

Avantura zvana mikrotalasi*

**Harold Sobol, laureat Godišnje nagrade za životno delo koju dodeljuje
IEEE/MTT-S**

Zanimljivo je kako čovek, kada se približi penzionisanju, razmišlja o ključnim događajima i odlukama koje su odredile tok njegove životne karijere i seti se najvažnijih rezultata. Razume se, radije se prisećamo pozitivnih detalja nego negativnih iskustava. U potpunosti sam uživao u svojoj, više od 40 godina dugoj karijeri koju sam proveo baveći se mikrotalasnom tehnikom i imao sam sreće da skoro celokupnu svoju karijeru provedem na samom vrhu talasa novih tehnologija. Zahvalan sam svojim poslodavcima: Univerzitetu Mičigen, RCA Laboratories, Rockwell International i Univerzitetu Teksas u Arlingtonu na podršci koju su mi pružali tokom karijere.

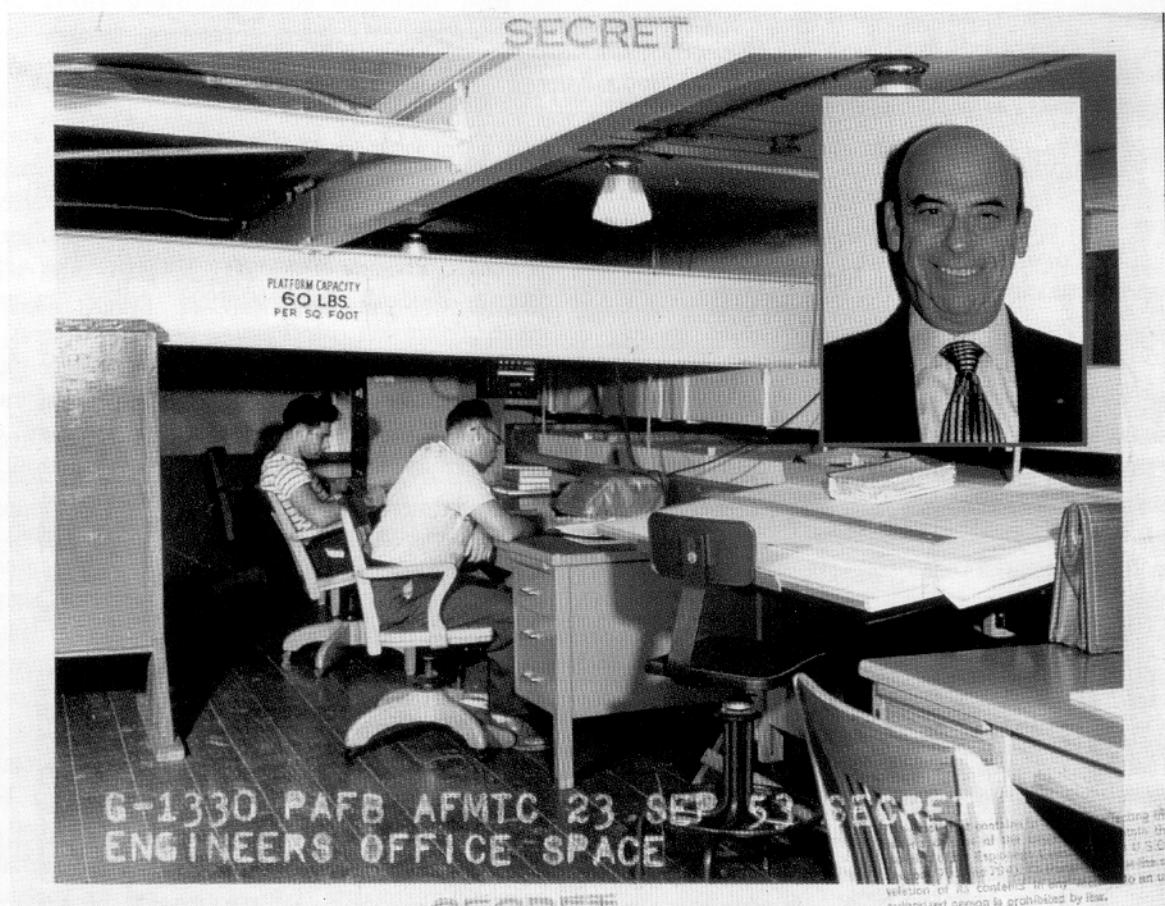
Kao student Gradskog koledža u Njujorku 1951. godine loše sam prošao na kursu teorije polja i čvrsto sam odlučio da u svojoj karijeri izbegavam ovu oblast. No, uspeло mi je da se upravo time bavim na svom prvom poslu na Univerzitetu Mičigen, u laboratoriji Willow Run. Moj zadatak bio je da programiram putanje presretanja za projektil BOMARK na analognom računaru pošto naš digitalni kompjuter, jedan od prvih te vrste u svetu, MIDAC, nije bio pouzdan u uslovima visoke vlažnosti kakvi su vladali u vazduhoplovnoj bazi Patrik na Floridi. Takođe je trebalo da projektujem i napravim vakuumsku cev - A/D i D/A par - da bi se omogućio protok podataka između računara i lansirne rampe, kao i komunikacijskog centra u Kejp Kaneveralu. Slika 1 predstavlja autora na poslu u bazi na Floridi. Može se videti da je fotografija označena kao vojna tajna i predstavlja sećanje na Makartijevu eru ranih pedesetih.

