

# PRIMENA MEMS TEHNOLOGIJE U TELEKOMUNIKACIJAMA

Milošević, D.<sup>1</sup>, Čelić, M.<sup>1</sup>

Mentor: Barbarić, Ž.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vojna akademija Beograd

<sup>2</sup>Vojnotehnički institut Beograd

## I UVOD

Prilikom projektovanja tehničkih uređaja pred projektanta se postavlja niz zahteva, kao što su visoke performanse uređaja, niska cena i male dimenzije. Tehnologija koja počinje u velikoj meri da zadovoljava postavljene zahteve jeste tehnologija izrade mikro elektro mehaničkih sistema, poznatija kao MEMS tehnologija (Micro Electro Mechanical System). MEMS sistem predstavlja elektro mehanički sistem izrađen na silicijumskom supstratu postupcima fabričke mikro tehnologije, a odlikuje se činjenicom da se na istom mestu nalaze i elektronske, optičke i mehaničke komponente [1]. Sa ovakvim principima izrade dobija se celokupni sistem na jednom čipu (complete system on a chip) [1].

Postupci izrade sistema na čipu predstavljaju prilagođene metode izrade integriranih elektronskih kola [1]. Sistemi mogu biti izrađeni na širokom spektru materijala, kao što su silicijum, magnezijum, bor, platina, litijum, tantalijum [1]. Proizvođači se najčešće odlučuju za silicijum, što donekle predstavlja i logičnu posledicu široke primene ovog materijala u proizvodnji integriranih elektronskih kola.

## II PRIMENA U TELEKOMUNIKACIJAMA

Vođeni ubrzanim razvojem interneta i e-poslovanja, protoci podataka su izuzetno porasli, a sa njima i zahtevi za kapacitete i performanse postojećih telekomunikacionih infrastruktura.

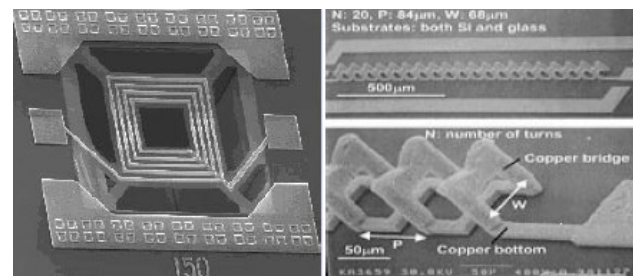
Ovi zahtevi se rešavaju inovacijama na poljima multipleksiranja po talasnim dužinama i brzine rada prijemnika i predajnika u sistemu za optički prenos podataka. Druga sfera inovacija je uvođenje u rad mreža sa potpuno optičkim elementima, koje bi omogućile da se optička vlakna vode čak do krajnjeg korisnika, čime bi aplikacije koje zahtevaju jako široke spektre postale dostupne svima. Ovakav pristup pored velikih kapaciteta na krajnjim tačkama, omogućuje i provajderima velika olakšanja u upravljanju mrežom, tako da se i sa te strane povećava kvalitet usluga korisniku [2].

Brz razvoj MEMS tehnologije je uređaje ove vrste već uveo u svet prenosa podataka. MEMS tehnologija se već primenjuje u izradi selektivnih (aktivnih i pasivnih) komponenti, uključujući induktivnosti, kapacitivnosti, filtre i prekidače (u optičkim sistemima i radio sistemima). Kada se neke od

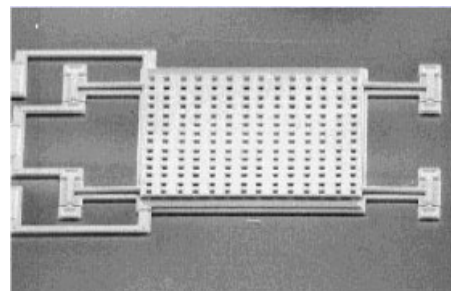
komponenta spoje na bazi jednog čipa moguće je dobiti RF komponente jako malih dimenzija koje mogu da vrše funkcije naponski kontrolisanih oscilatora, fazno osetljivih kola i druge funkcije potrebne za realizaciju naprednih telekomunikacionih sistema [3].

