

Konektorski spojevi optičkih vlakana, karakteristike i merenja

Stevan Urošević

Mentori: Milesa Srećković, Slađana Pantelić

Sadržaj – U radu je analiziran postupak merenja slabljenja na konektorskom spoju, koji se odnosi na merenje snage u dB. Dati su eksperimentalni rezultati merenja, pri uticaju demontažnih konektorskih spojnica, proizvođača DIAMOND i AMP, na kvalitet prenosa i stabilnost optičke linije. Ti rezultati obuhvataju slabljenje i povratnu refleksiju konektora na mestu demontažnih konektorskih spojnica.

Glavne reči – Demontažne konektorske spojnice, konektori, optička vlakna, povratna refleksija, slabljenje.

I. UVOD

POLJE integrisane i fiber optike je relativno nova disciplina u svetu telekomunikacija. Smatra se da će biti od velike važnosti za komercijalnu stranu sledeće generacije optičkih komunikacionih sistema. Ovo je delimično tačno za sisteme, koji zahtevaju složene obrade signala, kao i mnogih implementacija pretplatničke pristupne mreže, jezgra mreže i lokalne računarske mreže. Veliki trud i mnogo sredstava je investirano u svetu u istraživanju na polju integrisane i fiber optike. To rezultuje u komercijalnu upotrebu osnovnih optičkih kola, sistema, uređaja i komponenti (Mach-Zehnder modulatori, rešenje razdvajanja snage itd.). Mnoga istraživanja su još uvek potrebna [1] da bi se realizovao širok opseg proizvoda integrisane i fiber optike, što znači mnoge tehnike proizvodnje.

Integrisana i fiber optika je usko povezana sa optičkim komunikacionim tehnologijama.

Sistemi sa optičkim vlaknima, su još uvek u razvoju, možemo da se pitamo zašto su se razvili i zašto se razvijaju tako brzo. Glavni razlozi za ovo su i ekonomska i tehnička osnova. Sa ekonomske strane, važne su niske cene bazičnih materijala optičkih vlakana, kao medijuma za prenos, u poređenju sa bakarnim kablovima. Velika rastojanja mogu biti premošćena sistemima optičkih vlakana bez regeneracije signala. Zahtevaju manje električne energije za napajanje opreme, kanalnog prostora, zemaljskih stanica i održavanja, nego sistemi bazirani na koaksijalnim i dvožičnim kablovima. Sa tehničke tačke gledišta, virtuelno neograničeni propusni opseg obezbeđen optičkim kablovima je presudan faktor. Sistemi sa optičkim vlaknima su postali konkurentni, koaksijalnim sistemima u momentu, kada su dostigli svoju fizičku granicu prenosnog kapaciteta.

Optička vlakna imaju četiri karakteristike, što ih čini skoro idealnim prenosnim medijumom: male fizičke dimenzije, niski propagacioni gubici (~0,2 dB/km-1994 god.), vrlo mala disperzija i skoro neograničen propusni opseg. Ove karakteristike odlučuju o zameni bakarnih kablova optičkim kablovima u profitabilnim velikim mrežama. Izazov za dizajnere sistema je da razviju arhitekture sa efikasnim komutacionim sposobnostima, da rutiraju veliki broj optičkih signala od vrlo brzih veza između centrala u jezgru mreže ka pojedinačnim pretplatnicima. U ovim arhitekturama savremene tehnike multipleksiranja (bazirane na efikasnom multipleksiranju mnogih kanala i po vremenu i po talasnim dužinama) možda treba da osiguraju optimalno iskorišćenje kapaciteta optičkih vlakana.

Skorašnji razvoji u polju guste raspodele kanala po talasnoj dužini DWDM sistemi i sistemi za koherentni optički prenos pokazuju da su mnoga poboljšanja u istraživanju punog potencijala enormnih širina opsega optičkih telekomunikacionih sistema još uvek moguća [2]-[4].