Sreća me je napustila na sledećem radnom zadatku. Trebalo je da projektujem mrežu talasovoda, napojni horn i rotirajući talasovodni kratki spoj koji je trebalo da posluži kao simulator površinske mete za ispitivanje zemaljskih osmatračkih radara. Srećom, bio sam u prilici da pohađam kurseve iz teorije polja i projektovanja talasovoda kod profesora Stivena Atvuda i Lu Holanda na Univerzitetu Mičigen. Ovi kursevi, kao i odlična serija knjiga u izdanju Rad Lab-a ne samo da su mi pomogli da uspešno realizujem projektni zadatak, već su me i okrenuli mikrotalasnoj tehničkoj oblasti kojom će se baviti do kraja svoje karijere. Sećam se da sam, prilikom izvođenja proba na terenu 1954. godine, bio zapanjen da uz pomoć gorepomenute aparature mogu da imam uvida u kompleksnu statističku prirodu kako sporog, tako i brzog fedinga signala za zemaljske mete, kao i u veoma široku lepezu varijanti koje svaki tip fedinga ima. Neretko se dešavalo da se pomerimo samo za jednu stopu, a da se nivo signala promeni za 30dB.

Nije bilo moguće precizno odrediti nivo signala na mestu mete. Ponovo sam našao na ovaj problem 40 godina kasnije kada sam se bavio prostiranjem kod bežičnih telekomunikacionih sistema. Moj student Yuqiang (Ričard) Tang je 1993. godine, za potrebe svojih doktorskih istraživanja, precizno izmerio polje, što mu je omogućilo da nađe odgovarajuće funkcije raspodele i definiše statistiku površinskog prostiranja u zatvorenim prostorijama. Naravno, i drugi su tokom godina izučavali statistiku prostiranja i postavili razne empirijske izraze koji karakterišu polje.

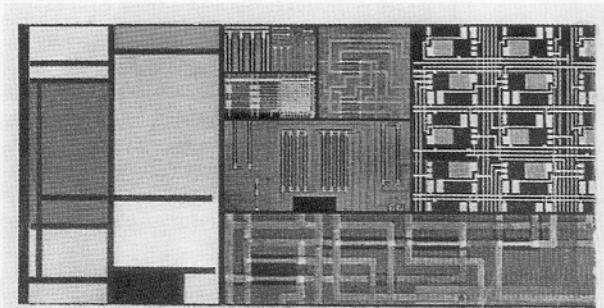
Moj rad na doktorkoj tezi tokom kasnih 50-ih kod profesora Džoa Roua i Bila Doua na Univerzitetu Mičigen bio je vezan za prenos modulisanih signala u sklopovima sa elektronskim snopom. Iskustvo koje sam stekao u Laboratoriji za fiziku elektrona Univerziteta Mičigen proširilo je moje interesovanje za mikrotalase, koje je sada uključivalo i fiziku uređaja, i dalo mi je priliku da steknem iskustvo u realizaciji mikrotalasnih cevi. U ovoj Laboratoriji upoznao sam Čenga Venu i Bernija Heršenova, koji su do danas ostali moji dobri prijatelji i kolege. Obojica su dobitnici Nagrade za primenu mikrotalasa, i to za svoj rad na koplanarnim talasovodima, odnosno mikrostrip cirkulatorima.