Prekidači se realizuju kao dva tipa: mehanički (RF), kod kojih je pokretanje mehaničkog dela postignuto koristeći efekte elektrostatičkog i elektromagnetskog polja; optički, kao spoj dva sistema: električnog i mehaničkog, gde prekidačku ulogu ima mehanički deo (prekidačko ogledalo), dok se električni deo konstruiše kao element za kontrolu i upravljanje ogledalom [3].

Induktivnosti u MEMS tehnologiji je moguće napraviti sa velikim Q faktorom i rezonantnim učestanostima, zbog same tehnologije izrade koja se sastoji u nanošenju tankog bakarnog sloja na izolator. U nekim slučajevima se koristi i 3D namotavanje materijala za poboljšavanje osobina komponente [3].



**Slika 1.** Prikaz induktivnosti u MEMS tehnologiji, dvodimenzionalna realizacija levo i trodimenzionalna desno [4]



**Slika 2.** Prikaz varijabilne kapacitivnosti [4]

Da bi se minimizovali omski gubici u materijalu, promenljive kapacitivnosti se izrađuju na isti način kao i induktivnosti, s tim da se bakar nanešen na

izolator koristi kao izolacija od silicijum (zbog velikih gubitaka u silicijumu), a promenljiv kapacitivni efekat se postiže pomeranjem metaliziranih struktura, efektima sličnim kao kod prekidača [3].

Kombinacijom navedenih elemenata se lako mogu dobiti, na istom parčetu silicijuma, i filtri i naponski kontrolisani oscilatori [3].

### III MEMS U OPTIČKIM SISTEMIMA

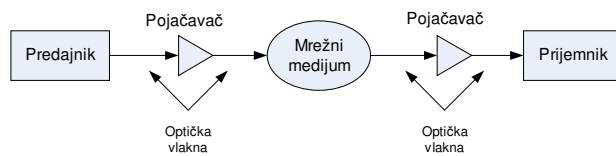
Opštost komponenata koje se izrađuju MEMS tehnologijom omogućavaju njenu primenljivost u mnogim oblastima. Jedna od oblasti u kojima je pronađena dobra osnova za njen razvoj jeste i oblast optičkih telekomunikacionih sistema. To se delom temelji na činjenici da je sama tehnologija izrade MEMS komponenti razvijana i u drugim oblastima i to u mnogo rigoroznijim uslovima primene (medicina, avio industrija, bezbednost...), tako da već postoji osnova za MEMS uređaje finijeg kvaliteta, čime se troškovi za dodatna istraživanja poprilično umanjuju.

MEMS tehnologija u optičkim sistemima omogućuje nekoliko jako naprednih inovacija, koje optičke sisteme za prenos podataka čine sposobnim da odgovore na postavljene zahtjeve.

Neke od tih inovacija su:

- Razvoj DWDM (dense wavelenght-division multiplexing), kao naslednika WDM (wavelength-division multiplexing),
- Prijemnici i predajnici koji mogu da podrže brzine protoka podataka do 40 Gb/s,
- Razvoj potpuno optičkih mreža, sa svim optičkim elementima.

DWDM predstavlja usavršavanje projekta WDM, ideje koja se bazirala na potpunom iskorišćenju već širokog propusnog opsega optičkog vlakna. Cela ideja se bazirala na tome da se opseg iskoristi tako što bi se izdelio na uske podopsege u kojima bi prenos podataka ostvarivali po jednoj talasnoj dužini [5]. Ovo je omogućilo da se kroz jedno optičko vlakno formira više, međusobno nezavisnih, kanala.