Rad se sastoji iz tri dela, koja sadrže: karakteristike konektorskih spojeva optičkih vlakana; postupak po kom se vrše merenja slabljenja na konektorskom spoju; eksperimentalne rezultate merenja slabljenja i povratne refleksije na konektorskim spojevima optičkih vlakana, uz upotrebu različitih vrsta konektora i adaptera-spojnica različitih proizvođača.

II. KARAKTERISTIKE KONEKTORSKIH SPOJEVA

Tehnike veza i spajanja optičkih vlakana su često od velikog značaja u procesu dizajniranja optičkih vlakana i kablova, jer je slabljenje prenešene snage, koja se izgubi na jednom spoju ekvivalentno slabljenju više stotina metara optičkog vlakna, što mnogo doprinosi ukupnom slabljenju. Stoga je važno steći potpuno razumevanje mehanizama u procesu povezivanja optičkih vlakana, načinu merenja slabljenja, koje tom prilikom nastaje i mogućim uzrocima, koji do toga dovode.

Postoji više načina kojima se može izvršiti kategorizacija tehnika spajanja primenljivih na optičko vlakno. Podela su delom proizvoljne, ali dva glavna načina spajanja su:

- spajanje optičkih vlakana metodom fuzije-topljenja (električnim lukom),
- spajanje optičkih vlakana mehaničkim podešavanjem (metoda ravnjanja).

Može se spojiti i laserima.

Fuziono spajanje je dokazana tehnika u kojoj se optička vlakna pripremaju, spajaju i zavaruju električnim lukom. Mehaničko podešavanje, s druge strane, je vrlo široko rasprostranjen termin koji se odnosi na:

- mehaničko spajanje pomoću spojnice sa uvodnicima za optička vlakna,
- čeonu spoj beskontaktnih konektora, koji se može demontirati,
- čeonu spoj kontaktnih konektora, koji se može demontirati,
- i sve druge tehnike, koje gore nisu navedene.

U ovom radu biće razmotreni mehanizmi i uzroci slabljenja na koje se nailazi u procesu konektorskog spajanja optičkih vlakana izabranih karakteristika.

Optički konektori predstavljaju najčešći uređaj za međupovezivanje optičkih vlakana. Predstavljaju važan element, koji služi da određenu čvrstinu optičkom vlaknu radi obrade njegove kontaktne površine, i omogući fizički kontakt između dva optička vlakna ili optičkog vlakna i uređaja. Današnji dizajni konektora su zreli i visoko pouzdani uređaji. Svaki konektorski tip ispoljava drugačije karakteristike, prednosti, nedostatke i parametre učinka, ali svi zadržavaju četiri osnovne komponente:

- **Ferulu – zaštitnu cevčicu:** Obično konstruisana od metala, keramike ili plastike i drži optičko vlakno na svom mestu unutar konektora;
- **Telo konektora:** Takođe se naziva i kućište konektora i osigurava ferulu;
- **Optički kabl:** Pričvršćen na telo konektora, kabl deluje kao tačka ulaska za optičko vlakno;
- **Adapter za spajanje:** Kod optičkih vlakana koristi se dualni ženski adapter za spajanje, kao uvodnica za poravnanje, spaja muške konektore.

Na osnovu slučajno podešenih, najgorih mogućih uslova spajanja, konektorski spoj bi mogao da proizvede vrednosti unetog slabljenja koje su navedene u tabeli 1.

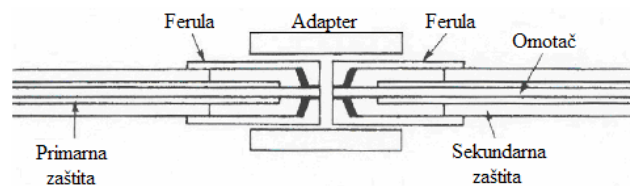
TABELA 1: SLABLJENJA KONEKTORSKOG SPOJA.