Nakon diplomiranja na Mičigenu, započeo sam svoju karijeru u industriji, i to u IBM-u, odnosno Istraživačkom centru T.J. Watson. Radio sam na uređajima sa brzim superprovodnim tankim filmom za novu generaciju brzih računara. 1960. godine silikonski uređaji su bili ograničeni na brzinu reda veličine mikrosekunde. Međutim, novi super-provodni sklop - kriotron - imao je mogućnost da brže preklapa („sviće”), i to za nekoliko redova veličine, ali je zahtevao rad na temperaturi tečnog helijuma. Moj zadatak u projektu je bio da uputim podatke velike brzine, sa mikrotalasne tačke gledišta, i da projektujem i testiram uređaje. I, zaista, uspelo nam je da demonstriramo preklapanje u nanosekundi. Ovaj projekat dao mi je mogućnost da naučim nešto više o mikrotalasnim strip provodnicima i tehnologiji tankog filma. Uspelo mi je da to savladam uprkos tome što su naši filmovi bili olovni i kalajni super-provodnici, a u to vreme nismo uživali prednost fotolitografije. Strukture smo definisali tako što smo koristili talog metalna na supstratima od stakla koji je ostajao posle isparavanja kroz metalnu masku u kontaktu sa supstratom. Vodovi su mašinski obrađivani u metalnoj maski. To je, u svakom slučaju, bio prapocetak jedne tehnologije koja je doživela svoju ekspanziju sledećih godina. U donjem desnom uglu slike 2 predstavljeno je jedno od mojih kriotronskih kola. Slika je inače



Slika 1. Vazduhoplovna baza Patrik, 1953; autor (desno) na poslu, angažovan na programu BOMARC. Fotografija je označena kao vojna tajna.

kolaž različitih kola proizvedenih u IBM-u i korišćena je u reklamne svrhe ranih šezdesetih.



Slika 2. Kolaz IBM kola iz 60-ih godina. Autorovo kriotonosko kolo je u donjem desnom ugлу.

Napustio sam IBM nakon što smo shvatili da ne možemo da priuštimo kupovinu kuće u okrugu Vestchester, država Njujork, a u okolini nije bilo univerziteta na kojem bi moja supruga mogla da se profesionalno angažuje. Preselili smo se u Princeton u Nju Džersiju, gde sam se zaposlio u Mikrotalasnoj laboratoriji firme RCA Laboratories.

Moje prvo radno mesto u RCA uključivalo je istraživanje cevi velike snage. Godine 1963., prisećajući se svog rada u IBM-u, predložio sam direktoru Leonu Nergardu program korišćenja planarnih kola sa tankim filmom za integriranje mikrotalasnih funkcija. Leon je prihvatio izazov i pokrenuli smo program na nivou koropracije za razvoj te tehnologije i podelili zadatke odeljenjima. Na slici 3. vide se autor i dr Nergard, dobitnik nagrade IEEE "Mervyn J. Kelly" za 1973. godinu. Zaključili smo da tehnologija monolitnih mikrotalasnih kola nema budućnosti i da treba da se



Slika 3. Autor (desno) i dr Leon Nergard, 1972. god.

koncentrišemo na hibridna kola. Usredstili smo se na dve tehnologije: mikrostrip kola sa tankim filmom i kola sa koncentrisanim parametrima. Mikrostrip je trebalo da služi kao primarni pristup kolu za frekvencije iznad S-opsega. Međutim, videli smo šansu za smanjenje veličine kola za S-opseg i niže, korišćenjem elemenata sa koncentrisanim parametrima koji su manji od talasne dužine. Male dimenzije otvarale su mogućnost za povećanje broja kola koja su mogla odjednom da se naprave na supstratu i na taj način da se smanje troškovi proizvodnje. Druga prednost malih dimenzija bila je ta da su kola mogla da se pakuju kao deo diskretnih UHF i mikrotalasnih snažnih tranzistora, što je bio osnovni proizvod RCA, da bi se povećao nivo impedanse do praktičnih vrednosti u intefisu, što je uprostilo kreiranje širokopojasnih kola. Slika 4 predstavlja pojačavač od 16W na 225-400 MHz, RCA 7702, a slika 5 je supstrat za pojačavač od 1W na 2GHz sa koncentrisanim parametrima.

Postojeći teoretski izrazi za osobine mikrostrip transmisionih vodova nisu bili adekvatni za potrebe projektovanja. Mi smo, međutim, zaključili da korišćenjem kvazi-TEM analize sa konformnim preslikavanjem, koju je objavio Harold Viler, možemo da dobijemo veoma dobru korelaciju između izmerene i izračunate impedanse i talasne dužine voda na učestanostima ispod X-banda. Marti Kolton, Džon Hjuz i ja objavili smo rezultate, a svoje kopije članaka smo podelili već u prvih nekoliko nedelja i morali smo da ih ponovo naručujemo nekoliko puta.

