

Unapređenje karakteristika IRITEL pojačavačkih jedinica sa EDFA modulima

Dragana Milosavljević, Bojan Pajčin, Predrag Mićović, Nebojša Mičić, Vladimir Kostić
Sektor za optičke sistema prenosa
IRITEL, A.D.
Beograd, Srbija

dragana.milosavljevic@iritel.com, bojan@iritel.com, micovic@iritel.com, micic@iritel.com, kosticv@iritel.com

Sažetak—Moderne optičke telekomunikacije podrazumevaju prenos velikog broja kanala multipleksiranih po talasnim dužina sa nezavisnim alociranjem servisa po kanalu. U takvim sistemima neophodno je obezbediti traženi kvalitet servisa - QoS, odnosno svaka talasna dužina mora na prijemu da ima potreban optički odnos signal-šum - OSNR. Prenos optičkih signala na nekoliko desetina i stotina kilometara je nezamisliv bez primene optičkih pojačavača. Njihovom primenom se degradira OSNR, ali se povećava optička trasa prenosa. Za prve IRITEL OTN 10 Gbit/s sisteme su se koristile OMA jedinice sa BA-17, PA-17 i PA-29 EDFA modulima. Zbog povećanja kapaciteta i broja kanala u novim IRITEL OTN 100/400 Gbit/s sistemima koristi se nova generacija pojačavačkih OMA jedinica sa BA-19, PA-25 i PA-34 EDFA modulima. U ovom radu je data uporeda analiza pojačavača prve i druge generacije, a eksperimentalnim merenjima su ispitivane mogućnosti pojačanja i prenosa signala novim EDFA modulima.

Ključne reči - EDFA, OSNR, DWDM, 100Gbit/s, Noise Factor pojačavača, električna potrošnja optičkih pojačavača, OTN

I. UVOD

Trenutno svet telekomunikacija se nalazi u jeku razvoja. Razvijaju se sistemi prenosa kapaciteta 400 Gbit/s, 600 Gbit/s, 800 Gbit/s, 1.2 Tbit/s, 1.6 Tbit/s po jednom vlaknu, što će doprineti povećanju kapaciteta data centara, metro, prekoookeanskih i transportnih mreža. Razvijaju se sledeće generacije digitalnih signalnih procesora u koherentnim tehnologijama. U celom tom razvoju, ne zaostaju ni optički pojačavači. Nagli rast multiservisnih aplikacija je doveo do potrebe za prenosom raznorodnih klijentskih signala kroz optičke transportne mreže. Iz toga proizilazi da se sa SDH (eng. *Synchronous Digital Hierarchy*) sistema prenosa prelazi na OTN (eng. *Optical Transport Network*). Postojeće OTN 10 Gbit/s platforme se proširuju na 100 Gbit/s platforme. Zbog svog tog porasta kapaciteta i većom gustinom multipleksiranja kanala zahteva se upotreba optičkih pojačavača. IRITEL za pojačanje optičkih signala koristi EDFA (eng. *Erbium-Doped Fiber Amplifier*) pojačavače prve i druge generacije.

Uloga optičkih pojačavača jeste povećanje dužine optičkog linka za prenos signala na bazi optičkog pojačanja signala i EDFA pojačavača. Pominju se prvi put 1957. godine [1] od strane Gordon Gould nakon čega je izbacio prvi patent posle tri godine. Nakon 20 godina još dodatnih ispravljanja i menjanja, pomenuti patent je završen. Pet godina nakon toga

počinje prva primena optičkih pojačavača. Gould je pomogao kompaniji *Cieni* [1], 1996. godine gde su napravili dvostepeni pojačavač koji je bio ključan za DWDM (eng. *Dense Wave Division Multiplexing*). Danas su optički pojačavači u osnovi skoro svake telekomunikacione mreže kao što su metro, lokalna, prekoookeanska, transportna itd. Porast bitske brzine i dometa se dešava eksponencijalno, a optički pojačavači su izazvali pravu revoluciju u povećanju maksimalnog dometa i kapaciteta optičkih mreža [2].