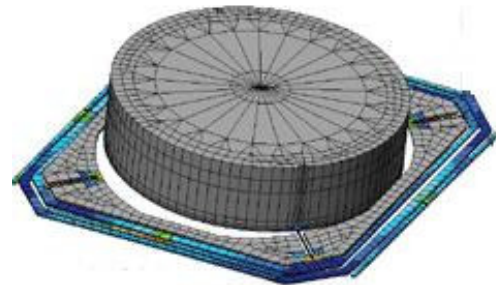


**Slika 3.** Opšta blok šema sistema za optički prenos podataka sa WDM [6]

Kada se pogleda struktura jednog WDM sistema za prenos podataka, slika 3, uočava se da se MEMS komponente mogu primenjivati u skoro svim delovima sistemima sa DWDM, počevši od promenljivih optičkih oslabljivača, preko podesivih

filtera, podesivih pojačavača, komponenata za kompenzaciju disperzije, do podesivih izvora. Optički prekidač je bitna komponenta koja se nameće kao zamena za multipleksere. Multiplekseri, realizovani kao električne komponente, najviše ograničavaju brzinu protoka podataka. Zbog konverzije signala optički-električni-optički, a da bi multiplekseri mogli da odrade svoju ulogu, dolazi do pojave „uskih grla“ u sistemu za optički prenos, koja limitiraju brzinu prenosa. Primenom optičkih prekidača se mreža realizuje kao potpuno optički sistem za prenos podataka. MEMS optički prekidači „vode“ optički signal od jednog vlakna do drugog, bez ikakve potrebe za konverzijom signala. Ovakva postavka mreže dozvoljava modularni pristup konstruisanja, sa mnogo širim opsegom i čvorove čak i do 1000 vlakana [3].

Pored svega arhitektura optičkog prekidača je veoma jednostavna, i sastoji se od: ulaznog i izlaznog vlakna, aktuatora i refleksne površine (prekidačkog elementa). Na slici 4 je prikazan radni element optičkog prekidača [7], a na slici 5 jedna od realizacija optičkog prekidača.



**Slika 4** Optički prekidač, radni element [7]

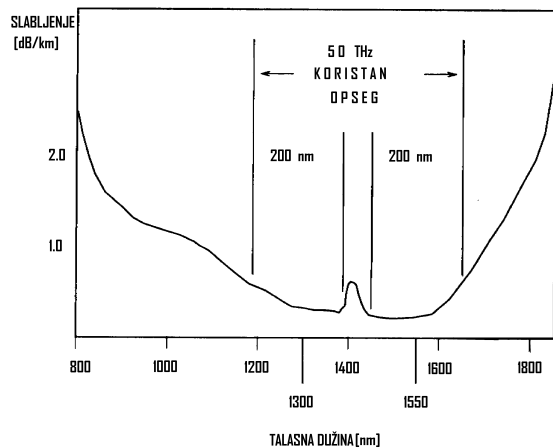


**Slika 5** Optički prekidač 2x2 firme MEMSCAP [8]

Princip rada prekidača ove vrste se sastoji u tome da se pri primenjenom naponu, aktuator pomera i dovodi refleksnu površinu u položaj u kome se optički signal reflektuje iz ulaznog vlakna u željeno izlazno vlakno. Prekidač zadržava ovo stanje sve do trenutka

kada zrak treba preusmeriti. Po ovoj logici moguće je različitim poretkom prekidača postići bilo koju strukturu čvora vlakana [3].

Pored problema konverzije signala, u optičkim sistemima sa DWDM se javljao problem preklapanja podopsega, pri gušćem pakovanju kanala, zbog loših osobina filtara i oslabljivača. Sa MEMS tehnologijom je moguće napraviti filtre velike selektivnosti i faktora iskorišćenja i to na talasnim dužinama na kojima je slabljenje vlakna, kao medijuma za prenos najmanje, kao što je prikazano na slici 6.



**Slika 6.** Oblasti malih slabljenja optičkog vlakna [6]

Svojim kvalitetom MEMS komponente prevazilaze dosadašnje standardne. Bez obzira o kojoj oblasti primene je reč MEMS komponente su veoma pouzdane i stabilne, zbog procesa i materijala kojima se izrađuju [3].