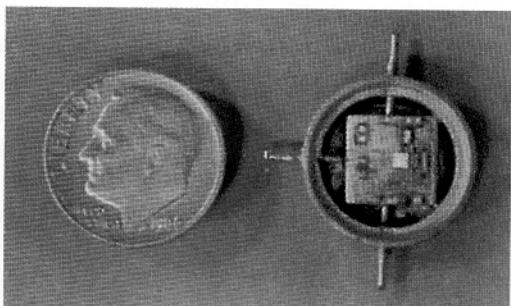
Našli smo da su teoretske vrednosti impedanse kalemova i kondenzatora, koje je 1943. godine objavio Terman u svom Priručniku za radio-inženjere, bile pogodne za manje korekcije u projektovanju naših kola sa koncentrisanim parametrima. Kada smo utvrdili osnovne mikrotalasne osobine, mogli smo da proučavamo široku lepezu parametara na supstratima, provodnicima i dielektricima, što nam je omogućilo da dobro ovladamo tehnologijom hibridnih mikrotalasnih integriranih kola i da ih primenimo u funkcionalnim kolima. Primenili smo tehnologiju koju smo razvili u istraživačkoj laboratoriji na proizvodima RCA i kroz publikacije i prezentacije naših grupa - Texas Instruments i Microwave Associates - uverili smo svet da su integrisana mikrotalasnna kola tehnologija budućnosti. Slika 6. predstavlja prijemnik sa tunelskom diodom za X-opseg.

Nakon dve godine provedene u Odeljenju poluprovodnika kompanije RCA, vratio sam se u RCA Laboratories da bi se posvetio GaAs FET-ovima, IMPATT i TRAPATT diodama. Lu Napoli, saradnik naše Laboratorije, dobio je Nagradu MTT-a za svoj rad na GaAs snažnim FET-ovima. Slika 7. prikazuje skup bivših članova RCA Mikrotalasne grupe u Albakirku 1992. godine.

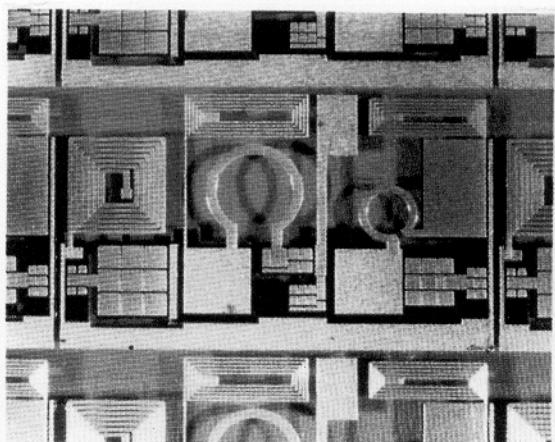
Godine 1973. dobio sam ponudu od kompanije Collins Radio iz Dalasa da vodim Inženjering za Odeljenje mikrotalasnih sistema. Collins je prošao kroz veoma teška vremena i bio je spašen infuzijom svežeg novca od strane kompanije Rockwell International. Kompanija je uspela da 1972. preokrene stvari, a oblast koja je bila najvažnija za rast bio je mikrotalasni radio kao nova vrsta telefonskog prenosnika. Bila mi je ponuđena pozicija vodećeg inženjera, odnosno vođenje tehnologije i razvoj proizvoda u ovoj oblasti sa velikim poslovnim potencijalom. Doneo sam veoma tešku odluku da napustim RCA i sve prijatelje koje sam stekao tokom godina i da se zaputim na jugozapad i prihvatom novi izazov - izazov koji mi je omogućavao da primenim tehnologiju na čijem sam razvoju godinama radio. Prešao sam u Collins 1973. godine, a kompaniju je u potpunosti preuzeo Rockwell 1974.