U narednim poglavljima se piše o karakteristika prve generacije IRITEL OMA jedinica, gde opisujemo rad EDFA pojačavača, module IRITEL OMA jedinica, karakteristike, hardversku i softversku strukturu jedinica i potrošnju. Potom smo predstavili karakteristike druge generacije IRITEL OMA pojačavačkih jedinica. Na kraju rada diskutujemo o rezultatima merenja i izvodimo zaključke o karakteristikama i mogućnostima novih OMA jedinica.

II. KARAKTERISTIKE PRVE GENERACIJE EDFA POJAČAVAČA

Kod DFA pojačavača, aktivni medijum za rad u prozoru od 1.55 μ m se pravi od dopiranog jezgra silicijumskog vlakna lantanoidima kao što je erbijum [3]. U važne mogućnosti DFA pojačavača spadaju njihove sposobnosti da mogu da upumpavaju u uređaj nekoliko različitih talasnih dužina, da imaju male gubitke kod sprezanja sa kompatibilnim vlaknima i da im pojačanje slabo zavisi od polarizacije svetlosti. EDFA koristi eksterno optičko ubrizgavanje da bi pobudili elektrone na više energetske nivoe. Najpre se koristila talasna dužina na kojoj je talasna dužina pumpe 980 nm, dok druga talasna dužina pumpe može biti 1480 nm [4]. Energija fotona pumpe je slična energiji fotona signala, ali nešto viša. Širina metastabilnog i osnovnog nivoa dozvoljavaju visoke nivoe stimulisane emisije u opsegu od 1530 do 1560 nm [4]. Posle 1560 nm pojačanje se postepeno smanjuje dok ne dostigne 0 dB na oko 1616 nm. Fiber-optički pojačavač se sastoji od dopiranog vlakna, jedne ili više laserskih pumpi, pasivnih speznjaka talasnih dužina, optičkih izolatora i tap spreznjaka. Spreznjak dve talasne dužine radi sa kombinacijama talasnih dužina od 980/1550 nm ili 1480/1550 nm da bi uspešno spojio snagu pumpe i optičkog signala u vlaknu pojačavača. Tap spreznjaci su neosetljivi na talasne dužine [3]. Izolatori se koriste da onemoguće pojačanom signalu da se reflektuje unazad kroz uređaj jer bi došlo do većeg šuma. IRITEL od prve generacije EDFA pojačavača proizvodi OMA-XY

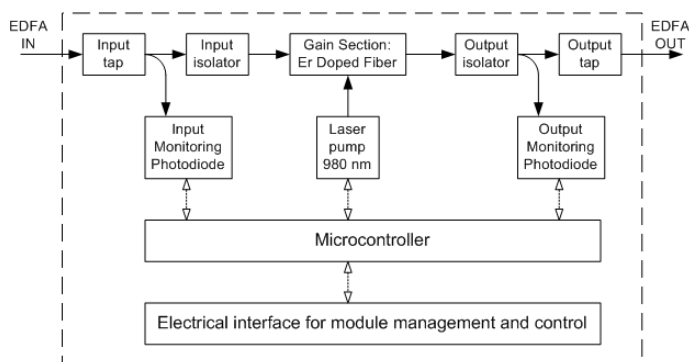
jedinice. Tipovi EDFA modula na OMA pojačavačkim jedinicama su BA-17 (engl. *Booster Amplifier* fiksnog pojačanja od 17dB), PA-29 (engl. *PreAmplifier* promenljivog pojačanja od 19dB do 29dB), PA-17 (*PreAmplifier* fiksnog pojačanja od 17dB). Seriju jedinica OMA-XY (gde XY predstavlja namontirane optičke module) čine: OMA-B, OMA-P, OMA-BB, OMA-BP, OMA-PP i OMA-PP17 jedinice [5]. OMA-XY jedinica se sastoji od jednog ili dva EDFA modula i procesorskog bloka. EDFA moduli vrše optičko pojačanje signala u C opsegu. Imaju i fotodetektore, radi očitavanja nivoa snage optičkog signala na ulazu i izlazu iz pojačavača, kao i kontrole nivoa snage signala na izlazu. Procesorski blok koji vrši podešavanje i upravljanje pojačavačem, komunicira sa centralnom-upravljačkom jedinicom (OT-CMU), generiše alarme, učitava podatke iz EEPROM memorije (eng. *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*) [6]. Na jedinicama takođe možemo da dodamo ili izdvojimo OSC (eng. *Optical Supervisory Channel*) kanal iz optičkog multipleksa. Postoji interfejs za povezivanje OSA (eng. *Optical Spectrum Analyzer*) instrumenta. Svi moduli sa EDFA pojačanjem uniformno pojačavaju optički signal u opsegu od 1528nm - 1565nm. Maksimalna potrošnja OMA-B i OMA-P je 35W, dok kod OMA-BB, OMA-BP, OMA-PP je 50W [4]. Njihova disipacija je delimično velika, kao i hladnjaci. Dimezijalno su veći, i zauzimaju u OTP100G-C15e kućištu dve pozicije. U tabeli I su date opšte karakteristike prve generacije IRITEL EDFA modula [4][7][8][9]. Na slici 1 je prikazana logička struktura IRITEL EDFA modula prve generacije.