#### IV RF-MEMS PREKIDAČI

U RF (Radio Frekvenzy) i mikrotalasnim kolima koriste se standardni GaAs (galijum-arsenidni) FET tranzistori i PIN diode kao prekidači. Nova generacija prekidača, kao što su RF-MEMS prekidači, pretenduje da potisne dosadašnje standardne komponente [5]. Preporuke za njihovu upotrebu su njihove karakteristike, koje ih opisuju kao komponente koje imaju male gubitke, malu potrošnju energije, dobru izolaciju i linearnu karakteristiku. Uporedne karakteristike date su u tabeli 1.

Princip rada RF-MEMS prekidača zasniva se na korišćenju elektromagnetnih ili elektrostatičkih efekata [3]. Prekidači zasnovani na elektrostatičkom efektu ne zahtevaju proticanje struje, već radne napone koji su veći od 10 V. S druge strane, prekidači koji svoj rad zasnivaju na elektromagnetnim efektima, zahtevaju male radne napone, a veće vrednosti električne struje.

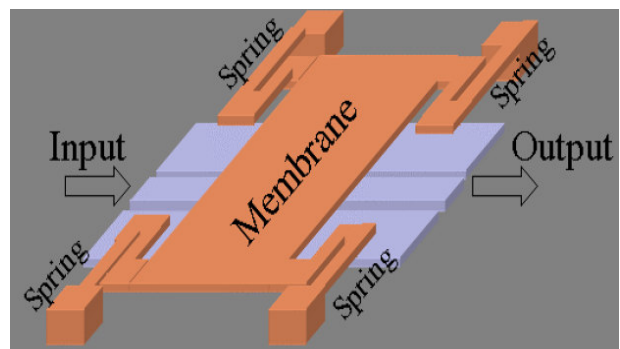
	MESFET	PIN Dioda	MEMS
Otpornost ( $\Omega$ )	od 3 do 5	1	<1
Gubici na 1Ghz (dB)	0,5 - 1	0,5 - 1	0,1
Veličina (mm <sup>2</sup> )	od 1 do 5	0,1	<0,1
Brzina odziva	~ns	~ $\mu$ s	~ $\mu$ s
Kontrolni napon (V)	8	od 3 do 5	od 3 do 30
Kontrolna struja	<10 $\mu$ A	10mA	<10 $\mu$ A

**Tabela 1.** Uporedne karakteristike komponenta [9]

Svoju primenu prekidači sa elektrostatičkim efektom nalaze kao antenski prekidači i u prekidačkim kolima za selekciju frekvencijskih opsega [3]. Razlog zbog kojeg se elektrostatički prekidači koriste u navedenim kolima je njihova mala potrošnja energije.

Prekidači sa elektromagnetnim efektom odlikuju se velikom brzinom odziva i kao takvi najpogodniji su za primenu u primopredajnim uređajima [3].

Na slici 7. prikazan je prekidač sa membranom, koji svoj rad zasniva na elektrostatičkom efektu. Prekidač se sastoji od linije signala i krute membrane koja se nalazi iznad linije signala. Linija signala je prekinuta između ulaza i izlaza, kao što je prikazano na slici 8. Između linije signala i membrane postoji vazdušni prostor. Membrana je za supstrat, silicijum ili GaAs, pričvršćena oprugama (spring). Kada se membrana nalazi u ravnotežnom stanju izlazni signal je jednak nuli, dok u slučaju kada je membrana u potpunosti spuštena, omogućen je protok signala [10].



**Slika 7.** RF-MEMS prekidač sa membranom [10]

Da bi došlo do protoka RF signala, nije neophodno da se obezbedi fizičko električni kontakt između linije signala i membrane. Naime, protok signala se može ostvariti i preko promene kapacitivnosti [10]. Prenos između ulaza i izlaza je moguć usled promene kapacitivnosti između linije signala i membrane, gde membrana predstavlja vezu između ulaza i izlaza [10]. Kada je membrana u stanju mirovanja, vrednost kapacitivnosti između membrane i linije signala je mala,  $C_{off}$ . U slučaju kada je membrana savijena prema liniji signala, vrednost kapacitivnosti između membrane i linije signala je mnogo veća,  $C_{on}$ .