Mehaničko spajanje	Monomodno optičko vlakno 8/125 (μm)	Multimodno optičko vlakno 50/125 (μm)
- sa usklađivanjem indeksa	1,0 dB	0,8 dB
- sa optimizacijom	0,5 dB	0,5 dB

Navedene vrednosti unetih slabljenja na spojevima su veće, nego što bi bilo navedeno od strane proizvođača, ali su to ipak vrednosti, koje bi trebalo koristiti u nekim planiranim i narednim mrežnim specifikacijama. Poznato je da ISO, CENELEC i TIA/EIA standardi dozvoljavaju ili zahtevaju vrednost slabljenja od 0,75 dB na spojevima optičkih konektora.

Konektori, koji se mogu demontirati su verovatno najbolji primer spajanja korišćenjem tehnika apsolutnog

podešavanja prečnika omotača. Sl. 1 i sl. 2 pokazuju tipični spoj, koji se može demontirati, a greške usled nepodešenosti koje se mogu proizvesti su: neusaglašenost prečnika jezgara, ekscentričnosti jezgara i vazdušnog zazora između optičkih vlakana.



Sl. 1. Osnovni demontažni spoj.

Monomodni konektori, koji se mogu demontirati, kao što su NTT dizajni (FC i FC/PC), se upotrebljavaju na praktično svim nivoima svetskog tržišta. SC i ST konektorski stilovi zauzimaju oko 98% od celokupne upotrebe multimodnih konektora u Evropi i SAD. Sada su uvedeni mnogi novi stilovi, uglavnom prema generičkom nazivu SFF, ili malom faktoru forme, što u osnovi znači multi-fiber-optički konektor, slične zone preseka za konektor RJ-45 bakarnog kabla.

Tabela 2. navodi trenutno raspoložive stilove za multimodne i monomodne geometrije optičkih konektora:

TABELA 2: DEMONTAŽNI KONEKTORSKI STILOVI.

Vrsta primene	Postojeći dizajn
Multimodna primena	ST
	SC
	MT-RJ
	SG
	LC
Monomodna primena	SC
	FC-PC
	LC

Iz svega prethodnog sledi da su konektori neizbežni u bilo kojoj primeni optičkih vlakana.

III. POSTUPAK MERENJA SLABLJENJA NA KONEKTORSKOM SPOJU

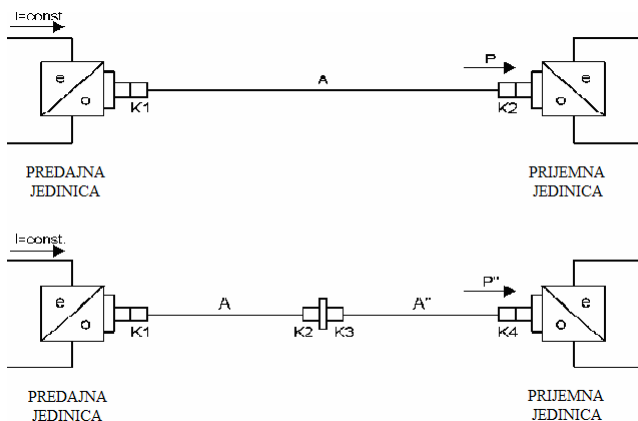
Optička merenja na spojevima vlakana odnose se prvenstveno na merenje slabljenja na konektorskom ili bilo kom drugom spoju. Posedovanje OTDR-a omogućava lociranje i karakteristike svih spojeva. Za konektore postoji merni postupak za testiranje njihovih karakteristika (slabljenja i povratne refleksije).

Konektorski spoj treba da ima osobine, koje omogućavaju višebrojno povezivanje i razdvajanje, a da kvalitet ostvarenog spoja ne bude izvan dozvoljene granice slabljenja.