Tabela I: OPŠTE KARAKTERISTIKE PA-17, PA-29 I BA-17 MODULA

EDFA modul	PA-17	PA-29	BA-17
Tipično pojačanje [dB]	17	19 ÷ 29	17
Opseg talasne dužine [nm]	1528 ÷ 1565	1528 ÷ 1565	1528 ÷ 1565
Opseg ulazne snage [dBm]	-20 ÷ 3	-28 ÷ -2	-20 ÷ 3
Opseg izlazne snage [dBm]	4 ÷ 20,5	1 ÷ 17	4 ÷ 20,5
Noise figure [dB]	6	6.5	7

III. KARAKTERISTIKE DRUGE GENERACIJE EDFA POJAČAVAČA

U IRITEL-u se od EDFA modula druge generacije trenutno koriste BA-19, PA-25 i PA-34. Izbor tipa pojačavača



Slika 1: Logička struktura IRITEL EDFA modula prve generacije [7][8][9]

zavisi od broja optičkih kanala u multipleksu, dužine optičkih

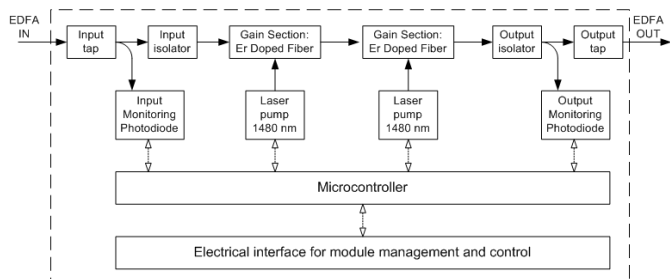
vlakana i karakteristika trase. Zbog toga imamo i podelu na *in-line*, gde se pojačavač postavlja na linijska vlakna i pojačava sve talasne dužine koje su prisutne u prenosu, i *off-line*, gde se pojačavač postavlja pre multipleksiranja i tako pojačava samo pojedine talasne dužine. OMA jedinice druge generacije su manjih dimenzija, i to nam donosi novinu da umesto dve pozicije u OTP100G kućištu zauzima samo jednu. Iz toga proizilazi da sa jednim uređajem možemo pojačavati signale u više pravaca što je bitno za povećanje ukupnog kapaciteta OTP100G-C15e uređaja. Druga generacija spada u 'zelene' sisteme. Razlog je manja potrošnja jer pumpe rade na 1480nm, gde imamo smanjenu potrošnju laserske pumpe u odnosu na prvu generaciju. Maksimalne potrošnje OMA-B19P25 i OMA-B19P34 jedinica iznose oko 23W [4]. Manji NF EDFA pojačavača doprinosi većem OSNR na prijemu, i samom tim imamo bolji kvalitet signala ili mogućnost dodatnog povećanja optičke trase. U tabeli II su prikazane opšte informacije o drugoj generaciji modula [4][10][11][12], dok je na slici 2 prikazana logička struktura IRITEL EDFA modula druge generacije.