**Slika 8.** Linija signala membranskog prekidača [10]

Za pomeranje membrane koristi se elektrostatička sila, koja se uspostavlja između membrane i supstrata. Kada se uspostavi napon polarizacije između membrane i supstrata, membrana će se saviti prema supstratu [10]. Napon polarizacije ne unosi smetnje u prenos RF signala, a frekvencija napona polarizacije se podešava tako da bude mnogo manja od frekvencije signala.

## V ZAKLJUČAK

Sa pojavom MEMS tehnologije, koja nudi veću pouzdanost, veću brzinu rada i manje dimenzije sistema, javlja se mogućnost razvoja postojećih uređaja koji će se odlikovati boljim kvalitetom i manjim dimenzijama. Unapređivanjem komponenata kao što su prekidači, induktivnosti i kondenzatori, stvaraju se mogućnosti za dalji razvoj telekomunikacionih sistema. Napredak telekomunikacija sa MEMS sistemima kreće se ka povećavanju brzine prenosa podataka. Smanjivanje dimenzija u odnosu na postojeća hardverska rešenja, svakako da predstavlja dobru stranu nove tehnologije. Manji sistemi postaju sve mobilniji i samim tim i dostupniji širem krugu korisnika, što predstavlja i osnovni cilj razvoja telekomunikacija. Razvoj MEMS tehnologije doprinosi i padu cene proizvodnje telekomunikacionih sistema.

## LITERATURA

- [1] "What is MEMS technology"  
[www.memsnet.org/news](http://www.memsnet.org/news)
- [2] Martin Nyman, Jean-Michel Karam, "MEMS Bring Reliable Track Record to Telecom Applications", [www.memscap.com](http://www.memscap.com)
- [3] Patrick Albert, "Commercialization of RF MEMS", decembar 2000.
- [4] Hector J. De Los Santos, "MEMS-A Wireless Vision", 5. juli 2001.  
[www.coventor.com/media/papers/imems2001.pdf](http://www.coventor.com/media/papers/imems2001.pdf)
- [5] Devarajan Balaraman, Swapan K. Bhattacharya Farrokh Ayazi, John Papapolymerou, "Low-Cost Low Actuation Voltage Copper RF MEMS Switches",  
[www.ece.gatech.edu/research/integrated-mems/documents/balaraman\\_mmts\\_ims2002.pdf](http://www.ece.gatech.edu/research/integrated-mems/documents/balaraman_mmts_ims2002.pdf)
- [6] M. S. Borella, J. P. Jue, D. Banerjee, B. Ramamurthy, B. Mukherjee, "Optical Components for WDM Lightwave Networks", Proceedings of the IEEE, vol. 85, str. 1274-1307, Avgust 1997
- [7] [www.algor.com/products/applications/mems/image/mems\\_siwave\\_1.jpg](http://www.algor.com/products/applications/mems/image/mems_siwave_1.jpg)
- [8] MEMSCAP Optical Solutions 2x2 Optical switch, Datasheet, [www.memscap.com](http://www.memscap.com)
- [9] Vince Sieracki, "Advances in MEMs for RF Technology",  
[my.ece.ucsb.edu/yorklab/Useful%20Stuff/Refences/Papers/Adv%20in%20MEMS%20for%20RF%20Tech%20101000\(anim\).pdf](http://my.ece.ucsb.edu/yorklab/Useful%20Stuff/Refences/Papers/Adv%20in%20MEMS%20for%20RF%20Tech%20101000(anim).pdf)
- [10] Francois-Xavier Musalem, "Designing a MEMS-based RF Switch: Mechanical Considerations", [www.memscap.com](http://www.memscap.com)

**Abstract:** The MEMS technology takes very important role in optical networks. So far, most of the components in optical networks were developed in the micro-electro-mechanical domain, to deal with growing needs of e-business and world wide multimedia application. These papers have only one assignment, to say a little bit about this technologie, its developing state and researching directions. We have described MEMS history, developing areas, and optical domain innovations; explained the MEMS role in optical networks with DWDM and their problems in data transmission; described RF MEMS components.

**APPLICATION OF MEMS TECHNOLOGY IN TELECOMMUNICATIONS, Milošević Duško, Čelić Milijan**