U Rockwell-u smo tokom sedamdesetih razvijali analogni heterodini radio velikog kapaciteta za novi prenosnik sa MCI, kao i predhodnik SPRINT-a (SPCC), i novu generaciju jeftinih remodulacionih radio-uređaja za potrebe industrije i video-trazišta. Tokom kasnih sedamdesetih, glavni razvoj analognog radija podrazumevao je radio sa 5400 govornih kanala sa jednim bočnim opsegom i radio za potrebe najvećeg mikrotalasnog sistema instaliranog za potrebe međunarodnog telefonskog saobraćaja u Saudijskoj Arabiji. Taj program izveli su stručnjaci kompanija AT&T i Rockwell-a. Za to vreme snažni GaAs FET-ovi nisu bili dovoljni za podršku ovih uređaja u analognim radio-uređajima kakvi su se koristili sedamdesetih. Radio-uređaji za remodulaciju koristili su silicijumske pojačavače i umnožavače na 2 GHz, a heterodini širokopojasni i radio-uređaji sa jednim bočnim opsegom koristili su cevi sa progresivnim talasom (TWT) sa odgovarajućim predizobličavačem. Saudijski heterodini radio-uređaj koristio je pojačavač snage na 2GHz, umnožavač i delitelj devijacije u prijemniku. Nakon velikog truda uloženog u razvoj GaAs FET-ova, saznanje da komercijalne komponente u tom trenutku nisu odgovarale našim potrebama ili da nisu mogle da se nabave bilo je zaista neprijatno. Saudijski program bio je veoma uspešan i Kraljevstvo je u čast tog uspeha izdalo prigodnu poštansku marku koja se može videti na slici 8.

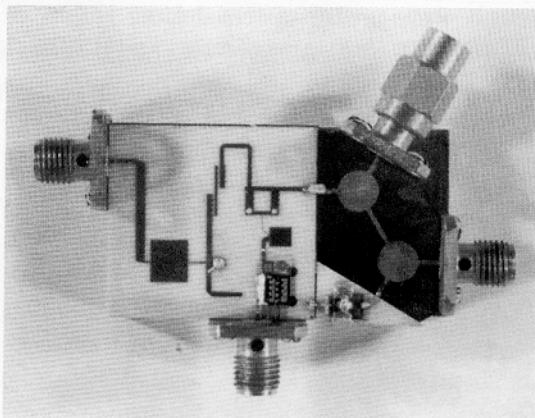
Najzad smo uspeli da ugradimo FET-ove na 6 GHz u analogni radio koji smo razvili ranih osamdesetih. Slika 9 prikazuje rani model petostepenog pojačavača od 5W u opsegu 5.9-6.4 GHz. Poslednji analogni radio bio je projektovan uz korišćenje saveta koji se tiču pouzdanosti, cene i pogodnosti za proizvodnju od strane dr V. E. Deminga. Ta tehnologija objedinjavala je maksimalno korišćenje silicijumskih integriranih kola, SMT ploča i hibridnih integriranih mikrotalasnih kola. Radio-uređaj je zaista bio jedan od najuspešnijih i najprofitabilnijih koje smo proizveli i osvojio je veoma široko tržiste.



Slika 4. UHF pojačavač sa elementima sa koncentrisanim parametrima.



Slika 5. Vejfer za pojačavač snage na 2 GHz sa koncentrisanim parametrima u tehnologiji tankog filma.



Slika 6. Malošumnii prijemnik za X-band sa malošumnim pojačavačem sa tunelskom diodom.

Druga važna delatnost za vreme mojih prvih godina u Rockwell-u bila je razvoj mikrotalasnog digitalnog radija. Sredinom sedamdesetih godina Federalna komisija za komunikacije izdala je regulativu u oblasti digitalne radio-tehnike. Ona je podrazumevala minimalni kapacitet od 1152 digitalna govorna kanala na frekvenciji zajedničkog nosioca na 4, 6 i 11 GHz i sa specifičnom maskom za spektar koja je bila kompromis koji je dopuštao rad u susednim kanalima. Spektralne gustine koje su zadovoljavale minimalne zahteve u pogledu kapaciteta bile su približno 4, 2.7 i



Slika 7. Skup saradnika kompanije RCA na Medunarodnom mikrotalasnom simpoziju 1992. u Albakirku.



Slika 8. Prigodna poštanska marka izdata povodom izgradnje međunarodne telefonske mikrotalasne centrale u Saudijskoj Arabiji.

