleftheriades	W. Hong	K. Honjo	U. Langmann	K. Naishadham	F. Teixeira	J. Zehntner
E. Borie	F. Ellinger	T. Horng	D. Hornbuckle	G. Lapin	A. Nakayama	M. Tentzeris	Q. Zhang
J. Bornemann	T. Ellis	B. Housmand	T. Horng	S. Lardizabal	S. Nam	K. Thakur	R. Zhang
H. Boss	N. Enggheta	J. Howard	J. Howard	C. Larose	T. Namiki	H. Thal	X. Zhang
C. Bostian	N. Erickson	R. Hsia	D. Huebner	L. Larson	B. Nauwelaers	W. Thiel	L. Zhou
S. Bousnina	L. Escotte	D. Iversen	J. Hunter	J. Laskar	J. Navarro	B. Thullen	P. Yu
V. Bratman	J. Everard	C. Hung	I. Huynen	E. Laurent	D. Neikirk	M. Thumm	K. Zaki
W. Bridges	C. Fager	Y. Huiwen	J. Hwang	J. Laurin	Y. Rong	W. Tinga	J. Zamanillo
T. Brookes	D. Fang	C. Ito	K. Itoh	J. Lee	D. Root	G. Tkachenko	J. Zapata
A. Brown	J. Fang	T. Itoh	F. Frezza	R. Lee	L. Roselli	M. Tofighi	J. Zehntner
E. Brown	A. Fathy	M. Feldman	I. Frigyes	S. Lehmann	U. Rosenberg	B. Toland	Q. Zhang
D. Budimir	M. Feldman	A. Ferrero	J. Fujii	R. Leoni	E. Rothwell	K. Tomiyasu	R. Zhang
T. Budka	A. Fernandez	I. Fianovsky	G. Gabriel	R. Levy	J. Roumeliotis	E. Tong	X. Zhang
C. Buntschuh	C. Bostian	N. Ida	G. Figuerola	G. Li	T. Rozzi	A. Toscano	L. Zhu
J. Butler	L. Escotte	T. Idehara	J. Fikioris	L. Li	A. Rudakova	M. Toupikov	Y. Zhu
J. Cabanillas	J. Everard	O. Ishida	I. Filanovsky	Y. Li	M. Rudolph	V. Trenkic	H. Zirath
M. Calcaterra	C. Fager	K. Ishizaki	R. Fischer	L. Lighthart	P. Russer	B. Trew	S. Zouhdi
C. Caloz	D. Fang	K. Ito	C. Campbell	K. Foster	A. Rydberg	C. Trueman	J. Zurcher
E. Camargo	J. Fang	K. Itoh	R. Campbell	G. Franceschetti	C. Saavedra	J. Tsalamengas	
R. Cameron	A. Fathy	T. Itoh	M. Campovecchio	F. Frezza	L. Sadovnik	M. Tsui	
C. Campbell	M. Feldman	C. Ling	A. Cangellaris	I. Frigyes	A. Safwat	M. Tsutsumi	
R. Carter	J. Gallop	H. Ling	F. Canning	D. Iversen	D. Novak	J. Tuovinen	
R. Caverly	D. Jablonski	T. Ohira	S. Caorsi	G. Jackson	J. Obregon	C. Tzuang	
H. Chaloupka	D. Linkhart	Y. Okamura	G. Garçon	D. Jackson	A. Sanagavarapu	K. Uchida	
C. Chan	V. Litvinov	A. Oki	R. Carter	R. Jackson	A. Sangster	T. Ueda	
F. Chang	G. Liu	M. Okoniewski	M. Garcia	A. Jacob	H. Santos	J. Uher	
	Q. Liu	A. Oliner	C. Chan	M. Jacob	P. Savi	A. Uhlir	
	R. Loison	A. Omar	F. Chang	H. Jacobsson	S. Savov	T. Uno	
		M. Omiya			S. Sawa	T. Uwano	