Tabela II: OPŠTE KARAKTERISTIKE PA-25, PA-34 I BA-19 MODULA

EDFA modul	PA-25	PA-34	BA-19
Tipično pojačanje [dB]	15 ÷ 25	22 ÷ 34	19
Opseg talasne dužine [nm]	1530 ÷ 1565	1530 ÷ 1565	1530 ÷ 1565
Opseg ulazne snage [dBm]	-27 ÷ 5	-34 ÷ -2	-21 ÷ 1
Opseg izlazne snage [dBm]	-2 ÷ 20	-2 ÷ 20	-2 ÷ 20
Noise figure [dB]	6	6	5.5

IV. MERENJE I TESTIRANJE KARAKTERISTIKA OMA JEDINICA PRVE I DRUGE GENERACIJE

U cilju poređenja predstavljenih IRITEL OMA pojačavačkih jedinica urađena su merenja i testiranja karakteristika EDFA modula prve i druge generacije. Pored prve i druge generacije OMA pojačavačkih jedinica za potrebe formiranja multipleksiranog optičkog signala do 16 talasnih dužina korišćeni su: dve transponderske jedinice OTP100G-1 [5] sa po 10 SFP+ 10G interfejsa [5] i po jednim CFP 100G interfejsom [5], četiri transponderske OT10G-8 [5] sa ukupno 28 XFP optičkih primopredajnika [5], DCM-D12D8 jedinica [5] za kompenzaciju hromatske disperzije, DWDM-8C2 i DWDM-8C3 aktivne multiplekserske jedinice [5]. Za formiranje optičke trase korišćena su laboratorijska vlakna dužine 15 km, 25 km, 50 km (četiri ovakva veštačka vlakna) i 60 km. Konfigurisanje jedinica i nadzor sistema su vršeni na Sunce+ modul za OTN [5]. Sve jedinice su stavljene u dva



Slika 2: Logička struktura IRITEL EDFA modula druge generacije [10][11][12]

OTP100G-C15e kućišta [5]. Kao generatori i tester ključnih

saobraćaja su korišćeni 10 Gbit/s Ethernet i STM-64 merni instrumenti. Testirani prenos saobraćaja se smatra uspešnim ako su klijentski signali generisani od stranih instrumenata prenošeni bez greške preko testne trase u trajanju od najmanje 24h. Na slici 3. je prikazana postavka jednog od testiranja. Sva ostala merenja i testiranja se razlikuju jedino u primenjenoj OMA jedinici (na slici 3 prikazana OMA-B19P34) i dužini formirane trase (na slici 3 je 200 km).

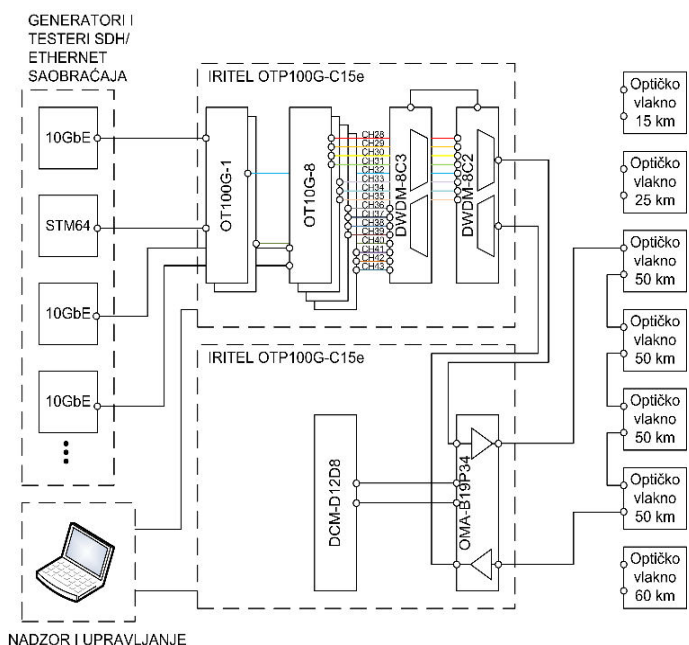
Korisnički saobraćaj, odnosno testni optički signali, generisani u mernim instrumentima se dovode na ulaze klijentskih SFP+ i XFP optičkih interfejsa u transponderskim OTP100G-1 i OT10G-8 jedinicama. U tim jedinicama se klijentski Ethernet 10Gb/s i SDH STM-64 signali mapiraju u OTN ODU2e i ODU4 [13] linijske signale koji se unutar jedinica usmeravaju na XFP i CFP optičke interfejse. Dalje se linijski signali, njih 16 i svaki na različitim talasnim dužinama, iz izlaza optičkih interfejsa odvođe na ulaze u aktivne multiplexerske DWDM-8C2 i DWDM-8C3 jedinice. Podešavanjem snage optičkog signala po svakom kanalu DWDM multipleksa i aktiviranjem/deaktiviranjem optičkih kanala formira se multiplexirani signal sa 2, 4, 8 ili 16 talasnih dužina. Zahvaljujući aktivnim DWDM modulima u multiplexerskim jedinicama svi kanali u multiplexu izlaze iz DWDM-8C2 i DWDM-8C3 jedinica sa ujednačenim nivoima optičkih snaga. Takav multiplexirani DWDM signal sa međusobno umerenim optičkim kanala se dovodi na ulaz BA pojačavački modul OMA jedinice. Pojačani DWDM multiplexirani signal se sa izlaza BA modula povezuje na optičku trasu formiranu od laboratoriskih vlakana. DWDM optički signal, oslabljen i degradiran usled prenosa preko optičke trase duže od 150 km, se dovodi na ulaz PA pojačavačkog modula OMA jedinice. Optička trasa je