2 B/s po hercu za pojedinačne opsege (4, 6 i 11 GHz). Prvi frekvencijski opseg za koji je digitalni radio bio namenjen bio je 10.7-11.7 GHz pošto on nije bio zauzet ostalim nosiocima i zato što je imao najjednostavnije zahteve u pogledu spektralne gustine. Nekoliko proizvodača uključujući AT&T, Microwave Associates i NEC prvi su na tržište izbacili opremu na 11 GHz. Prvi radio uređaji koristili su ili QPSK modulaciju sa dva ortogonalna radio kanala sa ukrštenom polarizacijom u jednom opsegu ili jednu vrstu QPR modulacije koja je rezultirala u minimalnoj zahtevanoj spektralnoj gustini. Radio sa ukrštenom polarizacijom bio je veoma podložan fedingu pošto je diskriminacija ukrštene polarizacije opadala sa fedingom usled višestrukog prostiranja. Nijedan od projekata nije naišao na dobar prijem na tržištu.

Odlučili smo da na digitalno tržište izdajemo sa poluprovodničkim jednostruko polarizovanim radio-uredajem i to onim kapaciteta 1344 digitalna govorna kanala, što je više odgovaralo standardnom digitalnom interfejsu od dva DS3 signala, nego minimalnim zahtevima. Radio koji bi zadovoljavao te kriterijume morao je da radi sa kapacitetom od 90 MB/s. Jedini poluprovodnički pojačavač na 11 GHz sedamdesetih

godina bio je IMPATT. Uzimajući u obzir teškoće u postizanju linearnosti amplitude sa IMPATT pojačavačem, kao i potrebnu spektralnu gustinu od 2.25 B/s po hercu, odabrana je 8PSK modulacija koja koristi Najkvistove kriterijume za eliminisanje intersimbolske interferencije od 3 B/s po hercu i ima minimalne zahteve u pogledu linearnosti amplitude. Modulacija je primenjena direktno na frekvenciju nosioca uz upotrebu modulatora sa diodom na 11 GHz, prikazanog na slici 10. Cirkulator spregnut sa IMPATT pojačavačem od 2W, prikazan na slici 11, koristio je tri IMPATT stepena i prepojačavač sa Gunn-diodom.

Da bi se smanjilo izobličenje spektra u IMPATT-pojačavaču, konačno filtriranje predajnika bilo je postignuto nakon pojačavanja pomoću petostepenog filtra sa cilindričnom šupljinom i malim guibicima. Zatim je, radi udovoljavanja zahtevima Federalne komisije za komunikacije, filter hermetički zapečaćen da bi mogao biti korišćen kako na nivou mora, tako i na planinskim vrhovima. Ovaj radio osvojio je veliki deo američkog tržišta digitarnog radija na 11 GHz. Na žalost, nekoliko godina kasnije ova dobavljača IMPATT-dioda - HP i NEC - prestala su da ih proizvode i bili smo primorani da predemo na TWT-pojačavače, što je predstavljalo dodatnu teškoću kada su u pitanju poluprovodnički pojačavači. Razvijen je model ovog radio-uredaja na 6 GHz, koji je radio sa gustinom spektra od 3 B/s po hercu i koristio TWT pojačavač snage, i bio je takođe veoma uspešan na tržištu.

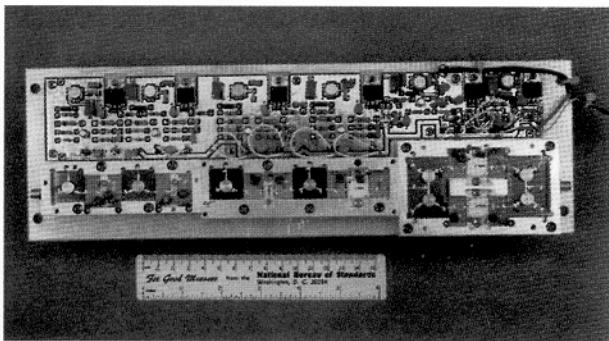
Kako je broj radio-uredaja sa 8PSK modulacijom rastao, postavilo se pitanje njihovog kapaciteta. Analogni FM radio na 6 GHz imao je kapacitet od više od 2000 govornih kanala, a tržište je zahtevalo sličan kapacitet i od digitalnog radija. Tako se uz upotrebu standardnog digitalnog interfejsa, pojavio zahtev za DS3 radijom kapaciteta 2016 govornih kanala. Kako je 8PSK radio na 6 GHz već bio na granici Najkvistovih kriterijuma, bilo je jasno da je potrebna M-arna modulacija visokog nivoa. Naša konkurenčija izabrala je osvajanje DS3 radija kapaciteta 90 Mb/s na 6 GHz sa modulacijom 16QAM. Naš prilaz problemu ovog radija, koji je kasnije usvojen od strane svih uspešnih učesnika u ovom poslu, bila je upotreba 64QAM modulacije sa kapacitetom 135MB/s. M-arni 64QAM radio-uredaji na 6GHz za rastojanja od 25 milja, a ne više uređaji na 11 GHz i rastojanja do 15 milja, značajno su podložniji fedingu usled višestukog prostiranja od ranijih radija. Kao posledica toga, ti sistemi su zahtevali usavršavanje u vidu adaptivnih ekvilajzera amplitude i vremenskog domena i upotrebu koda za korigovanje greške. Primjenjena je 64-stepena modulacija na nosilac na 70 MHz, koji je zatim konvertovan na 6 GHz. Lanac predajnika zahtevao je izuzetnu linearnost, koja se približavala onoj kod SSB radija. Tako su korišćene TWT cevi sa linearizatorima predistorzijom i smanjenom