Uz odgovarajuće uređaje, sam postupak merenja slabljenja nije komplikovan. Podrazumeva merenje snage (dB), koja se dovodi u optičko vlakno jednog konektora ili spoja [5], i snage na izlazu iz optičkog vlakna drugog konektora, odnosno spoja optičkih vlakana. Način

izvedenog merenja i primenjena tehnika mogu da imaju velikog uticaja na rezultate.

Na sl. 2. je prikazana blok šema merenja, kojom se određuje slabljenje, koje konektor unosi u vezu.



Sl. 2. Šema merenja slabljenja optičkog konektora.

Dva optoelektronska pretvarača (predajnik i prijemnik) spoje se referentnim optičkim spojnim kablom A, na čijim krajevima se nalaze konektori K₁ i K₂. Kroz optičko vlakno spojnog kabla propusti se svetlosni signal. Detektorska dioda daje na izlazu struju, srazmernu optičkoj snazi na ulazu P. Doda se optički spojni kabl A'', na čijim krajevima se nalaze konektori K₃ i K₄, čije slabljenje treba odrediti. Na izlazu iz detektorske diode izmeri se snaga P'', koja je redukovana za unete gubitke konektorskog spoja K₂-K₃.

Izmereno slabljenje se dobija iz odnosa

$$a = 10 \log (P/P'') \quad (1)$$

pod uslovom da su ispunjeni sledeći uslovi:

- * da je slabljenje vlakna, koje se meri poznato ili zanemarljivo u odnosu na uneto slabljenje od strane konektora;

- * da je uticaj na slabljenje konektora K₄, koji je spojen sa prijemnom jedinicom isto kao i K₂ (ako je K₄ zaprljan ili se razlikuje, izmereno slabljenje će se pripisati konektorskom spoju K₂-K₃).

Prednost ovog načina merenja je što zadovoljava praktične potrebe, kada treba da se izmere slabljenja konektorizovanih optičkih kablova, ali je istovremeno nedostatak, jer na merenje utiču i moguće tolerancije optičkih vlakana, kao i same spojnice kojima se ostvaruje spoj konektora. Kod merne metode je od posebnog značaja da se obezbede uslovi stabilnosti optičkog izvora (lasera), bez čega se ne mogu dobiti kvalitetni rezultati. Stabilnost optičkog izvora se obezbeđuje na dva načina. Prvi, osnovni, je da se na referentnom spojnom optičkom kablom na mestu konektora, koji se konektuje na predajnik nalazi APC konektor (ispoliran pod uglom od 8°, koji umanjuje povratnu refleksiju). Drugi način je da se podrazumeva da je postavljeni konektor prethodno vizuelno proveren i da je sa što manjom povratnom refleksijom na konektorskom spoju. Pravilno postavljeni i obrađeni optički konektori moraju da zadovoljavaju svetske standarde po kojima unešeno slabljenje ne sme da bude veće od 0,5 dB, a povratna refleksija manja od -35 dB.

IV. EKSPERIMENTALNI REZULTATI MERENJA

Za eksperimentalnu proveru uticaja demontažnih konektorskih spojeva na kvalitet prenosa optičke linije, korišćeni su različiti uzorci optičkih konektora i spojnica:

- * više fiberoptičkih spojnih kablova izrađenih od FC/PC konektora (firme MOLEX), koji su postavljeni na komercijalno jednomodno optičko vlakno 9/125/900/3000 μm, dužine 3m, istog proizvođača. Podužno slabljenje ovog optičkog vlakna je 0,35 dB/km na talasnoj dužini od 1310 nm.

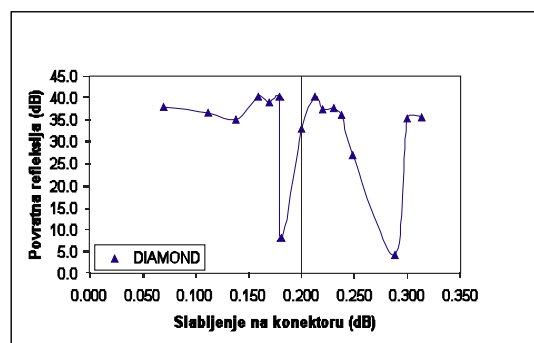
- * dva fiberoptička spojna kabla izrađena od multimodnog optičkog vlakna prečnika jezgra 50/125 μm i numeričke aperture 0,20 (firme MOLEX), sa FC/PC na krajevima.