sačinjena od više standardnih ITU-T G.652 [14] optičkih vlakana različite dužine i podužnih slabljenja manjih od 0.25 dB/km i koeficijenata hromatske disperzije ~17 ps/nm²km. Na izlazu iz BA module se vrše merenja optičke snage DWDM kanala - Pout BA. Takođe se i na ulazu u PA modul pojačavačke OMA jedinice vrši merenje optičke snage DWDM kanala. Dakle, meri se optička snaga DWDM kanala, a ne ukupnog multipleksa. Na ovaj način se prati promena optičke snage na početku i na kraju optičke trase. Izlaz PA modula i pojačani prijemni optički signal se povezuje na ulaz DWDM demultiplexera. Ovde se meri OSNR DWDM kanala. Takođe se između PA modula i demultiplexera povezuje DCM-D12D8 jedinica radi kompenzacije akumulirane hromatske disperzije na optičkoj trasi. Nakon demultiplexera linijski optički signali se dovode na pripadajuće prijemnike XFP i CFP interfejsa u transponderskim jedinicama. Demapirani klijentski signali se iz transponderskih jedinica povezuju na prijemnike optičkih interfejsa u mernim instrumentima. Ukoliko merni instrumenti, koji porede poslatu bitsku sekvencu sa primljenom, nakon 24 časa ne prijave ni jednu grešku u optičkom prenosu signala smatramo da je test uspešan, a prikupljeni rezultati validni.

Rezultati merenja su tabelarno prikazani u Tabelama III, IV, V, VI i VII. Konkretno, u Tabeli III su dati rezultati dobijeni testiranjem OMA-BP jedinice sa EDFA modulima prve generacije koje je podrazumevalo prenos dve talasne dužine preko optičkih trasa različitih dužina. U Tabeli IV su dati rezultati testiranja iste jedinice, ali dobijeni prilikom prenosa 4 talasne dužine, dok su u Tabeli V dati rezultati za prenos optičkog signala sa 8 DWDM kanala preko istih optičkih trasa. U Tabelama VI i VII su dati rezultati za prenos 16 multiplexiranih DWDM kanala preko optičkih trasa različitih dužina primenom OMA-B19P25 i OMA-B19P34 jedinica sa EDFA modulima druge generacije.

Sa povećanjem broja kanala u multiplexu se povećava i ukupni kapacitet sistema, ali je i interferencija susednih kanala veća što dovodi do smanjenja OSNR-a. Takođe se sa povećanjem broja DWDM kanala u multiplexu povećava i ukupna snaga multiplexiranog optičkog signala pa se mora voditi računa da se ne pređe maksimalna dozvoljena ulazna snaga u booster optički pojačavač. Cilj merenja i testiranja je da se postigne što veći kapacitet sistema uz zadovoljavajući OSNR na prijemu kako ne bilo narušavanja QoS.

Iz tabela sa rezultatima možemo primetiti da su merene karakteristike optičkih signala na prijemu primenom pojačavača druge generacije za prenos multiplexiranih 16 DWDM kanala uporedive sa karakteristikama optičkih signala u sistemu gde se koriste pojačavači prve generacije i multiplexira 8 DWDM kanala. Dakle, pored mogućnosti prenosa signal na veće distance, primenom novih IRITEL OMA jedinica se duplira kapacitet sistema uz očuvanje istih karakteristika na prijemu.