maksimalnom snagom. Ova oprema izbačena je na tržište 1984. godine. Kasnih osamdesetih i početkom devadesetih, nakon mog penzionisanja, na tržištu su se konačno pojavili pogodni GaAs FET-pojačavači za upotrebu u visokonivoskim M-arnim modulisanim radio-uredajima koji su zadovoljavali kriterijume linearnosti i imali povoljnju cenu.

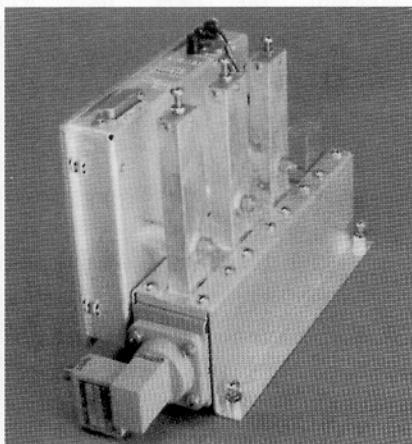
Krajem sedamdesetih postalo je jasno da će optički sistemi postati značajna pretnja mikrotalasnim prenosnim sistemima. Zato smo započeli program razvoja optičke digitalne opreme. Naš prvi proizvod bio je kratkotalasni (820nm) multimodni sistem kapaciteta 90 MB/s, koji je u osnovi predstavljao naš digitalni radio kapaciteta 90 MB/s, čiji je mikrotalasni deo zamenjen optičkim. Do 1984. naša tehnologija napredovala je toliko da smo bili u situaciji da isporučimo Indiana Bell-u optički sistem na 1300 nm, kapaciteta 139 MB/s (3 DS3) - jedan od prvih takvih sistema instaliranih u SAD. Do 1986. godine smo imali sistem na 565 MB/s u komercijalnoj upotrebi, a do 1987. smo uveli u upotrebu sistem kapaciteta 1.1 GB/s. Ključ uspeha GB/s optičkih sistema bila je upotreba integrisanih GaAs multipleksera i demultipleksera proizvedenih korišćenjem GaAs gate array čipova. SMT tehnologija i upotreba poluautomatskog sklopa optičkog predajnika i prijemnika sa hibridnim kolima bila je odlučujuća za pouzdanost i pogodnost za proizvodnju naših proizvoda. Ponovo smo imali sreće da ugrabimo najveći deo tržišta sredinom osamdesetih. Uz mikrotalasnu i optičku opremu, bilo je neophodno imati čitavu liniju multipleksnih, alarmnih, kontrolnih, zaštitnih i ostalih pomoćnih proizvoda.

Nakon 12 godina provedenih na mestu direktora i tri godine na mestu podpredsednika Inženjeringu kompanije Rockwell Telecommunicatons, doneo sam odluku da poslednjih nekoliko godina svoje karijere provedem na univerzitetu. Moj cilj bio je da opet učestvujem u istraživanjima, ali i da radim sa mlađim inženjerima i da im prenesem znanje koje sam stekao tokom rada. Otišao sam iz Rockwell-a krajem 1988. godine. Na to vreme gledam sa osećanjem velikog zadovoljstva jer znam da sam imao ulogu u unapredavanju tehnologije i razvoju proizvoda koji su na tržištu ostvarili zaradu od preko dve milijarde dolara. Takođe smo uspeli da isporučimo opremu mnogim stranim zemljama, a u neke delove sveta prvi put su uvedene međunarodne linije. Slike 11, 12 i 13 načinjene su tokom moje posete Narodnoj Republici Kini 1978. godine kada smo toj naciji pomagali da izgradi telekomunikacionu infrastrukturu.