- * demontažne konektorske spojnice, za prelaz FC/PC na FC/PC konektor proizvodnih firmi DIAMOND i AMP (Sl. 3).

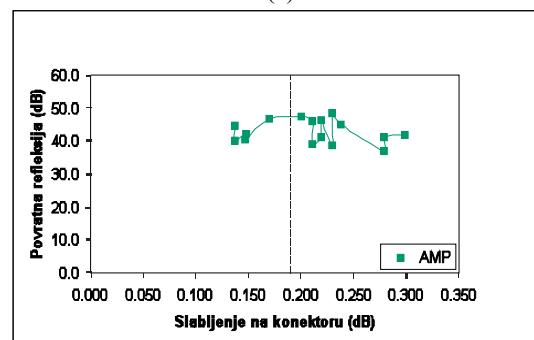


Sl. 3. Demontažne konektorske spojnice.

Za određivanje referentnih vrednosti karaktistika konektora, korišćeni su referentni optički spojni kabl i spojnica.



(a)



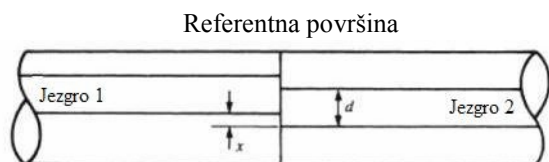
(b)

Sl. 4. (a,b) Uporedni dijagrami izmerenog slabljenja i refleksije za različite demontažne spojnice.

Referentni kabl na jednom kraju ima APC, a na drugom FC/PC konektor. APC konektor se spreže sa laserom (1310 nm) optičkog uređaja FOT 900 (EXFO). FC/PC konektor se spreže spojnicom na FC/PC konektor, čije se karakteristike mere. Nakon izmerenih referentnih vrednosti, postupak merenja je ponovljen za više spojnice proizvođača DIAMOND i AMP, koje su se koristile umesto referentne spojnice. Na sl. 4. (a,b) dati su uporedni dijagrami izmerenih vrednosti, slabljenja i povratne refleksije konektora, za oba proizvođača demontažnih konektorskih spojnica.

Prosečno slabljenje konektora kada se koriste DIAMOND spojnice je 0,20 dB (puna linija na sl. 4.a), a prosečno slabljenje za AMP spojnice je 0,19 dB (isprekidana linija na sl. 4.b). Dobijene vrednosti su u skladu sa propisanim i vrednostima (0,5 dB po TIA standardu) svih vodećih proizvođača konektora i demontažnih konektorskih spojnica.

Sl. 5. prikazuje uticaj razdešenosti jezgara monomodnih optičkih vlakana usled ekscentričnosti jezgra unutar omotača, a jednačina (2) način izračunavanja slabljenja optičke snage.



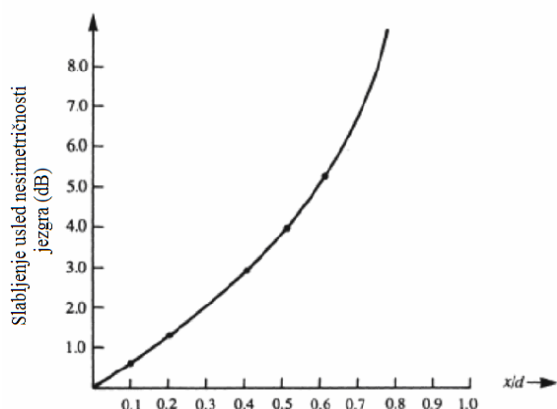
Sl. 5. Neusaglašenost usled ekscentričnosti jezgara optičkih vlakana.

$$a = -10 \log \left[\frac{1}{90} \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{de}{x} \right) - \frac{2xe}{\pi d} \right], \quad (2)$$

gde je

$$e = \left(1 - \frac{x^2}{d^2} \right)^{0.5}. \quad (3)$$

Grafički prikaz dobijenih rezultata za multimodna optička vlakna, uz upotrebu jednačine (2) je dat na sl. 6.