Slika 3: Testiranje. Prikaz postavke merenja sa drugom generacijom EDFA pojačavača, konkretno na slici je OMA-B19P34

Tabela III: Rezultati merenja optičkih parametara multipleksiranih signala po dve talasne dužine prilikom združenog prenosa preko optičke trase primenom optičkih pojačavača prve generacije (OMA-BP jedinice)

OMA-BP jedinica, EDFA moduli prve generacije, DWDM multipleks sa 2λ									
Dužina trase [km]	150			175			185		
Snaga DWMD kanala [dBm]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]
-12	3.72	-26.60	26.63	3.73	-30.67	21.60	/	/	/
-9	6.68	-22.61	29.68	6.68	-27.74	24.62	6.77	-30.45	21.85
-6	9.78	-19.58	32.61	9.78	-24.68	27.71	9.86	-27.36	25.01
-3	12.84	-16.62	35.24	12.85	-21.74	30.61	12.84	-24.37	27.99

Dužina trase [km]	200			210		
Snaga DWMD kanala [dBm]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]
-6	9.85	-30.68	21.65	/	/	/
-3	12.86	-27.63	24.70	12.79	-28.39	23.93

Tabela IV: Rezultati merenja optičkih parametara multipleksiranih signala po četiri talasne dužine prilikom združenog prenosa preko optičke trase primenom optičkih pojačavača prve generacije (OMA-BP jedinice)

OMA-BP jedinica, EDFA moduli prve generacije, DWDM multipleks sa 4λ									
Dužina trase [km]	150			175			185		
Snaga DWMD kanala [dBm]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]
-12	3.92	-29.12	23.20	3.98	-33.72	18.55	/	/	/
-9	6.45	-26.62	25.70	6.51	-31.23	21.09	6.56	-29.68	19.45
-6	9.62	-23.58	28.77	9.65	-28.16	24.25	9.68	-26.71	22.68

Tabela V: Rezultati merenja optičkih parametara multipleksiranih signala po osam talasnih dužina prilikom združenog prenosa preko optičke trase primenom optičkih pojačavača prve generacije (OMA-BP jedinice)

OMA-BP jedinica, EDFA moduli prve generacije, DWDM multipleks sa 8λ									
Dužina trase [km]	150			175			185		
Snaga DWMD kanala [dBm]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]
-12	3.74	-27.95	24.53	3.75	-33.23	19.12	3.74	-34.79	17.51
-9	6.78	-24.94	27.49	6.78	-30.20	22.20	6.78	-31.71	20.61
-6	9.90	-21.76	30.48	9.91	-27.24	25.31	9.90	-28.69	23.74

Tabela VI: Rezultati merenja optičkih parametara multipleksiranih signala po šestnaest talasnih dužina prilikom združenog prenosa preko optičke trase primenom optičkih pojačavača druge generacije (OMA-B19P25 jedinice)

OMA-B19P25 jedinica, EDFA moduli druge generacije, DWDM multipleks sa 16λ									
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Dužina trase [km]	150			175			200		
Snaga DWMD kanala [dBm]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]
-12	7,35	-27,85	24,08	6,94	-30,11	22,06	6,37	-34,53	17,94

Dužina trase [km]	225		
Snaga DWMD kanala [dBm]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]
-12	7,36	-38,96	13,59

Tabela VII: Rezultati merenja optičkih parametara multipleksiranih signala po šestnaest talasnih dužina prilikom združenog prenosa preko optičke trase primenom optičkih pojačavača druge generacije (OMA-B19P34 jedinice)

OMA-B19P34 jedinica, EDFA moduli druge generacije, DWDM multipleks sa 16λ						
Dužina trase [km]	175			200		
Snaga DWMD kanala [dBm]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]	Pout BA [dBm]	Pin PA [dBm]	OSNR [dB]
-12	6.40	-35.59	17.50	6.40	-39,82	12,92

V. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

U tabelama III, IV, V, VI, VII su prikazani rezultati merenja i testiranja prenosa saobraćaja preko više talasnih dužina korišćenjem prve i druge generacije pojačavača. Rezultati merenja pokazuju da se za iste trase postiže bolji OSNR, a samim tim i kvalitet servisa, na prijemu primenom druge generacije pojačavača. Samim tim može se postići veći domet, a da se na prijemu dobije ciljani tj. isti OSNR primenom druge generacije u odnosu na prvu generaciju pojačavača. Veći domet se postiže i zbog nižeg praga prijema nove generacije pojačavača. Zbog veće dinamike rada (raspon između praga prijema i maksimalne ulazne snage) nove generacije pojačavača moguće je preneti veći broj talasnih dužina što doprinosi na povećanju ukupnog kapaciteta prenosa po vlaknu. Kao što smo već spominjali za drugu generaciju EDFA pojačavača imamo manju disipaciju uzrokovanu manjom potrošnjom energije. Manjih su dimenzija što proizilazi da možemo više novih OMA jedinica smestiti u postojeće nadramove, što takođe doprinosi povećanju ukupnog kapaciteta optičkog čvorišta jer svaka OMA vrši prenos po jednoj trasi. Kada imamo više OMA jedinica imamo i više trasa, dolazimo i do većeg ukupnog kapaciteta sistema i to uz manju ukupnu potrošnju. Zaključujemo da je druga generacija superiornija po svim karakteristikama u odnosu na prethodnu generaciju pojačavača.

LITERATURA

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_amplifier
- [2] John L. Zyskind, C. Randy Giles, Jay R. Simpson, David J. DiGiovanni, "Erbium-Doped Fiber Amplifiers and the Next Generation of Lightwave System", 1992.
- [3] Petar Matavulj, "Optoelektronske komunikacije", Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2018.

- [4] Aditya Goel, Ravi Shankar Mishra, "Design of broad band EDFA for next generation optical network", 2010.
- [5] OTP100G, Tehnička dokumentacija, verzija 3.5, IRITEL A.D., 2022.
- [6] Predrag Mićović, Vladimir Kostić, Bojan Pajčin, Rajko Đenić, "OMA jedinica sa EDFA optičkim pojačavačima i predpojačavačima", IRITEL A.D., TP-32007, 2014.
- [7] Product specification 2000417EDFA001 - Multi-Channel 20dB (optical electric module), Accelink, Datasheet, 2018.
- [8] Product specification 2000417EDFA002 - Multi-Channel 17dB (optical electric module), Accelink, Datasheet, 2018.
- [9] Product specification 2000417EDFA003 - Multi-Channel 20dB (optical electric module), Accelink, Datasheet, 2018.
- [10] Technical Requirement Specification - Fixed Gain Amplifier Module Pout: +20dBm, Gain: 19dB, BKtel, Datasheet, 2022.
- [11] Technical Requirement Specification - Variable Gain Amplifier Module Pout: +20dBm, Gain: 15-25dB, BKtel, Datasheet, 2022.
- [12] Technical Requirement Specification - Variable Gain Amplifier Module Pout: +20dBm, Gain: 22-34dB, BKtel, Datasheet, 2022.
- [13] Recommendation ITU-T G.709/Y.1331, Interfaces for the optical transport network, International Telecommunication Union, 2020.
- [14] Recommendation ITU-T G.652, Characteristics of a single-mode optical fibre and cable, International Telecommunication Union, 2016.

ABSTRACT

Modern optical telecommunications involve the transmission of a large number of channels multiplexed by wavelength with independent service locations per channel. In such systems, it is necessary to ensure the required quality of service and each wavelength must have the required OSNR on reception. The transmission of optical signals over several tens and hundreds of kilometers is unthinkable without the use of optical amplifiers. Their application degrades the OSNR, but increases the optical transmission path. For the first IRITEL OTN 10 Gbit/s systems, OMA units with BA17, PA17 and PA29 EDFA modules were used. Due to the increase in capacity and the number of channels in the new IRITEL OTN

100/400 Gbit/s systems, a new generation of amplifier OMA units with BA19, PA25 and PA34 EDFA modules is used.

**Improvement of characteristics of IRITEL amplifier units
with EDFA modules**

Dragana Milosavljević, Bojan Pajčin, Predrag Mićović,
Nebojša Mičić, Vladimir Kostić