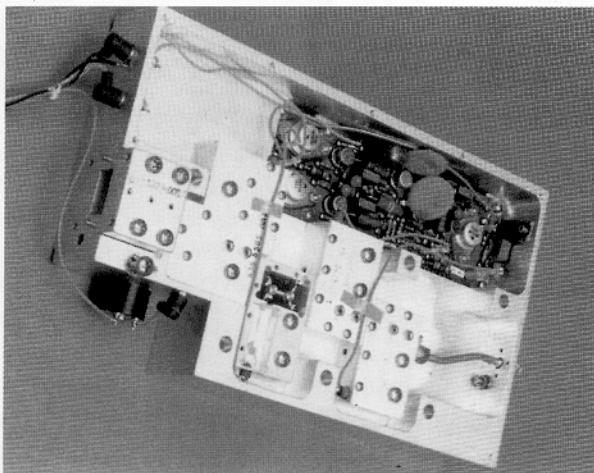
Zahvalan sam stotinama inženjera kojima sam imao privilegiju da rukovodim i želeo bih da sa njima podelim počast koja mi je ovom Nagradom ukazana. Ovom prilikom izdvojio bih Boba Hiksa, koji je bio direktor Razvoja, Pola Hartmana, Edija Alena i Dru Kroseta, koji su vodili razvoj digitalnog radija, Bila Konera i Fila Salasa, koji su imali glavnu ulogu u



Slika 9. Petostepeni GaAs FET pojačavač snage spregnut sa oscilatorom, za opseg 5.9-6.4 GHz.



Slika 10. Digitalni radio modulator sa 8PSK za X-band.



Slika 11. Četvorostepeni pojačavač od 2W za X-band sa IMPATT diodom.

razvoju analogne tehnike, Bena Holforda, Boba Livingstona, Bila Tomsona, Dika Nikolsa, Čarlija Hoga i Boba Feketa, koji su bili naši vodeći projektanti, kao i Džoa Kuka, kroz čije ruke je prošao svaki pojedinačni radio na putu od projektovanja do proizvodnje. Nevin Karlovak, Dejl Trent, Majk Dugan i Denis Ofut bili su ključne ličnosti u razvoju optičkih sistema.

Postao sam profesor elektrotehnike i prodekan za inženjeringu u Razvojnom centru Univerziteta Teksa



Slike 12. i 13. Poseta fabriči mikrotalasnih radio-uredaja u Sianu, Kina, 1978.



Slika 14. Poseta kompaniji PT&T u Pekingu, 1978.

u Arlingtonu u jesen 1988. i počeo sa predavanjima iz oblasti telekomunikacija. Prijao mi je povratak u kampus, a naročito mogućnost da radim sa mlađim inženjerima i da ponovi učestvujem u istraživanjima. Disertacije mojih stude-nata pokrivale su široko polje, uključujući M-arnu modulaciju u optičkim sistemima za kohererentnu detekciju, arhitekturu distribucije širokopojasnih multimedijalnih sadržaja u preplatničkim petljama optičkih sistema, filtere za kompenzaciju disperzije optičkog vlakna, probleme

propagacije za unutrašnje sisteme personalnih komunikacija, mobilne radio-uredaje sa integriranjem govornog signala i podataka i gorovne signale male bitske brzine. Naš program na Univerzitetu bio je značajno pojačan kada se Vasant Prabhu povukao iz Bell Labs-a i pridružio mi se na kursu telekomunikacija. Naši doktoranti i postdiplomci ne nalaze se samo u tzv. Telekom koridoru između Dalasa i Fort Vorta, već i širom sveta. Zvanično sam se penzionisao na Univerzitetu 1995. godine, ali još nisam sasvim raskinuo sa svojom karijerom jer se i dalje bavim konsaltingom, držim predavanja i član sam mnogih nacionalnih, lokalnih i IEEE komiteta.

Moja karijera kretala se mnogim putanjama i često je bivala na prekretnicama, ali uvek je bila prisutna jedna konstanta, a to je bila snažna podrška moje supruge, profesorke Marion Sobol, koja je bila uz mene svih ovih godina. Neizmerno sam joj zahvalan.

*Članak je preuzet iz publikacije IEEE/MTT-S Newsletter, No. 148, Spring, 1998, str. 27-34.

(Prevod sa engleskog: Nevena Španović, sekretar Udruženja za mikrotalasnu tehniku i tehnologiju)