Sl. 6. Slabljenje usled nesimetričnosti optičkih jezgara.

Jednačine (2) i (3) važe za svaki spoj optičkih vlakana, ali gledajući u sl. 6, jasno je da idealni optički spoj, napravljen sa dva nominalno identična optička vlakna, može da unese značajno slabljenje. Poznavanje tolerancije parametara za monomodno optičko vlakno u smislu prečnika jezgra, numeričke aperture i koncentričnosti njegovog jezgra, izračunavamo u tabeli 3:

TABELA 3: RAČUNANJE SLABLJENJA.

Prečnik optičkog vlakna $\pm 3 \mu\text{m}$ $d_1 = 53 \mu\text{m} \quad d_2 = 47 \mu\text{m}$	Uneto slabljenje 1,02 dB
Numerička apertura $NA_1 = 0,215 \quad NA_2 = 0,185$	Uneto slabljenje 1,31 dB
Koncentričnost jezgra $0 \pm 2 \mu\text{m}$	Uneto slabljenje 0,47 dB
Ukupno uneto slabljenje 2,8 dB	

Znači, idealan spoj između dva identična geometrijska optička vlakna, oba unutar date specifikacije, može uneti ukupno slabljenje od 2,8 dB.

V. ZAKLJUČAK

Kompleksnost telekomunikacionih sistema zahteva korišćenje visoko performansnih komponenti. To se odnosi prvenstveno na konektore za sprežanje optičkih vlakana sa izvorom i detektorom svetlosti i kontrolu njihovih čeonih površina, jer ukupno slabljenje uvek mora da bude manje od ukupne raspoložive snage. Nekvalitetan spoj optičkih vlakana dovodi do velikih slabljenja ili potpunog onemogućavanja prolaza optičkog signala, a na taj način se ugrožava mogućnost korišćenja čitavog sistema. Provera i testiranje karakteristika optičkih vlakana vrši se u svim fazama rada sistema.

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se prof. dr Željenu Trpovskom i prof. dr Milošu Živanovu sa FTN-a u Novom Sadu, na stručnoj pomoći i publikaciji rada.

LITERATURA

- [1] H. J. M. Bastiaansen, "Modal analysis of straight and curved integrated optical waveguides-An integral equation approach", PTT Research, Royal PTT Nederland, 1994.
- [2] N. H. G. Baken, "Computational modeling of integrated-optical waveguides", PTT Research Neher Laboratories, Leidschendam, 1990.
- [3] I. Kaminow, T. Li, A. Willner, "Optical fiber telecommunications", Academic Press, New York, 2008.
- [4] a) M. Srećković, "Laserska tehnika 1, 2, 3, 4", skripta, ETF-Beograd; b) S. Pantelić, Priv. kores.
- [5] S. Pantelić, Magistarski rad: "Analiza prostiranja laserskog zračenja i optičkih pojava na optičkim vlaknima i spojevima vlakana", ETF-Beograd, 2003.

ABSTRACT

The method for measuring attenuation on fiber optic connections with connectors, by measuring power in dB, is analysed in the paper. Experimental results of measurements of the influence of dismountable connector couplers, produced by DIAMOND and AMP, on the quality of transmission and stability of a fiber optic line are enclosed. These results contain attenuation and return reflection of the connectors in place of the dismountable connector couplers.

FIBER OPTIC CONNECTIONS WITH CONNECTORS, CHARACTERISTICS AND MEASUREMENTS

Stevan Urošević